UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME FINAL

Nº de Licitación Nº 4728-42-LP12

Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (Primera Etapa)

Presentado por:

Universidad Austral de Chile

Financiamiento

SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA

COMPOSICIÓN DEL EQUIPO DE TRABAJO

INVESTIGADOR RESPONSABLE.

Dr. Stefan Woelfl

INVESTIGADORES

Dr. Jorge Nimptsch
Dr. Carlos Oyarzún
Mag. Mariano Grandjean
Ing. Wladimir Steffen
Dr. Dirk Schories
Dr. Carlos Bertrán
Dr. Luciano Caputo
Dr. Jorge Jaramillo

TÉCNICOS

Biol. Mar. Ana Lorca
Biol. Mar. Cristian Parra
Biol. Mar.(c) Juan Carlos Reyes
Sr. Raúl Arriagada M
Sr. Carlos Bustos
Sr. Erwin Lienlaf

INDICE

OBJETIVOS DEL ESTUDIO....43
1 INTRODUCCIÓN....44
1.1 EUTROFIZACIÓN DE LAGOS....44
1.2 EUTROFIZACIÓN EN EL SUR DE CHILE....47
1.3 CLASIFICACIÓN DE TROFÍA....47
2 METODOLOGÍA....50
2.1 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE (objetivo 1)....50
2.2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA (objetivo 2)....56
2.2.1 Evaluación de los estudios sobre balance de nutrientes....57
2.2.1.1 Introducción....57
2.2.1.2 Metodología de evaluación de los estudios....70
2.2.2 Evaluación de datos sobre actividad acuícola....71
2.2.2.1 Evaluación de la Información Ambiental....72
2.2.2.2 Evaluación de la Información sobre producción de peces....72
2.2.2.3 Estimación del aporte de P mediantes los centros acuícolas....77
2.2.3 Evaluación del estado trófico de los lagos....79
2.3 MONITOREO DE 6 LAGOS CON CENTROS DE CULTIVO DE LA X REGIÓN (objetivo 3)....84
2.3.1 Estaciones y profundidades de muestreo....85
2.3.2 Toma de muestras y análisis de parametros físicos y químicos de agua....129
2.3.3 Muestreo y análisis de fitoplancton....130
2.3.4 Muestreo y análisis de zooplancton....132
2.3.5 Muestreo y análisis del sedimento....133
2.3.6 Prospección del fondo mediante buceo científico....140
2.3.6.1 Descripción de sitios....141
2.3.6.2 Análisis de datos....145
2.3.7 Determinación de la correntometria....146
2.3.7.1 Introducción en la correntometria....146
2.3.7.2 Metodología de la medición correntometrica....147
2.4 BALANCE ESTIMATIVO DE NUTRIENTES Y CAPACIDAD DE CARGA PARA EL LAGO LLANQUIHUE (objetivo 4)....159
2.4.1 Balance hidrologico anual lago Llanquihue....160
2.4.2 Determinación del uso de suelo....163
2.4.3 Determinación de exportación de nutrientes por uso de suelo....165
2.4.4 Balance de nutrientes....166
3 RESULTADOS....168
3.1 LAGO PUYEHUE....168
3.1.1 Antecedentes disponibles....168

3.1.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 170
3.1.3 Producción de peces 186
3.1.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 188
3.1.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 190
3.1.6 Evaluación del estado trófico del lago Puyehue 190
3.1.6.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos 191
3.1.6.2 Evaluación del estado trófico 193
3.1.7 Discusión 194
3.1.7.1 Evaluación de la información ambiental disponible 194
3.1.7.2 Conclusiones y recomendaciónes 197
3.2 LAGO RUPANCO 199
3.2.1 Antecedentes disponibles 199
3.2.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 201
3.2.3 Producción de peces 219
3.2.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 221
3.2.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 225
3.2.6 Resultados del monitoreo primavera 2012 228
3.2.6.1 Parámetros físicos y químicos 228
3.2.6.2 Parámetros biológicos 239
3.2.6.3 Sedimento 246
3.2.6.4 Correntometría 254
3.2.7 Evaluación del estado trófico del lago Rupanco 268
3.2.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos 268
3.2.7.2 Evaluación del estado trófico 272
3.2.9 Discusión 274
3.2.9.1 Evaluación de la información ambiental disponible 274
3.2.9.1 Conclusiones y recomendaciones 277
3.3 LAGO LLANQUIHUE 280
3.3.1 Antecedentes disponibles 280
3.3.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 282
3.3.2.1 Estudio de la Universidad Austral de Chile (1993) 282
3.3.2.2 Estudio Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) (2007) 294
3.3.3 Producción de peces 300
3.3.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 303
3.3.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 308
3.3.6 Resultados del monitoreo primavera 2012 322
3.3.6.1 Parámetros físicos y químicos 322
3.3.6.2 Parámetros biológicos 335
3.3.6.3 Sedimento 343

3.3.6.4 Prospección buceo 356
3.3.6.5 Correntometría 362
3.3.7 Evaluación del estado trófico del lago Llanquihue 381
3.3.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos 382
3.3.7.2 Evaluación del estado trófico 388
3.3.8 Estimación de balance de nutrientes 393
3.3.8.1 Balance hidrológico anual del lago Llanquihue 393
3.3.8.2 Uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue 396
3.3.8.3 Aporte de nutrientes por afluentes 398
3.3.8.4 Descargas directas al lago Llanquihue 400
3.3.8.5 Carga de P al lago Llanquihue 410
3.3.8.7 Contenido de P en el lago Llanquihue 413
3.3.8.8 Descarga de P por el efluente 413
3.3.8.9 Balance de P del lago Llanquihue 414
3.3.8.10 Modelo de carga de P para el lago Llanquihue 414
3.3.9 Discusión 417
3.3.9.1 Evaluación de la información ambiental disponible 417
3.3.9.2 Conclusiones y recomendaciónes 426
3.4 LAGO CHAPO 430
3.4.1 Antecedentes disponibles 430
3.4.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 432
3.4.3 Producción de peces 447
3.4.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 450
3.4.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 454
3.4.6 Resultados del monitoreo primavera 2012 455
3.4.6.1 Parámetros físicos y químicos 455
3.4.6.2 Parámetros biológicos 465
3.4.6.3 Sedimento 472
3.4.6.4 Correntometría 482
3.4.7 Evaluación del estado trófico del lago Chapo 490
3.4.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos 490
3.4.7.2 Evaluación del estado trófico 495
3.4.8 Discusión 500
3.4.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible 500
3.4.8.2 Conclusiones y recomendaciónes 504
3.5 LAGO POPETÁN 506
3.5.1 Antecedentes disponibles 506
3.5.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 507
3.5.3 Producción de peces 515

3.5.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 517
3.5.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 519
3.5.6 Evaluación del estado trófico del lago Popetán 519
3.5.7 Discusión 520
3.6 LAGO SAN ANTONIO 522
3.6.1 Antecedentes disponibles 522
3.6.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 523
3.6.3 Producción de peces 533
3.6.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 535
3.6.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 537
3.6.6 Evaluación del estado trófico del lago San Antonio 537
3.6.7 Discusión 538
3.7 LAGO NATRI 540
3.7.1 Antecedentes disponibles 540
3.7.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 541
3.7.3 Producción de peces 553
3.7.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 555
3.7.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 558
3.7.6 Resultados del monitoreo primavera 2012 558
3.7.6.1 Parámetros físicos y químicos 558
3.7.6.2 Parámetros biológicos 566
3.7.6.3 Sedimento 571
3.7.6.4 Correntometría 576
3.7.7 Evaluación del estado trófico del lago Natri 583
3.7.8 Discusión 584
3.7.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible 584
3.7.8.2 Conclusiones y recomendaciónes 587
3.8 LAGO CUCAO 588
3.8.1 Antecedentes disponibles 588
3.8.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 589
3.8.3 Producción de peces 600
3.8.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 601
3.8.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 603
3.8.6 Evaluación del estado trófico del lago Cucao 603
3.8.7 Discusión 604
3.9 LAGO HULLINCO 606
3.9.1 Antecedentes disponibles 606
3.9.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 607
3.9.3 Producción de peces 617

3.9.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 620
3.9.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 624
3.9.6 Resultados del monitoreo primavera 2012.....625
3.9.6.1 Parámetros físicos y químicos 625
3.9.6.2 Parámetros biológicos.....633
3.9.6.3 Sedimento 639
3.9.6.4 Correntometría 645
3.9.7 Evaluación del estado trófico del lago Huillinco 652
3.9.8 Discusión 653
3.9.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible 654
3.9.8.2 Conclusiones y recomendaciónes 657
3.10 LAGO TARAHUÍN 658
3.10.1 Antecedentes disponibles.....658
3.10.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 659
3.10.3 Producción de peces 669
3.10.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 671
3.10.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 675
3.10.6 Resultados del monitoreo primavera 2012.....676
3.10.6.1 Parámetros físicos y químicos 676
3.10.6.2 Parámetros biológicos.....683
3.10.6.3 Sedimento 687
3.10.6.4 Correntometría 691
3.10.7 Evaluación del estado trófico del lago Tarahuin 696
3.10.8 Discusión 697
3.10.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible 697
3.10.8.2 Conclusiones y recomendaciónes 700
3.11 LAGO TEPUHUEICO 702
3.11.1 Antecedentes disponibles.....702
3.11.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 703
3.11.3 Producción de peces 713
3.11.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 715
3.11.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 717
3.11.6 Evaluación del estado trófico del lago Tepuheico 717
3.11.7 Discusión 717
3.12 LAGO YELCHO 720
3.12.1 Antecedentes disponibles.....720
3.12.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes 721
3.12.3 Producción de peces 733
3.12.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo 735

3.12.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo 737

3.12.6 Evaluación del estado trófico del lago Yelcho.....737

3.12.7 Discusión 739
4. Conclusión.....742

ANEXOS 749

ANEXO 1 TITULAR, UBICACIÓN Y CÓDIGO DE LOS CENTROS DE CULTIVOS: 750

ANEXO 2 ABASTECIMIENTO Y PRODUCCIÓN NETA DE PECES POR CENTRO DE CULTIVOS 756

ANEXO 3 DATOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL MONITOREO DE 6 LAGOS 776

ANEXO 4 RESULTADOS DEL CONTEO DE FITOPLANCTON.....795

ANEXO 5 DIFICULTADES, PROBLEMAS, OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES DURANTE LA EJECUSIÓN DEL PROYECTO 824

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación trófico según la literatura 48
Tabla 2 Porcentaje de volumen acumulado y por estrato en la columna de agua del lago Llanquihue. 62
Tabla 3 Tiempo para alcanzar 90% y 95% del equilibrio para P en seis lagos. 69
Tabla 4 Ejemplo de la base de datos sobre abastecimiento, salidas y existencia de peces en el centro 100678 en el lago Chapo durante 2006 – 2008. 75
Tabla 5 Límites utilizados para clasificar el estado trófico de los lagos 78
Tabla 6 Fecha de muestreo y ubicación de las estaciones de monitoreo de la columna de agua 86
Tabla 7 Ubicación de las estaciones de sedimento. 135
Tabla 8 Mediciones de corrientes (Eulerianas). 149
Tabla 9 Agrupación de lagos según relación superficie - volumen. 151
Tabla 10 Descripción de las bahías en los lagos Rupanco y Llanquihue. 153
Tabla 11 Localización de la estación meteorológica durante los períodos de medición 159
Tabla 12 Índices de exportación de nutrientes según la literatura. 166
Tabla 13 Características básicas del lago Puyehue. 168
Tabla 14 Resumen de los datos disponibles para el lago Puyehue. 169
Tabla 15 Caudal, concentraciones y cargas de P total (PT) de los 15 afluentes muestreados en la cuenca del lago Puyehue. 171
Tabla 16 Datos sobre DQO y nutrientes en el lago Puyehue durante 1991/92 174
Tabla 17 Datos sobre nutrientes en el lago Puyehue durante 1980/81 177
Tabla 18 Datos sobre DQO y nutrientes en el efluente del lago Puyehue durante 1991/92. 180
Tabla 19 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Puyehue (1991/92). 185
Tabla 20 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Puyehue durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 186
Tabla 21 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Puyehue durante 1995-2012 (ton/año). 190
Tabla 22 Evaluación del estado trófico histórico del lago Puyehue (promedio ± desviación estándar). 193
Tabla 23 Cargas anuales estimadas para el lago Puyehue (2008-2011). 197
Tabla 24 Características básicas del lago Rupanco 199
Tabla 25 Resumen de los tipos de datos disponibles para el lago Rupanco. 200
Tabla 26 Volumen de las bahías del Lago Rupanco. 209
Tabla 27 Concentración de PT medidas en la estacion centro del Lago Rupanco. 210
Tabla 28 Resumen ingresos de P total al Lago Rupanco durante 1994/95. 214
Tabla 29 Balance de P y carga interna de P en el lago Rupanco. 215
Tabla 30 Balance de P en el lago Rupanco. 215
Tabla 31 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Rupanco (1994/95). 218
Tabla 32 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Rupanco durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 219
Tabla 33 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Rupanco durante 2005-2012 223
Tabla 34 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco durante 1995-2012 (ton/año). 224
Tabla 35 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Rupanco. 233
Tabla 36 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 9 estaciones de muestreo del lago Rupanco. 242
Tabla 37 Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco durante primavera 2012. 245
Tabla 38 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias (porcentual) presentes en las estaciones de muestreo del Lago Rupanco. 247
Tabla 39 Parámetros sedimentológicos de las tres estaciones de muestreoen el lago Rupanco. 250
Tabla 40 Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total. 252

Tabla 41 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a tres centros de cultivos existentes en el lago Rupanco. 254
Tabla 42 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Rupanco. 255
Tabla 43 Evaluación del estado trófico histórico del lago Rupanco (promedio ± desviación estándar). 273
Tabla 44 Características básicas del lago Llanquihue. 280
Tabla 45 Resumen de los datos disponibles para el lago Llanquihue. 281
Tabla 46 Variabes fisicoquímicos relevantes en distintos sitios del Lago Llanquihue (fuente: Soto et al., 1993) 285
Tabla 47 Variables tróficos anuales en 10 sitios del lago Llanquihue medidos durante 1992/93 (Fuente: Soto 2002, Tabla 1). 288
Tabla 48Cálculo de la carga de P de fuentes puntuales en el lago Llanquihue..... 290
Tabla 49 Calculo de la carga de P de fuentes no puntuales en el lago Llanquihue (1991/2) .. 291
Tabla 50 Resumen de la evaluación del estudio de UACH (1993). 293
Tabla 51 Antecedentes nacionales sobre pérdida de nutrientes por ganadería y otros usos de suelo (2007)..... 294
Tabla 52 Concentración y cargas de P y N en los diferentes ríos muestreados en el Lago Llanquihue (2007). 295
Tabla 53 Comparación de cargas teóricas diarias de fósforo total en afluentes del lago Llanquihue durante 1993 y 2006. 296
Tabla 54 Resumen de la evaluación del estudio de CENMA (2007) 300
Tabla 55 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Llanquihue durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 301
Tabla 56 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Llanquihue durante 2005-2012 305
Tabla 57 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue durante 1995-2012 (ton/año)..... 306
Tabla 58 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Llanquihue. 328
Tabla 59 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 14 estaciones de muestreo del lago Llanquihue.... 339
Tabla 60 Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue durante primavera 2012. 341
Tabla 61 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Llanquihue. 345
Tabla 62 Parámetros sedimentológicos de las tres estaciones de muestreoen el lago Llanquihue. 349
Tabla 63 Lago Llanquihue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento. 353
Tabla 64 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a seis centros de cultivos existentes en el lago Llanquihue. 363
Tabla 65 Estadística básical de la Dirección de Corrientes medidas en centros de cultivo del lago Llanquihue. 364
Tabla 66 Fósforo total medido en la estación Ensenada 1982/83 383
Tabla 67 Evaluación del estado trófico histórico del lago Llanquihue. 391
Tabla 68 Cálculo de caudal anual para cada subcuenca del lago Llanquihue 395
Tabla 69 Salidas de agua del lago Llanquihue. 396
Tabla 70 Uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue. 398
Tabla 71 Aporte de nitrógeno y fósforo según el uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue (2012) 399
Tabla 72 Aporte de nitrógeno y fósforo de cada subcuenca del lago Llanquihue (2012). 400
Tabla 73 Listado de plantas que decargan RILES al lago Llanquihue según información SISS (2012) 401
Tabla 74 Descargas de cuatro pisciculturas según datos de la SISS (2006 – 2012) 404
Tabla 75 Estimación de aporte de P en zonas rurales de la cuenca del lago Llanquihue 407
Tabla 76 Estimadas características químicas de los efluentes de Prosecor Ltda. 408
Tabla 77 Información física-química de los años 2003-2004 (Fuente: SISS) 409
Tabla 78 Cargas estimadas de P al l lago Llanquihue durante 2012 411
Tabla 79 Contenido de PT en la columna de agua en el Lago Llanquihue, estación centro ... 413
Tabla 80 Balance de P total para el lago Llanquihue. Todos los valores en Ton/año. 414

Tabla 81 Carga de P asociado a ciertas concentraciónes de P en la columna del agua con características del lago Llanquihue. 416
Tabla 82 Validación de los datos de la DGA en el informe POCH (2012). 419
Tabla 83 Características básicas del lago Chapo. 430
Tabla 84 Resumen de los datos disponibles para el lago Chapo. 431
Tabla 85 Tipos de vegetación en lago Chapo. 432
Tabla 86 Concentraciones de N y P total en precipitaciones. 435
Tabla 87 Concentración de P, N, C y materia orgánica en los pelets usado en el lago Chapo. 437
Tabla 88 Flujo estacional de N, P (columna naranja) y materia orgánica en el lago Chapo.... 437
Tabla 89 Balance de P del lago Chapo durante 1998. 437
Tabla 90 Producción de salmonidos en el lago Chapo durante 1998. 438
Tabla 91 Masa total de P y concentración de PT calculada en lago Chapo. 445
Tabla 92 Balance de P durante 1998 en el lago Chapo. 445
Tabla 93 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Chapo. 447
Tabla 94 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Chapo durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 448
Tabla 95 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Chapo durante 2005-2012 452
Tabla 96 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo durante 1995-2012 (ton/año). 453
Tabla 97 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Chapo. 459
Tabla 98 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en las 7 estaciones del lago Chapo. 468
Tabla 99 Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo durante primavera 2012. 470
Tabla 100 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Chapo. 473
Tabla 101 Parámetros sedimentológicos de el lago Chapo. 476
Tabla 102 Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento en el lago Chapo. 480
Tabla 103 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos en el lago Chapo. 482
Tabla 104 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Chapo. 483
Tabla 105 Ejemplo de valores extremo de PT, medido en el lago Chapo durante 2009. 493
Tabla 106 Concentraciones de fósforo total, medidas en la estación Centro del lago Chapo (2003-2006). 494
Tabla 107 Evaluación del estado trófico histórico del lago Chapo 496
Tabla 108 Características básicas del lago Popetán 506
Tabla 109 Resumen de los datos disponibles para el lago Popetan 507
Tabla 110 Tipos de vegetación en cuenca lago Popetán 508
Tabla 111 Contenido total de formas de P y N en el lago Popetán (1998) 512
Tabla 112 Estimación del balance hídrico del lago Popetán 1998 513
Tabla 113 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Popetán 515
Tabla 114 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Popetán durante 1995-2004 y 2005-2011 (ton/año). 516
Tabla 115 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Popetán durante 1995-2012 (ton/año). 518
Tabla 116 Evaluación del estado trófico histórico del lago Popetán 519
Tabla 117 Características básicas del lago San Antonio 522
Tabla 118 Resumen de los datos disponibles para el lago San Antonio 523
Tabla 119 Tipos de vegetación en cuenca lago San Antonio 524
Tabla 120 Carga fluvial de P y N ingresada al lago San Antonio 526
Tabla 121 Resumen Sedimento captado por trampas en el lago San Antonio 526
Tabla 122 Descarga fluvial mensual de P y N exportada por efluente 528
Tabla 123 Contenido total de formas de P y N en lago 530
Tabla 124 Estimación del balance hídrico durante 1998 para el lago San Antonio 531
Tabla 125 Balance de P del lago San Antonio durante 1998 532

Tabla 126 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago San Antonio 533
Tabla 127 Ubicación y promedio de la producción de salmónidos en el lago San Antonio durante 1995-2004 y 2005-2008 (ton/año). 534
Tabla 128 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago San Antonio durante 1995-2012 (ton/año)..... 536
Tabla 129 Evaluación del estado trófico histórico del lago San Antonio (promedio ± desviación estándar). 537
Tabla 130 Características básicas del lago Natri. 540
Tabla 131 Resumen de los datos disponibles para el lago Natri. 541
Tabla 132 Uso de suelo en la cuenca del lago Natri (1996). 542
Tabla 133 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Natri (DS: desviación estándar). 543
Tabla 134 Carga de P para todas las subcuencas, calculada con índices y mediciones en terreno. 545
Tabla 135 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente (Río Natri) en comparación con el P total en la superficie del lago Natri. 546
Tabla 136 Balance hídrico total de la cuenca del lago Natri (10^6 m3)..... 547
Tabla 137 P total en la columna del lago Natri en dos estaciones. 549
Tabla 138 Resumen de las cargas de P total del lago Natri durante un año (nov 96-oct 97).. 551
Tabla 139 Balance de P total para el lago Natri según informe FIP y recalculada. 552
Tabla 140 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Natri (1996/97). 553
Tabla 141 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Natri durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 554
Tabla 142 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Natri durante 2005-2012 557
Tabla 143 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Natri durante 1995-2012 (ton/año). 557
Tabla 144 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Natri. n.d.: no determinado 561
Tabla 145 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 4 estaciones de muestreo del lago Natri. 569
Tabla 146 Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri durante primavera 2012. 571
Tabla 147 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Natri. 572
Tabla 148 Lago Natri. Parámetros sedimentológicos. 574
Tabla 149 Lago Natri. Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, para cada uno de los centros y estaciones consideradas. 575
Tabla 150 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos existentes en el lago Natri. 577
Tabla 151 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Natri. 578
Tabla 152 Evaluación del estado trófico histórico del lago Natri 583
Tabla 153 Características básicas del lago Cucao. 588
Tabla 154 Resumen de los datos disponibles para el lago Cucao. 589
Tabla 155 Uso de suelo en la cuenca del lago Cucao (1996). 590
Tabla 156 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Cucao 591
Tabla 157 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente (Río Cucao) del lago Cucao. 592
Tabla 158 Balance hídrico total de la cuenca del lago Cucao (10^6 m^3). 594
Tabla 159 P total en la estación central y estación balsas en el lago Cucao. 596
Tabla 160 Resumen de las cargas de P total del lago Cucao durante un año (nov 96-oct 97). 598
Tabla 161 Balance de P total para el lago Cucao según informe FIP y datos recalculados.. . 598
Tabla 162 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Cucao (1996/97). 599
Tabla 163 Ubicación y promedio de la producción de salmónidos en el lago Cucao durante 1995-2004 y 2005-2009 (ton/año). 601

Tabla 164 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Cucao durante 1995-2012 (ton/año). 603
Tabla 165 Evaluación del estado trófico histórico del lago Cucao; 604
Tabla 166 Características básicas del lago Huillinco. 606
Tabla 167 Resumen de los datos disponibles para el lago Huillinco. 607
Tabla 168 Principales subcuencas de un total de 15 que drenan al lago Hullinco. 608
Tabla 169 Uso de suelo en la cuenca del lago Hullinco. 608
Tabla 170 Caudal y concentraciones de P total en principales afluentes del lago Huillinco. .. 610
Tabla 171 Caudal P total en efluente (Río Caldera) del lago Hullinco 611
Tabla 172 Balance hídrico total de la cuenca del lago Huillinco (10^6 m^3). 612
Tabla 173 Fósforo total (PT) en la columna del lago Hullinco. 614
Tabla 174 Resumen de las cargas de P total del lago Huillinco durante un año (nov 96-oct 97). 616
Tabla 175 Balance de P total para el lago Huillinco según informe FIP y datos recalculados. Azul: valores corregidos. 616
Tabla 176 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Huillinco (1996/97). 617
Tabla 177 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Huillinco durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 618
Tabla 178 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Huillinco durante 2005-2012 622
Tabla 179 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco durante 1995-2012 (ton/año). 623
Tabla 180 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Huillinco. 628
Tabla 181 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 6 estaciones de muestreo del lago Huillinco. 637
Tabla 182 Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco durante primavera 2012. 638
Tabla 183 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferente estaciones en el Lago Huillinco. 640
Tabla 184 Parámetros sedimentológicos en el lago Huillinco. 642
Tabla 185 Lago Huillinco. Porcentajes de materia orgánica total contenida 644
Tabla 186 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos existentes en el lago Huillinco. 646
Tabla 187 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Huillinco. 647
Tabla 188 Evaluación del estado trófico histórico del lago Huillinco (promedio ± desviación estándar, solamente epilimnion). 653
Tabla 189 Características básicas del lago Tarahuin. 658
Tabla 190 Resumen de los datos disponibles para el lago Tarahuín. 659
Tabla 191 Uso de suelo en la cuenca del lago Tarahuin (1996). 660
Tabla 192 Subcuencas de los principales afluentes en la cuenca del lago Tarahuin. 661
Tabla 193 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Tarahuin. 662
Tabla 194 Carga de P para todas las subcuencas calculada con índices y medida en terreno. 663
Tabla 195 Balance hídrico total de la cuenca del lago Tarahuin (10^6 m^3). 664
Tabla 196 Concentraciones de P total en lago Tarahuin; 665
Tabla 197 Resumen de las cargas de P total del lago Tarahuin durante un año (nov 96-oct 97). 667
Tabla 198 Balance de P total para el lago Tarahuin según informe FIP y recalculada. 668
Tabla 199 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Tarahuìn (1996/97). 669
Tabla 200 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Tarahuín durante 1995-2004 y 2005-2012. 670
Tabla 201 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Tarahuin durante 2005-2012 673
Tabla 202 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Tarahuin durante 1995-2012 (ton/año) 674

Tabla 203 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Tarahuin. 679
Tabla 204 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 9 estaciones de muestreo del lago Tarahuin. 685
Tabla 205 Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuin durante primavera 2012. 687
Tabla 206 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Tarahuín. 688
Tabla 207 Lago Tarahuín. Parámetros sedimentológicos de las tres estaciones 689
Tabla 208 Lago Tarahuín. Porcentajes de materia orgánica total 690
Tabla 209 Estadística general de la intensidad de corrientes medidas en el Centro de Cultivos N° 100521, lago Tarahuín. 691
Tabla 210 Estadística general de la dirección de corrientes medidas en centro de cultivos N° 100521, lago Tarahuín.. 692
Tabla 211 Evaluación del estado trófico histórico del lago Tarahuin 697
Tabla 212 Características básicas del lago Tepuheico. 702
Tabla 213 Resumen de los datos disponibles para el lago Tepuhueico. 703
Tabla 214 Uso de suelo en la cuenca del lago Tepuheico (1996). 704
Tabla 215 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Tepuheico 705
Tabla 216 Exportación de nutrientes (kg/año) en las subcuencas del lago Tepuhueico. 706
Tabla 217 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente en comparación con el P total en la superficie del lago Tepuheico. 707
Tabla 218 Balance hídrico total de la cuenca del lago Tepuheico (10^6 m^3). 708
Tabla 219 Concentraciones de P total en el lago Tepuheico; naranjo: valores altos; azul: valores bajos 710
Tabla 220 Resumen de las cargas de P total del lago Tepuheico durante un año (nov 96-oct 97). 712
Tabla 221 Balance de P total para el lago Tepuheico según informe FIP y recalculada. 712
Tabla 222 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Tepuheico (1996/97). 713
Tabla 223 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Tepuheico durante 1995-2004 y 2005-2011 (ton/año). 714
Tabla 224 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Tepuheico durante 1995-2012 (ton/año). 716
Tabla 225 Evaluación del estado trófico histórico del lago Tepuheico (promedio ± desviación estándar). 717
Tabla 226 Características básicas del lago Yelcho. 720
Tabla 227 Resumen de los datos disponibles para el lago Yelcho. 721
Tabla 228 Tipos de vegetación, con superficie en hectáreas, kilómetros cuadrados y porcentaje dentro de la cuenca del lago Yelcho. 722
Tabla 229 Estimación de concentración mensual de P total ($mg*m^{-3}$) en afluentes. 724
Tabla 230 Estimación carga mensual de P total ($mg•m^{-2}•año^{-1}$) de afluentes. 724
Tabla 231 Descarga mensual de P por el efluente río Yelcho. 726
Tabla 232 Balance hídrico lago Yelcho. 727
Tabla 233 Contenido de P total en lago Yelcho. 729
Tabla 234 Concentración de P total del lago Yelcho (P_{tot}). 730
Tabla 235 Balance de P total lago Yelcho. 731
Tabla 236 Parámetros indicadores de estado trófico de lago Yelcho 731
Tabla 237 Cálculo de carga crítica para P total lago Yelcho (L_c). 732
Tabla 238 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Yelcho. 733
Tabla 239 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Yelcho durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año). 734
Tabla 240 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Yelcho durante 2005-2012 736
Tabla 241 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Yelcho durante 1995-2012 (ton/año). 737
Tabla 242 Evaluación del estado trófico histórico del lago Yelcho 739
Tabla 243 Recomendaciones acerca de las actividades acuícolas en los lagos de la 10 Región. 748

Tabla 244 Listado de los centros de cultivo en los lagos de la X Región 750
Tabla 245 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Puyehue 1995 – 2012. 756
Tabla 246 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012. 757
Tabla 247 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012. 758
Tabla 248 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012. 759
Tabla 249 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012. s.d.: sin datos 760
Tabla 250 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012. 761
Tabla 251 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012. 762
Tabla 252 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012. 763
Tabla 253 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012. S.d.: sin datos 764
Tabla 254 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012. S.d.: sin datos 765
Tabla 255 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Popetán 1995 – 2012. 766
Tabla 256 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago San Antonio 1995 – 2012. 767
Tabla 257 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (ton/año) por centro de cultivo en el lago Natri 1995 – 2012. 768
Tabla 258 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Cucao 1995 – 2012. 769
Tabla 259 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012. S.d.: sin datos 770
Tabla 260 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012. 771
Tabla 261 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012. 772
Tabla 262 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Tarahuin 1995 – 2012. 773
Tabla 263 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Tepuheico 1995 – 2012. 774
Tabla 264 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Yelcho 1995 – 2012. 775
Tabla 265 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Rupanco durante primavera 2012. DS = desviación estándar. 776
Tabla 266 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Llanquihue durante primavera 2012. 780
Tabla 267 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Chapo durante primavera 2012. 786
Tabla 268 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Natri durante primavera 2012.7900
Tabla 269 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Huillinco durante primavera 2012. 792
Tabla 270 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Tarahuin durante primavera 2012. 794
Tabla 271 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Rupanco. 795
Tabla 272 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Llanquihue. 801
Tabla 273 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Chapo. 813
Tabla 274 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Huillinco. 815
Tabla 275 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Natri. 820
Tabla 276 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Tarahuin. 822

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Temperatura, oxígeno y nutrientes en el lago Auquilda durante 2000 46
Fig. 2 Modelo probabilístico para la clasificación de la trofía (EPA-822-B00-001, 2000) 49
Fig. 3 Esquema conceptual del balance de nutrientes (ejemplo: P) para un lago. 57
Fig. 4 Curva hipsográfica de distribución del volumen para el lago Llanquihue. 62
Fig. 5 Relación entre carga y profundidad promedio/renovación y el estado trófico de un lago. 64
Fig. 6 Relación entre la profundidad y la carga crítica. 65
Fig. 7 Modelo conceptual del flujo alimento-pez-desechos (Olsen et al. 2008) 77
Fig. 8 Flujos de P (kg P/ton peces producidos) estimados para la salmonicultura en Noruega (Wang et al. 2012) 78
Fig. 9 Box-Wisker plot de PT (estación centro) reportado para los lagos Rupanco y Puyehue. 83
Fig. 10 Estaciones de muestreo de química y sedimento Lago Rupanco. 88
Fig. 11 Estaciones de muestreo de columna de agua y del sedimento del Lago Rupanco. 89
Fig. 12 Estaciones de muestreo de la columna de agua, lago Llanquihue 93
Fig. 13 Ubicación de estaciones de muestreo de columna de agua y del sedimento del Lago Llanquihue..... 94
Fig. 14 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Chapo. 109
Fig. 15 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Chapo. 110
Fig. 16 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Natri. 116
Fig. 17 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Natri. 117
Fig. 18 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Huillinco. 120
Fig. 19 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Huillinco. 121
Fig. 20 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Tarahuin. 126
Fig. 21 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Tarahuin. . 127
Fig. 22 Draga utilizada en los muestreos. 134
Fig. 23 Toma de muestra desde compartimento de la draga. 135
Fig. 24 Análisis granulométrico y determinación de materia orgánica. 139
Fig. 25 Ubicación de los sitios para prospección del fondo..... 140
Fig. 26 Puerto Rosales. 142
Fig. 27 Puerto Phillipi. 144
Fig. 28 Análisis de imágenes sobre la composición del bentos. 145
Fig. 29 Diseño de correntometría en el lago Rupanco. 154
Fig. 30 Diseño de correntometría en el lago Llanquihue. 155
Fig. 31 Diseño de correntometría en el lago Chapo. 156
Fig. 32 Diseño de correntometría en el lago Huillinco. 157
Fig. 33 Diseño de correntometría en el lago Natri. 158
Fig. 34 Diseño de correntometría en el lago Tarahuin. 158
Fig. 35 Imagen satelital Catastro Original. 164
Fig. 36 Imagen satelital Catastro Ajustado. 164
Fig. 37 Ubicación de las estaciones de muestreo en el lago Puyehue 173
Fig. 38 PT en la estación central del lago Puyehue 175
Fig. 39 Datos sobre PT en el lago Puyehue durante 1992-1999 (fuente: Soto 2002; original levemente modificado). 178
Fig. 40 Producción bruta total de salmones (ton/año) en el Lago Puyehue durante el periodo 1995-2012. 187
Fig. 41 Producción de salmones (porcentaje) por centro acuícola en el Lago Puyehue durante el periodo 2005-2012. 188
Fig. 42 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Puyehue. 189
Fig. 43 PT en la estación central del lago Puyehue 191
Fig. 44 Clorofila a, fósforo total (TP) y Secchi en el lago Puyehue 192
Fig. 45 Uso de suelo en la cuenca del lago Rupanco. 202
Fig. 46 Estaciones de muestreo del lago Rupanco en 1994/95. 203
Fig. 47 Box-Wiskers plot del promedio anual de P total y caudal de los 58 afluentes muestreados en la cuenca del lago Rupanco 1994/95 204
Fig. 48 Concentraciones de PT en la lluvia durante 1994 (n=29). 205

Fig. 49 Masa total de P en el lago Rupanco durante 1994/5. 210
Fig. 50 P total en el efluente del lago Rupanco. 212
Fig. 51 Producción bruta anual de salmones (ton/año) en el Lago Rupanco durante el periodo 1995-2012. 220
Fig. 52 Producción de salmones (porcentaje) por centro acuícola en el Lago Rupanco durante el periodo 2005-2012. 221
Fig. 53 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Rupanco. 222
Fig. 54 Información ambiental (sedimento) del Centro Rupanco 100625 (2010, 2011). 226
Fig. 55 Información ambiental (sedimento) del Centro Rupanco 100381 (2010, 2011). 227
Fig. 56 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Rupanco. 231
Fig. 57 Perfiles verticales de luz visible en dos estaciones de muestreo en el lago Rupanco. 234
Fig. 58 Perfil vertical de nitrógeno y fósforo en dos estaciones pelágicas del lago Rupanco.. 237
Fig. 59 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Rupanco. 238
Fig. 60 Comparación de P total de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Rupanco. 239
Fig. 61 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Rupanco. 240
Fig. 62 Densidad celular de microalgas registradas en las 9 estaciones de muestro pelágico del lago Rupanco. 241
Fig. 63 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 9 estaciones de muestreo pelágico del lago Rupanco. 242
Fig. 64 Abundancia de zooplancton (Ind/L) en el lago Rupanco durante primavera 2012. 244
Fig. 65 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las en el lago Rupanco (Box-wiskers plot). 253
Fig. 66 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100625, ubicado en el lago Rupanco. 256
Fig. 67 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100522, ubicado en el lago Rupanco. 256
Fig. 68 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100081, ubicado en el lago Rupanco. 256
Fig. 69 Derivadores de superficie (arriba) y de profundidad (abajo) en el lago Rupanco. 261
Fig. 70 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Desagüe del lago Rupanco. 262
Fig. 71 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Bahía Piedras Negras del lago Rupanco. 263
Fig. 72 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Bahía El Encanto del lago Rupanco. 264
Fig. 73 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Pto. Rico del lago Rupanco. 265
Fig. 74 PT en el lago Rupanco durante 1981/ 82 (Campos et al. 1992). Promedio ± desviación estan-dar 269
Fig. 75 PT en el lago Rupanco durante 1984/85 270
Fig. 76 Clorofila a, fósforo total (TP) y Secchi en el lago Rupanco. 271
Fig. 77 Lago Llanquihue: Sitios de muestreo en el estudio 1990/92. 284
Fig. 78 Concentración de fósforo total en dos sitios de centros de cultivo (S2, S12) y la estación central (E10) del lago Llanquihue. 286
Fig. 79 Concentración de fósforo en el Lago Llanquihue 1991/2. 287
Fig. 80 Concentración de fósforo total en el Lago Llanquihue 1982/3. 287
Fig. 81 Estimación del aporte de P por actividad en la cuenca del lago Llanquihue 298
Fig. 82 Producción bruta anual de salmones (ton/año) en el Lago Llanquihue durante el periodo 1995-2012. 302
Fig. 83 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Llanquihue durante el periodo 2005-2012. 303
Fig. 84 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Llanquihue 304
Fig. 85 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Rincones 100204 (2010, 2011). 309
Fig. 86 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Playa Maqui 100505 (2010, 2011). 310

Fig. 87 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Ensenada Bahía 1 10370 (2010). 311
Fig. 88 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Maitén B 100511 (2010). 313
Fig. 89 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Maitén C 100332 (2010-2011). 314
Fig. 90 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Monte Alegre 100627 (2010-2011). 315
Fig. 91 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Phillipi 1 100100 (2010-2011). 316
Fig. 92 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Phillipi 2 101866 (2010-2011). 318
Fig. 93 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Puerto Rosales 100070 (2010). 319
Fig. 94 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Puerto Octay 100545 (2010 - 2012). 321
Fig. 95 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en las estaciones de referencia en el lago Llanquihue 324
Fig. 96 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Llanquihue 325
Fig. 97 Perfiles verticales de PAR y profundidad eufótica en el lago Llanquihue. 328
Fig. 98 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Llanquihue. 332
Fig. 99 Fracciones de N y P en seis estaciones muestreadas en el lago Llanquihue. 333
Fig. 100 Cont. Fracciones de N y P en seis estaciones muestreadas en el lago Llanquihue. 334
Fig. 101 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue. 335
Fig. 102 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue. 336
Fig. 103 Densidad celular de microalgas registradas en las 14 estaciones de muestro pelágico del lago Llanquihue. 337
Fig. 104 Abundancia relativa de los principales grupos de microalgas registradas en las 14 estaciones del lago Llanquihue 338
Fig. 105 Abundancia de zooplancton en el lago Llanquihue durante primavera 2012. 340
Fig. 106 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue. 355
Fig. 107 Bahía Rosales: buzo midiendo extensa cobertura de *Egeria densa* 357
Fig. 108 *Egeria densa* Planchón encontrada en bahía Puerto Rosales, cubriendo grandes extensiones 358
Fig. 109 Alga verde filamentosa desarrollada sobre hojas de un individuo en descomposición de *Egeria densa*. 358
Fig. 110 *Diplodon chilensis* y *Egeria densa* en poca profundidad (1 m) en Puerto Rosales. 359
Fig. 111 Algunos ejemplos de basura encontrada en el fondo de Bahía Puerto Rosales. 359
Fig. 112 Un muerto de concreto a 32 m de profundidad en bahía Phillipi rodeado del chorito de agua dulce Diplodon chilensis. 360
Fig. 113 Estimación de abundancia de *Diplodon chilensis* en 32 m de profundidad en bahía Phillipi. 361
Fig. 114 Densas agregaciones de *Diplodon chilensis* están cubriendo el fondo de la Bahía Phillipi en profundidades entre 10 a 30 m. 361
Fig. 115 Especies de *Nitella* (Characeae) sobrevivientes desde el verano del 2012 a una profundidad de 27 m (Bahía Phillipi). 362
Fig. 116 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100507, ubicado en el lago Llanquihue 365
Fig. 117 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100204, ubicado en el lago Llanquihue 365
Fig. 118 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100545, ubicado en el lago Llanquihue 366
Fig. 119 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100627, ubicado en el lago Llanquihue 366
Fig. 120 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100628, ubicado en el lago Llanquihue 367

Fig. 121 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100370, ubicado en el lago Llanquihue..... 367
Fig. 122 Derivadores fondo en el lago Llanquihue 373
Fig. 123 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Rincones del lago Llanquihue..... 374
Fig. 124 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Domeyko - Philippi del lago Llanquihue 375
Fig. 125 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Playa Maqui del lago Llanquihue..... 376
Fig. 126 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Ensenada del lago Llanquihue..... 377
Fig. 127 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Octay del lago Llanquihue..... 378
Fig. 128 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Fonck del lago Llanquihue..... 379
Fig. 129 Clorofila a, PT y Secchi en el lago Llanquihue durante 1992-1999. 384
Fig. 130 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA (1: Puerto Octay, 2: Frutillar, 3: Puerto Varas, 4: Ensenada)..... 385
Fig. 131 Lago Llanquihue: PT en cuatro estaciones de la red de monitoreo de la DGA. 387
Fig. 132 Lago Llanquihue: secchi, PT y clorofila a durante 1982 – 2012. 390
Fig. 133 Lago Llanquihue: Secchi, y clorofila a durante 1982 y 2012. 392
Fig. 134 Estaciones hidrográficas de la DGA (Informe MMA 40820-112-1120588, 2012, modificado)..... 394
Fig. 135 Uso de suelo de la cuenca del lago Llanquihue durante 2012 (%) 396
Fig. 136 Mapa del uso de suelo en la cuenca del lago Llanqui-hue 2012. 397
Fig. 137 Fracción de P al aporte total por uso de suelo 399
Fig. 138 Ubicación de fuentes emisoras de descargas líquidas. 402
Fig. 139 Foto de la Piscicultura Antares S.A. 405
Fig. 140 Carga estimada de P por fuente al lago Llanquihue durante 2012 412
Fig. 141 Aporte relativo (%) de las cargas de P en en la cuenca del lago Llanquihue 412
Fig. 142 Relación entre la carga de P y la concentración promedia de P en en un lago de acuerdo al modelo OECD. 416
Fig. 143 Ubicación de las estaciones muestreo de agua y sedimento (-5) y de las zonas de buceo (A – D). 425
Fig. 144 Fotografías subacuáticas en Bahía Rincones en zona B y D. 425
Fig. 145 Porcentajes de superficie vegetacional lago Chapo. 433
Fig. 146 Masa de alimento usado en el lago Chapo. 439
Fig. 147 Diseño muestreo estacional de la columna de agua y los afluentes del lago Chapo. 440
Fig. 148 Curva hipsográfica de area y volumen del lago Chapo (Woelfl et al. 2003). 441
Fig. 149 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Chapo durante el período 1995 – 2012. 449
Fig. 150 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Chapo durante el periodo 2005-2011. 450
Fig. 151 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Chapo durante 1995-2012 451
Fig. 152 Información ambiental (sedimento) del Centro Desagüe 1 100394 (2010, 2011, 2012). 455
Fig. 153 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Chapo. 458
Fig. 154 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Chapo. 460
Fig. 155 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Chapo. 463
Fig. 156 Fracciones de N y P en losdiferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo. 464
Fig. 157 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo. 465
Fig. 158 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo. 466
Fig. 159 Densidad celular de microalgas registradas en las 7 estaciones de muestro pelágico del lago Chapo. 467

Fig. 160 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 7 estaciones del lago Chapo. 467
Fig. 161 Abundancia de zooplancton en el lago Chapo durante primavera 2012. 469
Fig. 162 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo. 481
Fig. 163 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101278, ubicado en el lago Chapo. 484
Fig. 164 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101051, ubicado en el lago Chapo. 484
Fig. 165 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101332, ubicado en el lago Chapo. 484
Fig. 166 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101291, ubicado en el lago Chapo. 485
Fig. 167 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Chapo 487
Fig. 168 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Chapo 488
Fig. 169 Promedio de fósforo total en la columna de agua en el lago Chapo (0 – 100 m, estación centro) durante 1986/87 (Woelfl et al. 2003) 491
Fig. 170 Serie de tiempo de PT en el lago Chapo (corresponde a figura 46 del informe FIP IT 97-90). 492
Fig. 171 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA (1: Chamiza, 2: Centro, 3: Canutillar). 492
Fig. 172 Box-whisker plot de PT para el lago Chapo. Datos de la DGA (2003-2008) 495
Fig. 173 Parámetro tróficos (promedio) de cada estación en el lago Chapo entre 1987 y 2012. 497
Fig. 174 Box wisker plot de profundidad Secchi y clorofila a (promedio anual) y indicación del estado trófico en el lago Chapo entre 1987 y 2012 498
Fig. 175 Distribución horizontal de clorofila a y PT en el lago Chapo. 499
Fig. 176 Fotos subacúaticos de Characeas en el lago Chapo (Marzo 2011). 503
Fig. 177 Masa de alimento suministrado en el cultivo de salmonidos en el lago Popetán (1998) 511
Fig. 178 Diseño del muestreo intensivo de la columna de lago Popetán 512
Fig. 179 Promedio de la producción acuícola de salmón [ton/año] en el lago Popetan durante el período 1995 – 2012. 516
Fig. 180 Los aportes de P calculado para el lago Popetan 517
Fig. 181 Masa de alimento sumini-strado en el cultivo de salmonidos en el lago San Antonio (1998) 527
Fig. 182 Diseño del muestreo intensivo de la columna de lago San Antonio 529
Fig. 183 Promedio de la producción bruta acuícola de salmón [ton/año] en el lago San Antonio durante el período 1995 – 2012. 534
Fig. 184 Los aportes de P calculados para dos escenarios en el lago San Antonio durante 1995-2012. 535
Fig. 185 PT en los afluentes muestreados del lago Natri (1996/97, elaboración propia). 544
Fig. 186 Box-Wiskers plot dePT para las dos estaciones pelágicas en la columna del Lago Natri. 549
Fig. 187 Producción brutaa de salmones (ton/año) en el lago Natri durante el período 1995 – 2012 554
Fig. 188 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Natri durante el periodo 2005-2011. 555
Fig. 189 Los aportes de P calculados para dos escenarios en el lago Natri durante 1995-2012. 556
Fig. 190 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Natri. 560
Fig. 191 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Natri. 562
Fig. 192 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Natri. 564
Fig. 193 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri. 565
Fig. 194 Comparación de P total de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri . 565
Fig. 195 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri 566
Fig. 196 Valores de densidad celular para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 4 estaciones de muestro pelágico del lago Natri. 567

Fig. 197 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 4 estaciones de muestro pelágico del lago Natri. 568
Fig. 198 Abundancia de zooplancton en el lago Llanquihue durante primavera 2012. 570
Fig. 199 Fango, materia orgánica y redox en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Narti. 576
Fig. 200 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100437, ubicado en el lago Natri 579
Fig. 201 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100600, ubicado en el lago Natri. 579
Fig. 202 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100427, ubicado en el lago Natri. 579
Fig. 203 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Natri 581
Fig. 204 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Natri 582
Fig. 205 Modelo propuesto de flujo de masa de agua para los lagos Cucao y Huillinco. 594
Fig. 206 Promedio de la producción bruta de salmones [ton/año] en el lago Cucao durante el período 1995 – 2012. 600
Fig. 207 Los aportes de P calculado para el lago Cucao. 602
Fig. 208 Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Huillinco (1996) 609
Fig. 209 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Huillinco durante el período 1995 – 2012. 619
Fig. 210 Promedio porcentual de la producción acuícola por centro de cultivo en el lago Huillinco en el periodo 2005 – 2012. 620
Fig. 211 Los aportes de P calculado calculados para dos escenarios en el lago Huillinco durante 1995-2012. 621
Fig. 212 Información ambiental (sedimento) del Lago Huillinco, Centro Notue 100616 (2010, 2012). 625
Fig. 213 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Huillinco. 627
Fig. 214 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Huillinco. 629
Fig. 215 Perfil vertical de nitrógeno en la estación de referencia (C1) del lago Huillinco. 631
Fig. 216 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en el lago Huillinco. 632
Fig. 217 Comparación de P total de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco. 633
Fig. 218 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco. 634
Fig. 219 Densidad celular de microalgas registradas en las 6 estaciones de muestro pelágico del lago Huillinco. 636
Fig. 220 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 6 estaciones del lago Huillinco. 636
Fig. 221 Abundancia de zooplancton en el lago Huillinco durante primavera 2012. 637
Fig. 222 Fango, materia orgánica y redox en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco 645
Fig. 223 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101212, ubicado en el lago Huillinco. 647
Fig. 224 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100968, ubicado en el lago Huillinco. 648
Fig. 225 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100617, ubicado en el lago Huillinco. 648
Fig. 226 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100520, ubicado en el lago Huillinco. 648
Fig. 227 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Huillinco 650
Fig. 228 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Huillinco 651
Fig. 229 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Tarahuín durante el período 1995 – 2012. 670
Fig. 230 Promedio porcentual de la producción acuícola de salmón en el lago Tarahuín en el período 2004 – 2012. 671
Fig. 231 Los aportes de P calculado para en el lago Tarahuin. 672
Fig. 232 Información ambiental (sedimento) del Lago Tarahuín, Centro Tarahuín 100521 (2010 - 2011). 676

Fig. 233 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Tarahuin. 678
Fig. 234 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Tarahuin. 681
Fig. 235 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin. 682
Fig. 236 Comparación de P total de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin. 682
Fig. 237 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin. 683
Fig. 238 Densidad celular de microalgas registradas en las 3 estaciones de muestro pelágico del lago Tarahuin. 684
Fig. 239 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 3 estaciones del lago Tarahuin. 685
Fig. 240 Abundancia de zooplancton en el lago Tarahuin durante primavera 2012. 686
Fig. 241 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin 690
Fig. 242 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100521, ubicado en el lago Tarahuín. 692
Fig. 243 Movimiento de los derivadores (0 m) en el lago Tarahuin 694
Fig. 244 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Tarahuin 695
Fig. 245 Promedio de la producción bruta de salmones [ton/año] en el lago Tepuhueico durante el período 1995 – 2012. 714
Fig. 246 Los aportes de P calculado para el lago Tepuheico. 715
Fig. 247 Diseño muestreo estacional lago Yelcho. 728
Fig. 248 Promedio de la producción acuícola de salmón [ton/año] en el lago Yelcho durante el período 1995 – 2012. 734
Fig. 249 Promedio porcentual de la producción acuícola de salmón en el lago Yelcho en el período 1995 – 2012. 735
Fig. 250 Los aportes de P calculado para el lago Yelcho. 736
Fig. 251 Clorofila a, PT y Secchi en el lago Llanquihue durante 1992-1999. 738

RESUMEN EJECUTIVO

Proyecto
Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados para actividades de acuicultura en la zona sur austral de Chile (primera etapa).

Ejecutor: Universidad Austral de Chile

Objetivo general: Evaluar el estado ambiental de lagos de la X Región, en los que se desarrollan actividades acuícolas, tendiente a obtener información actualizada de la capacidad de carga para cada uno de ellos.

Objetivo específicos

- Recopilar información disponible, bibliográfica y/o de proyectos referidos a estudios limnológicos, capacidades de carga, etc., de los lagos en los que se desarrollan actividades acuícolas.
- Identificar falencias e imprecisiones de cada modelo de capacidad de carga existentes para los lagos de la X región, indicando recomendaciones y ajustes destinados al perfeccionamiento y actualización de estos modelos y sus metodologías.
- Realizar monitoreos en al menos seis lagos de la X región de Los Lagos, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua.
- Proponer una metodología que permita establecer un modelo de capacidad de carga para el lago Llanquihue.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos en los TDR se realizaron las siguientes actividades:

En primera instancia se realizó una recopilación bibliográfica de los estudios e informes relevantes para el área de estudio, junto a la digitalización de la información significativa contenida en estos informes.
Posteriormente se procedió a evaluar la información recopilada junto a diferentes bases de datos disponibles tales como de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, el Ministerio de Medio Ambiente (MMA), el Servicio Nacional de Pesca, de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y de la Dirección General de Agua (DGA), referida a los doce lagos de la X Región en los cuales se encuentran centros de cultivo de peces operativos:

Lagos: Rupanco, Puyehue, Llanquihue, Chapo, Popetán, San Antonio, Natri, Cucao, Huillinco, Tarahuin, Tepuhueico, Yelcho.
Para dar cumplimiento al segundo objetivo se procedió a realizar un análisis de la información bibliográfica, encontrando diversas falencias en estudios e investigaciones realizadas, específicamente con énfasis en modelos de balance de nutrientes sobre los lagos Puyehue, Rupanco, Llanquihue, Chapo, Popetán, San Antonio, Natri, Cucao, Huilinco, Tarahuín, Tepuheico y Yelcho. Se analizó también la producción histórica de los centros de cultivo, la Información Ambiental de algunos centros (INFAS, 2010-2012) y se estimaron los aportes de P mediante la operación de los centros acuícolas.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo se procedió a realizar un monitoreo de los lagos Rupanco, Llanquihue, Chapo, Hullinco, Tarahuin y Natri, durante el primavera 2012.
El monitoreo de los lagos consistió en los siguientes muestreos:

- Muestreo de la columna de agua en diferentes estaciones para medir parámetros físicos, químicos y biológicos (principalmente temperatura, oxígeno, pH, conductividad eléctrica, transparencia, nutrientes P y N, clorofila a, fito- y zooplancton).
- Muestreo del sedimento en la cercanía de los centros de cultivo y prospección mediante buceo científico en dos lugares del lago Llanquihue con el fin de visualizar la flora y fauna bentónica.
- Mediciones de correntometría en la cercanía de los centros de cultivo y en el pelagial de cada uno de los seis lagos.

Para dar cumplimiento al cuarto objetivo se procedió a estimar el balance de nutrientes y de la capacidad de carga para el Lago Llanquihue. Se realizó una actualización del uso del suelo y se calculó la exportación de P por uso de suelo. Se estimaron los aportes de P por diferentes fuentes de contaminación dentro del lago y de la cuenca. Se hizo una estimación del balance hidrológico y finalmente un balance de nutrientes. Finalmente se modeló la carga crítica y el tiempo para alcanzar el equilibrio de P en el lago Llanquihue bajo diferentes escenarios de tiempo de renovación de sus aguas.

Los principales resultados se presentan categorizados por lago:

LAGO PUYEHUE - En general la información disponible es relativamente escasa. Existen principalmente el estudio base de Campos y col. (1989), el proyecto FIP de la Universidad Austral de Chile (1992), el estudio de Soto (2002) durante los años 1992-1999 y el estudio estacional de Woelfl (2007) y de León (2011). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación bibliográfica son:

El lago Puyehue tiene una superficie de 165 km^2 y una cuenca hidrográfica nueve veces mayor con 1510 km^2. Su profundidad máxima y media es solamente 123 m y 76 m. Su tiempo de renovación es ~ 3,4 años.

El único estudio sobre el balance de nutrientes se realizó durante 1991/92, (ejecutor: Universidad Austral de Chile). En su resultado final es dudoso principalmente porque se encontraron (1) incoherencias y falencias analíticas en las mediciones de P total en la columna de agua del lago, (2) no se consideraron otras cargas salvo los aportes de los afluentes (3) lo que resulta en una incoherencia entre las cargas medidas y calculadas siendo prácticamente 2 veces mayores que las medidas.

La producción de peces aumentó mucho desde ~ 300 ton/año en 1995/96 hasta ~ 1600 ton/año en 2008/9, y posteriormente disminuyó 500-1200 ton/año.

El correspondiente aporte de P por parte de los 2 centros de cultivo al lago fluctuó entre 2,3-3,0 tonP/año hasta alcanzar valores entre 11,4-14,0 ton P/año en 2007/2008. Posteriormente disminuye la carga en 2010/ 2011 a valores de 7,7 – 10,4 ton/año y 3,1-3,6 ton/año 2012. Se considera este aporte como una estimación más bien conservadora.

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas del lago Puyehue.

El análisis de la calidad de los datos históricos revela que la mayoría de los datos históricos de fósforo total son dudosos, mientras los datos sobre la transparencia y la clorofila a son confiables. La evaluación de los parámetros tróficos indican todavía un estado oligotrófico del lago Puyehue. Los datos parecen indicar una tendencia de un aumento de trofía durante los últimos 25 años.

La carga crítica para el lago Puyehue es aproximadamente ~ 102-5 ton P/año, mientras la carga actual estimada es similar a la carga crítica. La actividad acuícola en el lago Puyehue aportaría ~8 – 15 % de la carga total, dependiendo de su producción anual de peces. En 2012 el aporte de P fue menor.

Respecto a la actividad acuícola en el lago Puyehue, se recomienda **no** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar su capacidad de carga. Para evaluar mejor el riesgo de un aumento de trofía, y en consideración de la reciente erupción del cordón Caulle y el aumento de las actividades humanas (piscicultura, turismo) es recomendable realizar un balance actual de los nutrientes de la cuenca del lago Puyehue. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación más robusta.

LAGO RUPANCO - Sobre el lago Rupanco existen principalmente el estudio línea base de Campos (1992) en el año 1981/82 y después en 1984/85, el estudio FIP-IT/93-27 (1995) sobre el balance de nutrientes, el estudio de Soto (2002) sobre monitoreo comparativo de cinco lagos durante 1992-1999 y finalmente los estudios de Woelfl (2007) y León (2011) sobre el epilimnion del lago Rupanco. Los estudios mas acabados sobre el lago Rupanco fueron realizados en los años ochenta y noventa. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Rupanco tiene una superficie de 235 km^2 y una cuenca hidrográfica 4,2 veces mayor correspondiendo a 994 km^2. Su profundidad máxima y media es 274 m y 162 m. Su tiempo de renovación es ~ 8,5 años según FIP-IT/93-27.

La evaluación del único estudio sobre el balance de nutrientes en 1994/95 reveló varios problemas importantes, que limitan finalmente las conclusiones principales del estudio. (1) Aunque se consideran válidos los ingresos calculados, se estima que el valor real medido en la columna del lago (10,6 µgP/L) es sobre estimado debido a posibles errores en la determinación de P en la columna de agua. (2) En consecuencia el informe reporta altas cargas internas de P que no son coherentes con el comportamiento de un lago araucano con buena oxigenación hasta el fondo. (3) El balance hídrico fue incorrecto, pero este error no influye considerablemente (10%) en el balance de P.

Respecto a la producción de los peces en los 7 centros de cultivo, ésta aumentó continuamente desde 1995. En los últimos dos años alcanzó 5500-6400 ton de peces/año, que aportaron según nuestras estimaciones entre 42 y 53 ton P/año al lago Rupanco. Esto corresponde a un aumento de 4-5x veces el aporte de P desde el comienzo de las actividades acuícolas. Se considera este aporte una estimación más bien conservadora.

La revisión de las INFAS de solamente 2 de 7 centros acuícolas existentes en el lago Rupanco reveló incoherentes en algunos sitios de control respecto a los sitios bajo de las balsas jaulas. Se debería considerar rediseñar el monitoreo de los sedimentos.

El monitoreo del lago Rupanco reveló que la transparencia en los sitios cercanos a los centros de cultivos oscilaron entre 11 y 13,3 m, similar a los sitios control (centro 270 y bahía > 100) y típicos para condiciones todavía oligotróficos. Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de fósforo soluble y fósforo total entre las estaciones de referencia (central >270m y Bahía >100m) respecto a los centros de cultivo del lago Rupanco. Solamente para el fósforo total, se encontraron para dos centros de cultivos valores levemente más altos (0,007-0,008 mgP/L) en comparación con las estaciones referenciales (0,006 mgP/L). Los resultados de los análisis

de clorofila a para las estaciones centrales del lago Rupanco (>270m y Bahía >100m) mostraron valores relativamente bajos aún característicos para un lago oligotrófico.
El muestreo del sedimento no aportó mayores conocimientos que las INFAS revisadas. Se considera que la metodología aplicada probablemente no es adecuada para estudiar bien el estado del sedimento, porque se desconoce la dispersión de los contaminantes emitidos por las balsas jaulas.
La correntometría en el lago Rupanco muestra una dinámica seguida por los derivadores en las diferentes bahías heterogenea, generándose comportamientos irregulares, los que indicarían la interacción de agentes modificadores de la dirección de las corrientes en el lago, relacionados con la topografía y con movimientos turbulentos que ocurren en la masa de agua.

El análisis de la calidad de los datos revela que la mayoría de los datos históricos de fósforo total (hasta 2004) se consideran dudosos, mientras los datos sobre la visibilidad y la clorofila a se consideran confiables.

La evaluación de los parámetros tróficos históricos revela que el lago Rupanco ha mantenido su estado oligotrófico durante los últimos 33 años.

La carga crítica para el lago Rupanco es aproximadamente 175 tonP/año, mientras la carga actual estimada es mayor a 102 tonP/año, probablemente más bien en el orden de 120-140 ton P/año. Esto resulta que la carga actual de P por actividad acuícola para el año 2012 es significativa (entre 25 y 50%).

En relación a la actividad acuícola en el lago Rupanco, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar o acercarse demasiado a la capacidad de carga del lago Rupanco. Para un mejor evaluación del riesgo de un aumento de trofía, es necesario realizar un balance actualizado de los nutrientes de la cuenca del lago Rupanco. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación más robusta.

LAGO LLANQUIHUE - A parte de los estudios básicos de Campos et al. (1988) y posteriormente de Soto et al. (1993), existen estudios menores y de forma esporádica (CENMA 2007). La base de datos más completa e importante consiste en el monitoreo de la calidad de agua por parte de la Dirección general de Aguas, que se realiza desde los años ochenta en 4 estaciones ubicados en relativa cercanía a las orillas. Estudios relativos al balance de nutrientes, de carácter parcial, existen para el año 1993 (Soto et al. 1993) y de menor profundidad para el año 2007 (CENMA, 2007). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Llanquihue tiene una superficie de 870 km^2 y una cuenca hidrográfica solamente 1,8 veces mayor correspondientes a 1605 km^2. Su profundidad

máxima y media es 317 m y 182 m. Su tiempo de renovación es ~ 70 años según la literatura (49 según este estudio).

Estudios relativos al balance de nutrientes, de carácter parcial, existen para el año 1993 (Soto et al. 1993) y de menor profundidad para el año 2007 (CENMA, 2007). Un estudio acabado sobre el balance de nutrientes hasta hoy no existe. Todos los estudios conllevan problemas mayores – principalmente metodológicos y analíticos - que limitan realizar conclusiones robustas acerca del estado trófico y del riesgo asociado a las actividades en la cuenca del lago Llanquihue. Las principales limitaciones fueron (1) la existencia de pocas muestras referenciales en el centro del lago Llanquihue, (2) la inexistencia de mediciones a profundidades > 80-100 m, (3) la incompleta información sobre la calidad del agua de aprox. 50% de la masa del lago y (4) problemas acerca de la reducida confiabilidad de la calidad de los valores de fósforo total en la base de datos de la Dirección general de Aguas y parcialmente también de la Universidad Austral de Chile en los años ochenta y noventa.

El análisis de la base de datos de la DGA reveló que parte de los datos históricos sobre PT es muy dudosa, probablemente debido a problemas analíticos. Sin embargo, los datos de clorofila a y Secchi son confiables.

El análisis de las INFAS de los años 2010, 2011 y parcialmente también del año 2012 de la mayoría de los centros de cultivos reveló (1) una alta heterogeneidad entre los sitios cercanos a las balsas jaulas y los sitios de control en cada centro de cultivo con valores parcialmente incoherentes (p.e. centro 100204), (2) la elección de los sitios control, por los mayores y elevados contenidos de la fracción fango y de materia orgánica (Bahía Maitén B 100511, Playa Maqui 100505, Phillipi 1 1001100, Puerto Rosales 100070, etc.), (3) condiciones oxigenadas en la mayoría de los centros de cultivo. Parece dudoso que las INFAS reflejan adecuadamente la calidad ambiental del sedimento.

La revisión de la base de datos sobre el abastecimiento, salidas y existencia de peces, reveló ciertos problemas relacionados a la calidad de los datos (p.e. falta de datos, incoherencias, valores erróneos, etc.). Estos problemas producen un cierto margen de error (se estima entre 5-10%) en la determinación de la producción bruta y neta de los centros de cultivos, observando especialmente un margen de error mayor para los años noventa hasta el año 2005. Según esta base de datos la producción bruta (= suma de “salidas”) aumentó desde 1995/6 hasta 2012 por el factor 4x (1995: ~ 2000, 2012: ~ 7800).
Consecuentemente - y según nuestras estimaciones – también aumentó la carga de P desde ~ 14-16 ton P/año en 1995 a ~ 60-70 ton P/año. Esta estimación tiene cierto rango de incertidumbre siendo más bien conservadora, especialmente para el período 1995-2005.

El monitoreo del lago Llanquihue en 12 estaciones en la cercanía de centros y en 2 estaciones control aportó por primera vez datos químicos/físicos desde la superficie hasta el fondo en las zonas más profundas del lago Llanquihue (> 250 m). Los perfiles verticales de oxígeno revelaron una buena oxigenación hasta el fondo del lago (85% saturación), típico para un lago oligotrófico. Los perfiles verticales de fósforo y nitrógeno total fueron bastante homogéneos en toda la columna de agua, indicando generalmente condiciones oligotróficos. Solamente en la bahía Pt. Rosales se detectaron valores de fósforo significativamente más altos (0,012 mgP/L) que el valor promedio en las estaciones referenciales (0,006 mgP/L). Los otros parámetros tróficos - clorofila a y transparencia - están en el rango reportado en años anteriores (1992 – 2012), característicos para un lago oligotrófio. Sin embargo, los valores de clorofila a, en la mayoría de las bahías fue significativamente mayores en comparación con los valores referenciales en el centro del lago, algo similar a lo reportado anteriormente.

El análisis de los sedimentos en las 13 estaciones ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo mostró en general porcentajes poco elevados de materia orgánica, aunque hubo casos mayores al 10 %, para la mayoría de las estaciones. Los máximos valores registrados correspondieron a estaciones cercanas a los centros Bahía Domeyco, Puerto Phillipi 1, Playa Maqui, Puerto Octay y Puerto Rosales, todos acompañados de un fuerte olor a pescado y H_2S. Por lo demás el análisis de los sedimentos no aportó más información que las INFAS.

La prospección subacuática del fondo en dos sitios, Puerto Rosales y Bahía Phillipi evidenció una tendencia a un estado mesotrofico en las localidades muestreadas indicando además mayores efectos negativos en áreas mas extensas en las bahías estudiadas.

El estudio de las corrientes en todas las bahías con centros de cultivos en el lago Llanquihue arrojó como resultado general que existen corrientes importantes dependientes de la velocidad, orientación del viento y la morfometría de la bahía. Se puede suponer con un alto grado de certeza que las corrientes, por lo menos en la capa superficial hasta los 15 m de profundidad, son suficientemente fuertes (2 – 30 cm/s) para producir una buena distribución y mezcla de los nutrientes disueltos.

Se realizó un balance estimativo para el año 2012. Según este balance ingresaron ~123-134 ton P al lago Llanquihue, que contiene 1018 ton P en su masa de agua. El aporte de P por parte de las balsa jaulas fue el 51% del aporte más importante de P en el lago Llanquihue, seguido por uso de suelo (23%) precipitación sobre el lago (11 %), población (6%), pisciculturas (6%) y otros en orden descendiente. Aproximadamente 14,4 ton de P salen del lago a través del río Maullin durante un año, las toneladas restantes 108-118 ton P sedimentarían, asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua. La tasa de

sedimentación fue por lo tanto ~ 89-90% de los ingresos que es típico para lagos con un tiempo de renovación tan lenta y concuerda muy bien con la tasa de sedimentación calculada para el lago Llanquihue.

Según el modelo predictivo de Vollenweider, en el caso que el lago se encuentre en equilibrio dinámico, el lago Llanquihue debería haber recibido una carga de ~ 136-166 ton P/año (Tw: 70 y 49 años). Considerando que el lago Llanquihue necesita entre 12 y 22 años para alcanzar 95% de su equilibrio (para P), y considerando el continuo aumento de la carga de P no solo por la actividad acuícola sino también por otras fuentes (p.e. pisciculturas, ganadería, agricultura, turismo) en las últimas dos décadas, es muy probable, que el lago todavía este experimentando una fase de acumulación de P en su columna de agua. En este caso la carga de P sería mayor que 136 (166) ton P/año y nuestra estimación de los ingresos de P sería subestimada.

La carga crítica para el lago Llanquihue - para no sobrepasar 0,010 mg P/l en la columna de agua y perder su condición oligotrófica - es ~ 210 tonP/año.

En consideración de la incertidumbre respecto a la carga real de P al lago Llanquihue, este consultor está convencido que se debe ser conservador y mantener el estado actual de la trofía del lago Llanquihue, es decir la concentración promedio de P máximo en 0,006 mgP/L. Se debe ser muy cauteloso y conservador al respecto debido a que el tiempo de resilencia del lago Llanquihue es larga. Cambios negativos como p.e. aumento de las cargas de nutrientes se manifiestan recién en (10-) 20 años. En relación al potencial de aumentar su estado trófico, este consultor estima que este es considerable debido a que el lago todavía no se encuentra en un equilibrio y ha experimentado un aumento continuo de su carga en los últimas décadas.

1) Respecto a la actividad acuícola, se recomienda enfáticamente **NO** aumentar la actividad acuícola para no aumentar el contenido de P en el lago y para no sobrepasar en un futuro la capacidad de carga del lago. Se debe al contrario tratar de disminuir la actividad acuícola y pisciculturas, que según nuestras estimaciones aportarían alrededor de 57% de la carga total de P.
2) Para disponer de una evaluación de la carga de nutrientes más robusta y para disponer de una base de datos más confiable, es indispensable realizar un balance de los nutrientes en la cuenca del lago Llanquihue.
3) Se debe considerar ampliar el monitoreo del fondo en las bahías con centros de cultivos. Se recomienda un monitoreo más amplio, preferentemente acompañado con filmaciones subacuáticas.
4) Considerando la trascendencia de las mediciones de los nutrientes en los cálculos de carga y balance junto al hecho que el Lago Llanquihue tiene una Norma Secundaria, es de suma importancia mejorar sustancialmente la calidad analítica de las mediciones de fósforo total (y también de

nitrógeno total y otros nutrientes inorgánicos) por parte de la Dirección General de Aguas.
5) Es necesario realizar mediciones de la calidad de agua en una estación en el centro del lago hasta profundidades mayores.
6) Se recomienda instalar un limnigráfo en la desembocadura del río Maullin para obtener datos confiables acerca de las salidas del lago Llanquihue

LAGO CHAPO - Sobre este lago existen datos desde 1986, reportados por Villalobos y col. (2003) y Woelfl y col. (2003), además el estudio FIP-IT/97-40 (1999) sobre el balance de nutrientes y la base de la Dirección General de Aguas (DGA) (2001-2012). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS y se monitoreó este lago durante primavera 2012. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Chapo tiene una superficie de 45 km^2 y una cuenca hidrográfica 6,8 veces mayor correspondientes a 310 km^2. Su profundidad máxima y media es 298 m y 151 m. Su tiempo de renovación es ~ 5,5 años según Woelfl et al. (2003) y 3,4 años según el estudio FIP-IT/97-40 (1999).

El análisis del estudio de balance de nutrientes del lago Chapo es en esencia deficiente y con errores. Fue casi imposible o muy difícil verificar los cálculos realizados para obtener las diferentes cargas, el contenido de P en la columna de agua y la salida de nutrientes por el efluente. Las cargas de P aportadas por los centros están sobreestimadas (factor 6-7x).

En la base de datos de la DGA, se detectaron en algunos casos problemas mayores – principalmente metodológicos y analíticos - que limitan en parte realizar conclusiones robustas, especialmente sobre el desarrollo de la concentración de fósforo total en los últimos 10 años.

La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~450 y ~3000 ton/año. En los últimos 2 años (2011-2012) la producción fluctuó entre 1700 y 2000 ton de peces por año. Según los cálculos del presente estudio, los aportes de P correspondientes a los seis centros de cultivo fluctuaron entre 3 y 17 tonP/año. En general, la carga de P, evidencia un incremento sostenido hasta 2009. Luego, tiende a bajar a niveles entre 10 y 17 ton/año hasta 2012.

El análisis de las INFAS de solo un centro de cultivo (100394) (de un total de 6 centros) para los años 2010-2011 reveló en general diferencias relativamente notables entre años y estaciones.

El monitoreo del lago Chapo durante primavera 2012 reveló valores promedio de fósforo total similares a los en 1996/97 (0,006-0,007 mgP/L) y típicos para ambientes todavía oligotróficos. No se encontraron diferencias significativas

importantes entre estaciones referenciales y las demás estaciones cerca de los centros de cultivo. Aunque en 2012 solamente había un muestreo, tanto la transparencia como la clorofila a mostraron desde los años 1986 hasta la fecha un continuo y marcado empeoramiento de la calidad del agua.
El análisis del sedimento de las 6 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo destaco por el gran aporte de material orgánico depositado en una estación del centro Desagüe 2 donde se obtuvo un valor de 21 % y otros cercanos al centro Río Sur, en especial la estación 2 donde se registró un valor de 38 % y leve olor a podrido y la estación 1 cercana al centro La Peña, con un aporte orgánico de 32 % con olor a podrido, indicación de una contaminación con materia orgánica.
El estudio de la correntometría permitió reconocer la existencia de corrientes de retorno y movimientos turbulentos de la masa de agua principalmente en sectores de costa irregular. Como resultado general se puede resumir que existen corrientes suficientemente fuertes (2 – 30 cm/s) para producir una buena distribución y mezcla de los nutrientes disueltos. Las mediciones muestran una similitud a las mediciones reportadas en 1998.
Respecto a la comunidad de fitoplancton se encontró un ensamble bastante homogéneo entre las estaciones de muestreo. Como norma, el fitoplancton de este lago se caracterizó por la co-dominancia, en más de un 80% de abundancia conjunta de las Criptofíceas y grandes Diatomeas pennadas formadoras de cadenas. Las densidades de las microalgas en todas las estaciones son bastante más altas que las reportadas anteriormente en 1986.
Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio son en parte diferentes a las de 1986. *Boeckella gracilipes* anteriormente dominante no se encontró, tampoco *Diaphanosoma chilense*. Domina el copépodo calanoideo *Diaptomus diabolicus.* Las densidades de zooplancton encontradas en 2012 fueron similares al amplio rango reportado anteriormente.

La carga crítica (para no sobrepasar 0,010 mg P/l en la columna de agua) correspondiente al lago Chapo es ~ 42 y 57 tonP/año, asumiendo un tiempo de renovación de 5,5 (valor reportado 1986) y 3,4 años (valor reportado 1998). En el caso que el lago se encuentre en equilibrio dinámico, el lago debería recibir una carga de ~ 25 ton P/año (Tw=3,4 años) hasta 34 ton P/año (Tw=5,5 años). En el caso que el lago no se encuentre todavía en equilibrio, estaría experimentando una acumulación de P y en este caso la carga de P sería mayor a 25-34 ton P/año.

Se estima que la carga de P por parte de la actividad acuícola es por lo menos 50-60% de la carga actual total de la cuenca, que se estima en mínimo 25 tonP/año (en 1998 los afluentes aportaron 7,4 tonP/año, precipitación 1,4 tonP/año, más otras cargas < 1 tonP/año).

Respecto a la actividad acuícola en el lago Chapo, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar o acercarse demasiado a la capacidad de carga del lago. Se debe incluso ver la posibilidad de reducir la carga por actividad acuícola. Se debe evaluar mejor el riesgo de un aumento de trofía y realizar un balance actual de los nutrientes de la cuenca del lago Chapo. A su vez se sugiere estudiar la influencia de la variación del nivel del lago sobre su trofía.

LAGO POPETÁN - El lago Popetán fue estudiado detalladamente – incluyendo un balance de nutrientes - por la Universidad de Valparaíso durante 1998 (FIP-IT/97-40, 1999). Estudios más reciente no existen. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Popetán (42º12´S, 73º28W) se ubica en el noreste de la isla grande de Chiloe, a unos 8 km al sur de Quemchi. Es un lago distrófico y tiene una superficie de solo 1,6 km^2 y una cuenca hidrográfica 8,3 veces mayor correspondientes a 13,3 km^2. Su profundidad máxima y media es solamente 17,4 y 8,1 m. Su tiempo de renovación es ~0,2 años.

El balance de P del lago Popetán muestra un alto grado de incerteza debido a limitaciones en el balance hídrico y la supuesta sobreestimación de la carga de P por el cultivo por el factor ~ 4-5x veces.

En base de los datos entregados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la actividad acuícola no se registra desde 2010, antes se produjeron ~ 140 - 350 ton peces por año (producción bruta). Según nuestros cálculos los centros de cultivo aportaron ~ 1-3,5 toneladas de P por año al lago Popetán.
El estado trófico del lago Popetán ya estaba mostrando una transición de un estado de oligotrofía hacia un estado mesotrófico. De acuerdo a los valores de fósforo total (0,013 mgP/L) y clorofila a (0,5 – 6 µg/L) estos indicaron mesotrofía, mientras la transparencia fue muy baja (3,8 m) debido al carácter distrófico del lago (alta concentración de materia orgánica disuelta). Ello no se debe interpretar como indicación de ambientes eutróficos.

Ya en 1999 el consultor del mencionado estudio (Universidad de Valparaíso) enfatizó que la carga de fósforo por la actividad acuícola superó por creces la carga crítica estimada en 0,79 tonP/año para el lago Popetán. Sin embargo, contrario a la recomendación de este consultor, el volumen de producción acuícola se mantuvo y aún peor se amplió hasta llegar en los años 2007 y 2008 incluso a valores hasta 350 ton/año (2008), que es ~ 2 veces mayor a la producción registrada en 1998.

Respecto a la pregunta si el lago Popetán es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto. Se recomienda enfáticamente mantener el lago Popetán sin actividad acuícola y no retomar la producción de peces después de abandonar la actividad acuícola en 2009 hasta la fecha.

LAGO SAN ANTONIO - El lago San Antonio fue estudiado detalladamente – incluyendo un balance de nutrientes - por la Universidad de Valparaíso durante 1998 (FIP-IT/97-40, 1999). Estudios más recientes no existen. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago San Antonio es distrófico con una alta concentración de ácidos húmicos, que disminuyen la transparencia del agua. Tiene una superficie de 3 km^2 y una cuenca hidrográfica 8,2 veces mayor correspondiente a 24,8 km^2. Su profundidad máxima y media es solamente 10,9 y 5,4 m. Su tiempo de renovación es ~ 0,4 años.

El balance de P del lago San Antonio muestra un cierto grado de incerteza debido a limitaciones en el balance hídrico. Además el informe carece en partes importantes de información verificable para seguir las estimaciones y cálculos realizados, especialmente respecto a la carga de los cultivos.

El Lago San Antonio cuenta con la existencia de una concesión. La producción acuícola solamente se realizó durante 1999-2001, con una producción bruta de 58-75 ton/año (2003, 2007 y 2008: producción fue < 1 ton/año). Su aporte estimado de P fue ~ 0,45-0,7 tonP/año.

De acuerdo a los rangos del fósforo total (0,008 – 0,100 mgP/L) y clorofila a (0,5-4,3 µg/L) observados, los valores estuvieron en el borde de la oligotrofía hacia mesotrofía, mientras la transparencia (3,1 m) fue muy baja debido al carácter distrófico del lago (alta concentración de materia orgánica disuelta). Ello no se debe interpretar como indicación de ambientes eutróficos.

Respecto a la pregunta si el lago San Antonio es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto. Se recomienda no retomar la producción de peces.

LAGO NATRI - El lago Natri fue estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97 que realizó un estudio de balance de nutrientes (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). En otro estudio de la fundación Chile se estudió además el impacto del fósforo proveniente del alimento utilizado en salmonicultura (Informe FIP 94-02; 1997). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS y se monitoreo en este estudio. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Natri es un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Tiene una superficie de solamente 7,8 km^2 y una cuenca hidrográfica seis veces mayor correspondiente a 46,5 km^2. Su profundidad máxima y media es 35 m y 3,5 m. Su tiempo de renovación es ~ 3,5 años.

El análisis del estudio 1996/97 revela pocas falencias, sin embargo la más importante está relacionada con la sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas por el factor ~ 2 veces debido a la falta de información. La carga estimada (recalculada) en aquel año fue 2 veces mayor (4,2 tonP/año) a la carga crítica (2,2 tonP/año).

En el lago Natri se evidencia la existencia de 3 concesiones otorgadas con producción activa sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~300 y ~2050 ton/año durante los últimos 10 años. Se observa un aumento muy notable tanto de la producción de peces como de su carga de P estimada en los últimos dos años. El aporte de P estimado de ~11-18 tonP/año durante 2011/12 sobrepasa la carga crítica calculada (2 ton P/año) por el factor 5-9 veces.

No se obtuvo información sobre las INFAS.

El monitoreo del lago Huillinco reveló que los valores promedio de fósforo total en 2012 fueron prácticamente los mismos que en 1996/97 (0,025 mgP/L) y típicos para ambientes eutróficos. La transparencia medida en este estudio fue en general baja y más baja que en 1996/97. Esto es debido al carácter distrófico del lago y no a la atenuación de luz por parte de las algas. Sin embargo, la clorofila a en 1996/97 fue en promedio tres a cuatro veces más alta que en primavera 2012 siendo valores indicativos para ambientes eutróficos (1996/97) y mesotróficos (2012). No se encontraron diferencias significativas en los parámetros tróficos en la columna de agua entre la estación de referencia y las estaciones centro de cultivo, lo que probablemente es debido a la buena mezcla de las masa de agua en el lago Natri. Respecto al fitoplancton, se encontraron 50 especies, lo que es un número mayor al reportado en 1996/97 97 (27 especies). Las densidades varían entre 1,4 y 13,7 x 10^6 cel/L siendo la estación 100437 la que presento los valores más bajos. Estos valores pueden considerarse dentro del amplio rango histórico reportado (0,5 – 6 x 10^6 cel/L). Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio son en parte diferentes a las de 1996/97. Las densidades encontradas fueron muy similares entre la estación control y los centros de cultivo, lo que deja suponer la buena mezcla de la masa de agua en el lago Natri. Respecto al estudio de los sedimentos, dos de tres centros de cultivo mostraron condiciones oxigenadas. La materia orgánica, expresada como porcentaje total de materia orgánica (combustibles totales), contenida en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo en el Lago Natri se destacó el porcentaje orgánico depositado en el centro Natri II con olor desagradable y valores entre 26 y 38 %, mayores que aquellos mencionados en las INFAS, como también el

valor en una estación del centro Pitote que alcanzó un 24 % de materia orgánica. La correntometría reveló que la forma regular del lago Natri en su morfometría y su tamaño reducido permite estimar una efectiva mezcla de las aguas del lago. En períodos de tiempo de 24 a 36 hrs. las corrientes pueden llevar a las aguas del lago de un extremo al otro.

Para el lago Natri existen datos tróficos solamente para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) y para el año 2012. Llama la atención que los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 son prácticamente iguales y típicos para ambientes eutróficos. Cabe concluir que el lago Natri mostró en 2012 un nivel meso-eutrófico similar a su estado trófico en 1996/97. Sin embargo, se debe considerar que en 2012 se realizó solamente un muestreo que refleja solamente un imagen momentánea del nivel trófico basándose en clorofila a y transparencia.

El lago Natri recibe una gran sobrecarga de nutrientes por parte de la actividad acuícola que sobrepasa varias veces (5-9 veces) la carga crítica (2,2 tonP/año) para este lago. Se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola y al contrario terminar con la actividad acuícola en este lago. Esta misma recomendación ya se realizó 15 años atrás, cuando la carga de P era todavía 3-4 veces menor a la actual.

LAGO CUCAO - El lago Cucao fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile que realizó un balance de nutrientes durante 1996/97 (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Estudios más recientes no existen. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Cucao es un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Además es un lago meromíctico (no mezcla completamente) con una estratificación química bajo 7-14 m de profundidad donde se ubica el monimolímnion anóxico. Tiene una superficie de 10,6 km^2 y una cuenca hidrográfica 3,13 veces mayor correspondiendo a 33,2 km^2. Su profundidad máxima y media es solamente 25 m y 12 m. Su tiempo de renovación se calculó en ~ 0,1 años (23 días).

El balance de nutrientes en el lago Cucao conlleva un alto grado de incerteza principalmente debido a un balance hídrico altamente cuestionable que no considera adecuadamente la influencia mareal. Además presenta una subestimación de la carga por centros acuícolas y aplica un modelo predictivo que no es adecuado para un lago meromíctico con alta tasa de renovación. Consecuentemente el balance de P para este lago no es confiable. Según los parámetros fósforo total y clorofila a el estado trófico del lago Cucao fue

mesotrófico. En relación a la baja transparencia (< 4 m) estos valores son típicos para los lagos distróficos de Chiloé y no se debe interpretar como indicativo de un estado eutrófico. Por falta de datos queda incógnita como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

La producción bruta de peces osciló entre 300-630 ton/año en el periodo 2000-2009. La carga de fósforo fue en este período aproximadamente 2,5 - 4,2 tonP/año.

Debido a que el balance hídrico es deficiente, no se puede estimar satisfactoriamente la carga crítica. Según el estudio de la UACH la carga interna del lago (645 tonP/año) ya superó por creces la carga critica del lago (21 tonP/año).

Respecto a la pregunta si el lago Cucao es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto para esta actividad. Se recomienda **NO** retomar la producción de peces después de abandonar la actividad acuícola en 2010 hasta la fecha. Eventualmente se debe analizar el estado ambiental del lago con muestreos de la calidad trófica de la columna de agua (y eventualmente también del sedimento) durante el período de estratificación térmica con el fin de determinar si el lago aun muestra una tendencia al aumento de trofía.

LAGO HUILLINCO - El lago Huillinco fue estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97 que realizó un estudio de balance de nutrientes (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). En otro estudio de la fundación Chile se estudió además el impacto del fósforo proveniente del alimento utilizados en salmonicultura (Informe FIP 94-02; 1997). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS y se monitoreó este lago durante primavera 2012. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Huillinco es un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Es un lago meromíctico, es decir que no mezcla completamente hasta el fondo debido a una estratificación química bajo 10-15 m de profundidad donde se ubica el monimolímnion anóxico. Tiene una superficie de 19,1 km^2 y una cuenca hidrográfica 27,7 veces mayor. Su profundidad máxima y media es 47 m y 20,7 m. Su tiempo de renovación se estimó en ~ 0,2 años.

El balance de nutrientes en 1996/97 para el lago Huillinco conlleva un alto grado de incerteza debido a un balance hídrico altamente cuestionable, aun cuando se incluyó adecuadamente la influencia mareal. Consecuentemente el tiempo de renovación teórico estimado (0,2 años) es muy dudoso. Otra limitación es la baja resolución vertical de P y N en la columna de agua, lo que

dificulta el cálculo correcto de la masa total de nutrientes en la columna de agua.

Los modelos utilizados para la determinación de la carga crítica son inadecuados para un lago meromíctico.

En el lago Huillinco se evidencian la existencia de 5 concesiones otorgadas con producción activa. La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre 150 y casi 2000 ton/año, con tendencia a disminuir en los dos últimos años (200-400 ton/año).

Los aportes estimados de P fluctuaron entre 2 y 14 tonP/año. Tres de los cinco centros de cultivos aportan 90% de la producción y de la carga de P.

El monitoreo del lago Huillinco reveló resultados similares a los reportados en 1996/97 a pesar de las limitaciones de aquel estudio. No hay diferencias significativas entre las estaciones control y centros de cultivos. De acuerdo a PT el lago sería mesotrófico, sin embargo por la baja transparencia y la baja concentración de nitrógeno disuelto se reportan bajas concentraciones de clorofila, típicos para lagos oligotróficos. En comparación con 1996/97 la clorofila a fue menor. La composición especifica del ensamble de microalgas dominantes en el lago Huillinco sugiere una condición meso- eutrófica del lago donde los compuestos de nitrógeno y fósforo disueltos no serían limitantes para el desarrollo de las clorofíceas. Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio coinciden con las de 1996/97, con excepción de *Daphnia*, que no fue reportado en aquel tiempo. Las densidades encontradas en nuestro estudio fueron en el rango reportado en 1996/97, siendo las del sitio control las más bajas. El análisis de sedimento en 5 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo revela altos contenidos orgánicos depositado en las cercanías de los centros Ensenada Contento, Ensenada Leuquetro, Punta Contento y una estación cercana al centro Río Bravo & Río Coipo, todos sobre 40 %, acompañadas del característico y fuerte olor putrefacto. La correntometría del lago Huillinco revela que las corrientes son suficientes para producir una distribución relativamente homogénea en los estratos superficiales del lago.

Respecto al estado trófico, en 1996/97 el lago Hullinco se encontró de acuerdo a las muy altas concentraciones de fósforo total en un estado eutrófico, mientras en primavera 2012 el PT indicó más bien un estado mesotrófico. Sin embargo, las concentraciones de clorofila a indicaron en 1996/97 solamente un estado mesotrófico, mientras en primavera 2012 las concentraciones de clorofila a fueron incluso dentro del rango de la oligotrofía en casi todas las estaciones de muestreo.

Respecto a la actividad acuícola en el lago Huillinco, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola mientras no sesepa con certeza el comportamiento del lago que muestra influencia mareal.

LAGO TARAHUIN - El lago Tarahuin fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile que realizó un balance de nutrientes durante 1996/97 (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS y se monitoreó este lago durante primavera 2012. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Tarahuin es un lago distrófico, tiene una superficie de 7,7 km^2 y una cuenca hidrográfica 38,2 veces mayor. Su profundidad máxima y media es solamente 33 m y 22,2 m. Su tiempo de renovación es ~2,7 años.

El estudio sobre el balance de nutrientes tiene pocas falencias, la más grande está relacionada con la sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas debido a la falta de información. La carga calculada (~ 6,5 tonP/año) fue ~ tres veces mayor a la carga crítica (2 ton P/año). El lago Tarahuin presentó una leve mesotrófía en 1996 con algunos valores eutróficos de clorofila a.

La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~600 y ~900 ton/año durante los últimos 10 años. Los aportes estimados de P fluctuaron consecuentemente entre 4 y 6 tonP/año. Un centro (100521) aporta 92%, el segundo el resto.

El monitoreo del lago Tarahuin reveló resultados similares a los reportados en 1996/97. Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 fueron muy similares y típicos para ambientes eutróficos. Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 fueron muy similares (0,023 – 0,027 mgP/L) y típicos para ambientes eutróficos. Los valores de clorofila a indicaron tanto en 1996/97 como en este estudio un estado mesotrófico en todas las estaciones de muestreo. La transparencia fue muy similar en 1996/97 y 2012 y en general baja (3,1- 3,5) debido al carácter distrófico del lago. El muestreo de los sedimentos en 2 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo reveló porcentajes de materia orgánica elevados en las cercanías a ambos centros y mayores que aquellos mencionados en las INFAS, registrándose los máximos en las estaciones cercanas al centro Río Tarahuín, entre 16 y 28 %, la mayoría acompañadas de olores desagradables. El estudio de las corrientes reveló que la masa de agua en el lago Tarahuin se mezcla bien. El análisis de correntometría reveló una dinámica compleja de las corrientes como acusan las trayectorias de los derivadores y de baja intensidad de corrientes.

Respecto a la carga crítica y actual ya 1996 la Universidad Austral de Chile enfatizó que la carga crítica de fósforo (~ 2,5 ton P/año) fue superada por el factor ~2 (~ 5-6 ton P/año). La carga del centro de cultivo aportó en aquel tiempo ~ 50-60% de la carga total. Posteriormente y contrario de las recomendaciones de la UACH en 1996 de no aumentar la producción de salmones, incluso se intensifico la actividad acuícola. El aporte estimado de P por parte de la actividad acuícola aumentó incluso hasta 4-6 tonP/año (2010-2012), lo que corresponde a una sobrecarga de la carga crítica estimada.

Por sus características morfológicas (tamaño, profundidad) el lago Tarahuin tiene un hipolimnion muy reducido en comparación con el epilimnion que convierte el lago en un cuerpo principalmente frágil frente al aumento de trofía y consecuentemente al consumo de oxígeno en el hipolimnion. Se recomienda **NO** aumentar e incluso terminar la actividad acuícola en este lago.

LAGO TEPUHEICO - El lago Tepuhueico fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile que realizó un balance de nutrientes durante 1996/97 (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Estudios más recientes no existen. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:

El lago Tepuheico tiene una superficie de 14,3 km^2 y una cuenca hidrográfica 12,7 veces mayor. Su profundidad máxima y media es solamente 25 m y 9 m. Su tiempo de renovación (Tw) es ~ 0,2 años.

El estudio de balance de nutrientes tiene falencias, la más grande está relacionada con la sobreestimación de las cargas de los afluentes y de los centros acuícolas, como también la utilización de una ecuación errónea para el cálculo de la carga crítica.
La producción acuícola, que en 1996 fue aproximadamente 100 ton/año, luego aumentó considerablemente hasta alcanzar casi 500 ton/año en 2008. A partir de 2009 no se registra más actividad acuícola en este lago.

El ingreso de P estimado consecuentemente aumentó a valores de aproximadamente 3,3-4,5 ton P/año en 2012 o ~ 70-80% de la carga crítica.

El estado trófico durante 1996/97 fue mesotrófico con un rango de fósforo total y clorofila a moderado. Por falta de datos recientes queda incognito como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

Aunque el cálculo actual de los valores reveló una probable sobre-estimación del aporte de P en aquel estudio, se puede apreciar de los resultados obtenidos que el nivel trófico del lago Tepuheico ya estaba mostrando una transición de un estado de oligotrofía hacia un estado mesotrófico con algunos valores de clorofila a altos (19,6 µgP/L) característico de lagos meso/eutróficos en 1996.

Por sus características morfológicas (tamaño, profundidad) este lago – como todos los lagos de la Isla grande de Chiloé – tiene un hipolimnion reducido en comparación con el epilimnion que convierte el lago en un cuerpo frágil frente al aumento de trofía y consecuentemente al consumo de oxígeno en el hipolimnion.

Respecto a la pregunta si el lago Tepuheico es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto. Se recomienda **NO** retomar la producción de peces después de abandonar esta actividad en 2009 hasta la fecha. Eventualmente se debe analizar el estado ambiental del lago con muestreos de la calidad trófica de la columna de agua (y eventualmente también del sedimento) durante el período de estratificación térmica con el fin de determinar si el lago aun muestra una tendencia al aumento de trofía.

LAGO YELCHO - El lago Yelcho fue estudiado detalladamente – incluyendo un balance de nutrientes - por la Universidad de Valparaíso durante 1998 (FIP-IT/97-40, 1999). El estudio de Soto (2002) reporta valores tróficos (2 mediciones por año) para 1992-1999. Estudios más recientes no existen. Además se evaluó los datos sobre producción de peces y sobre las INFAS. Los principales resultados de la evaluación de la información disponible son:
El lago Yelcho tiene una superficie de 120 km^2 y una cuenca hidrográfica 17,4 veces mayor. Su profundidad máxima y media es 238 m y 110,1 m. Su volumen es 13,3 km^3. Su tiempo de renovación es ~ 0,5 años.

En el estudio sobre el balance de nutrientes (1998) se detectaron por lo menos un error grave en el balance hídrico que sobrestima la evaporación por aproximadamente el factor 10x. Aunque los cálculos del balance de nutrientes son coherentes y matemáticamente correctos, la determinación de la masa total de P en el lago tiene ciertas limitaciones debido a los pocos datos en el hipolimnion del lago. La concentración de P en el lago (0,0098 mg P/L) parece sobreestimado considerando la concentración de P en el afluente principal y de acuerdo a los modelos predictivos que predicen una concentración de solamente 0,0067 mgP/L.

En el lago Yelcho existen 2 concesiones otorgadas. Se observa un fuerte aumento en la producción de peces durante los últimos 10 años alcanzando ~ 1200-1300 ton/año. El correspondiente aporte de P se estima en mínimo 10-12 tonP/año.

Respecto al estado trófico, los valores de clorofila a indican un estado ultraoligotrófico mientras los valores de P total indicarían un estado oligotrófico (1992-1999) o incluso mesotrófico (1998). La baja transparencia registrada es característica para un estado mesotrófico, que en conjunto con la mayor mezcla del epilimnion resulta en una fuerte limitación del crecimiento de las

algas por luz. Debido a la ausencia de datos recientes no está claro en qué estado trófico se encuentra actualmente este lago.

La carga crítica se calculó a aproximadamente 329 tonP/año, pero se estima que tiene un rango de incertidumbre más amplio considerando los problemas del balance hídrico mencionados.

Según el informe FIP-IT/97-40 en 1998 la carga de P estimada se encontraba ya en el rango de la carga crítica.

Respecto a la actividad acuícola en el lago Yelcho, se recomienda **NO** aumentar ésta para no sobrepasar la capacidad de carga del lago. En consideración del gran aumento de la actividad acuícola y de los problemas relacionados con el balance hídrico, se recomienda enfáticamente monitorear este lago y en lo posible realizar un balance hídrico y de nutrientes. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación más robusta.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo general y los objetivos específicos según los “Términos Técnicos de Referencia” de este proyecto son los siguientes:

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el estado ambiental de lagos de la X región, en los que se desarrollan actividades acuícolas, tendiente a obtener información actualizada de la capacidad de carga para cada uno de ellos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información disponible, bibliográfica y/o de proyectos referidos a estudios limnológicos, capacidades de carga, etc., de los lagos en los que se desarrollan actividades acuícolas.
- Identificar falencias e imprecisiones de cada modelo de capacidad de carga existentes para los lagos de la X región, indicando recomendaciones y ajustes destinados al perfeccionamiento y actualización de estos modelos y sus metodologías.
- Realizar monitoreos en al menos seis lagos de la X región de Los Lagos, considerando parámetros físico-químicos en agua y sedimentos, productividad y, mediciones de circulación, que permitan caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua.
- Proponer una metodología que permita establecer un modelo de capacidad de carga para el lago Llanquihue.

1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto de acuerdo a sus Términos Técnicos de Referencia tiene como objetivo principal "*evaluar el estado ambiental de lagos de la X región, en los que se desarrollan actividades de acuicultura, tendiente a obtener información actualizada de la capacidad de carga para cada uno de ellos*".

Este objetivo esta principalmente fundamentado en el hecho de que la mayor parte de los estudios de capacidad de carga y de salmonicultura en lagos estándesactualizados, de lo cual emerge la necesidad de realizar nuevos estudios científicos, que permitan ampliar la información existente con la cual la autoridad pueda establecer exigencias acordes con el estado ambiental de estos cuerpos de agua y, permita además tomar decisiones adecuadas y oportunas frente al eventual crecimiento de la industria salmonera en Chile.

Con el fin de introducir en el tema principal de este estudio – la evaluación ambiental de los lagos – y para facilitar la mejor comprensión de este estudio se presenta a continuación un capítulo introductorio en el cual se explican los principales problemas relacionados con la eutrofización de lagos en general.

1.1 EUTROFIZACIÓN DE LAGOS

Desde los años 1950 se ha detectado a nivel mundial que muchos lagos han y están sufriendo un aumento de ingreso de nutrientes, especialmente fósforo (P) y nitrógeno (N) específicamente nitrato y amonio, iniciando procesos de eutrofización. Estos nutrientes provienen en gran parte de fertilizantes, desechos humanos y de animales y de la contaminación atmosférica, y están estrechamente relacionados con el uso de los suelos y las actividades antropogénicas en la cuenca hidrográfica incluyendo las actividades de salmonicultura. El aumento de los nutrientes limitantes (P en el hemisferio Norte, P y N en el hemisferio Sur) genera la base para el crecimiento de los productores primarios (algas y macrófitas) y se produce un incremento de su biomasa y de su productividad primaria, proceso denominado "eutrofización".

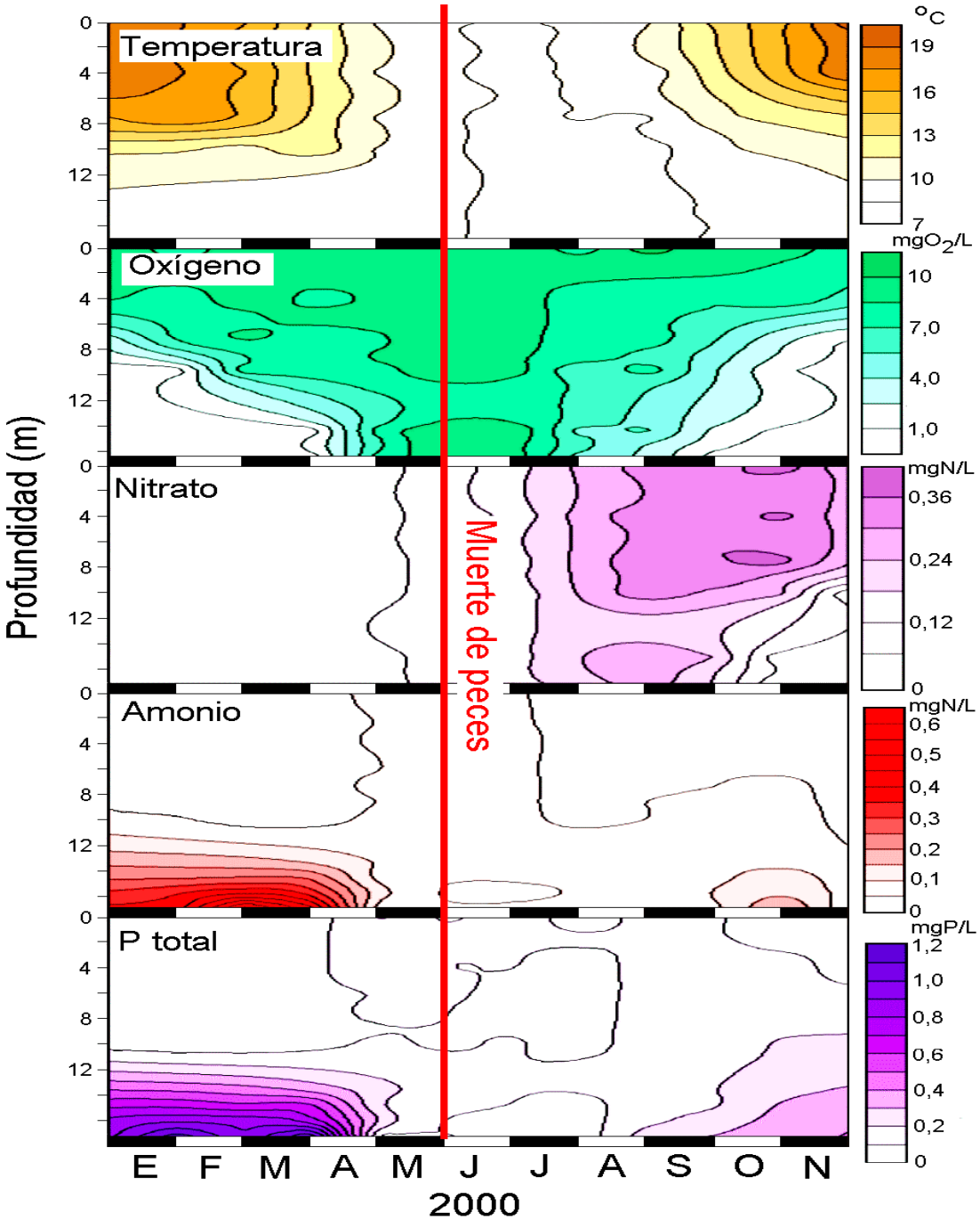
En comparación a la eutrofización natural, el cual es un proceso lento de miles de años, la eutrofización antropogénica es un proceso que cambia el ecosistema en muy corto tiempo, muchas veces sólo en algunos años o décadas. Los efectos de la eutrofización son considerados como negativos para el ecosistema, porque producen una mala calidad de agua. Los efectos negativos más importantes son:

- aumento de la abundancia, biomasa y productividad primaria de algas/macrófitas
- cambio de especies en cada nivel trófico: algas, zooplancton, peces, bentos
- aumento de algas azules, que potencialmente producen toxinas
- aumento de la abundancia, biomasa y productividad de organismos heterotróficos
- disminución de la transparencia (visibilidad) y de la zona eufótica (1% luz superficial) del agua
- aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)
- disminución del oxígeno, principalmente en el hipolimnion del lago durante la estratificación térmica en verano
- otros efectos como muerte de peces, aparición de algas tóxicas (provenientes de algas azules-verdes) etc.

En forma general se puede decir, que el aumento de los nutrientes produce **un aumento de la productividad del lago** - acompañado por un cambio de especies en cada nivel trófico –, además de un aumento en la degradación de la materia orgánica (MO). Durante esa degradación se consume oxígeno (respiración microbiana principalmente: oxidación de la MO) produciendo una disminución de este gas en el agua hasta llegar a condiciones anaeróbicas. Esta disminución de oxígeno comienza primero sobre el sedimento del lago y luego se extiende en el hipolimnion del lago hasta llegar a condiciones anóxicas que causan la muerte de la mayoría de los organismos. Un ejemplo reciente se observó en el pequeño lago Auquilda (superficie: 0,36 km^2, profundidad máxima: 14 m) en Chiloé donde el aporte de un centro

acuícola produjo anoxía bajo 8 m de profundidad y la muerte de los peces (60.000 ejemplares) (Fig. 1).

Fig. 1 Temperatura, oxígeno y nutrientes en el lago Auquilda durante 2000 (datos: Proyecto FIP 1999-25, elaboración propia)



Además de los efectos ecosistémicos, la eutrofización afecta también al hombre, porque cambia no sólo el aspecto estético del lago (cambio de color desde azul hacia verde) sino también los potenciales usos del agua (p.e. para recreación, potabilidad, pesca etc.).

1.2 EUTROFIZACIÓN EN EL SUR DE CHILE

En la actualidad, los recursos hídricos del Sur de Chile han sufrido considerables alteraciones producto de la intervención antrópica en el ambiente, especialmente en algunos lagos del Sur de Chile. Debido al mal manejo de las cuencas hidrográficas en el sur de Chile, los lagos Araucanos y lagos chilotes, cuyo rol es fundamental como moderadores del régimen de los ríos y que representan un ecosistema muy particular y valioso, ven acelerado sus procesos de eutrofización por aporte de nutrientes. Por tal motivo y de acuerdo a diversos estudios realizados en estos lagos es posible detectar un aumento del nivel trófico en algunos lagos (e.g. lagos de Chiloé, L. Villarrica, L. Llanquihue etc.) (Villalobos et al., 2003).

El incremento de la trofía de estos lagos se relaciona con las diversas actividades productivas desarrolladas dentro del lago, entre ellas la actividad Salmonicultura.

Por esta razón la justificación de la licitación del presente estudio tiene el fin de conocer los efectos de la salmonicultura sobre cuerpos de agua lacustres de la X Región, estableciendo condiciones de utilización de estos lagos y sus capacidades de carga. Existen estudios que describen que en todos los lagos de esta región, la capacidad de carga (de nutrientes y por ende de producción de salmonidos) se encontraba en su punto límite o superado por los aportes generados por la industria, lo cual fundamenta aún más la presente investigación.

1.3 CLASIFICACIÓN DE TROFÍA

Para caracterizar el estado trófico de los lagos generalmente se utilizan los principales parámetros descriptores de calidad de agua empleados por los principales índices de trofía en la literatura (Tabla 1):

- clorofila-a
- transparencia del agua (profundidad de visión del Disco de Secchi/zona eufótica
- concentración de nutrientes P y N

La tabla 1 reporta los índices de la literatura para evaluar el estado de los sistemas, que son por ejemplo el índice propuesto por Dillon y Carlson, de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 1982) y la clasificación trófica propuesta por la Guía CONAMA para la elaboración de Normas Secundarias en Chile (Tabla 1).

Se observa que existen ciertas diferencias en los rangos propuestos para caracterizar los diferentes estados tróficos.

Tabla 1 Clasificación trófica según la literatura

		Dillon 1975	**Carlson 1977**	**OECD 1982**	**Nürnberg 1996**	**Guía NS Tabla 2**
Secchi (m)	**Ultraoligo-**	-	-	-	-	> 20
	Oligo	> 5	> 4	12-6	> 4	≥ 10
	Meso	5-2	4-2	6-3	4-2	10-5
Clorofila a (µg/l)	**Ultra-oligo-**	-	-	-	-	< 1
	Oligo-	≤ 2,1 (< 5,7)	< 2,6	1-2,5 (< 8)	<3,5	1- 3
	Meso	≤ 5,6 (< 15)	2,6-7,3	2,5-8 (< 25)	3,5-9	3 - 10
P Total (µg P/l)	**Ultraoligo-**	-	-	-	-	< 5
	Oligo-	≤ 10	≤ 12	4-10	<10	≤ 10
	Meso	≤ 20	12-24	10-35	10-30	≤ 20
N Total (µg N/l)	**Ultraoligo-**	-	-	-	-	-
	Oligo-	-	-	< 350	< 350	≤ 250
	Meso	-	-	350-650	350-650	≤ 400

Esto tiene que ver con el hecho, que una clasificación trófica usando valores límites máximos y mínimos es un procedimiento "técnico-práctico", que no refleja adecuadamente el escenario real del estado trófico de un lago, que se debería describir con un modelo probalístico (Fig. 2). Según la propuesta de Vollenweider & Kerekes, 1980, se puede deducir una determinada probabilidad (1 = 100%, 0 = 0%) para clasificar el estado de lago que tiene una cierta concentración de P total, clorofila a o transparencia. Por ejemplo, un lago con una concentración promedio de 10 µg P/L se clasificaría con un probabilidad de 68% como oligotrófico y con una probabilidad de 25% como mesotrófico (véase línea roja en la figura 2). No obstante de estas limitaciones en este informe se usará la clasificación "técnica-practica" presentada en la tabla 1 para evaluar el estado trófico de los lagos, simplemente por su utilidad más simple.

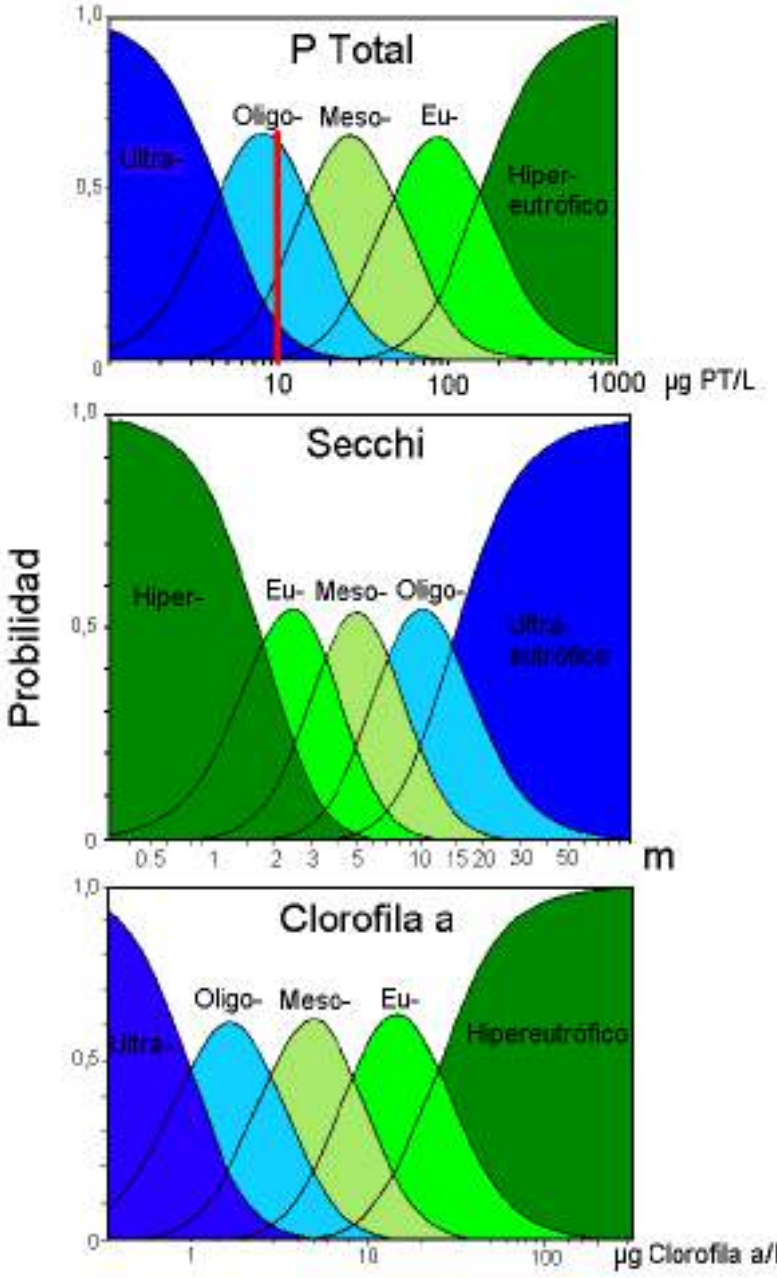


Fig. 2 Modelo probabilístico para la clasificación de la trofía (EPA-822-B00-001, 2000) .

Posteriormente, en el capítulo 2.2.4 se definen los rangos usados para clasificar el estado trófico de los 12 lagos estudiados en este estudio.

2 METODOLOGÍA

2.1 RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE (objetivo 1)

Se recopiló y empezó a evaluar la Información bibliográfica, proyectos disponibles y diferentes bases de datos tales como de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, el Ministerio de Medio Ambiente, el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) de la Superintendencia de Servicios Santitarios (SISS), de la Dirección General de Agua y del Servicio de Evaluación Ambiental, referida a los doce lagos (y sus cuencas) de la X Región en los cuales se encuentran centros de cultivo de peces operativos:

Lagos: Rupanco, Puyehue, Llanquihue, Chapo, Popetán, San Antonio, Natri, Cucao, Huillinco, Tarahuin, Tepuhueico, Yelcho.

La bibliografía (excepto banco de datos) consultada fue la siguiente:

INFORMES TÉCNICOS/FUENTES PÚBLICAS

CENMA – Centro Nacional del Medio Ambiente, Universidad de Chile (2007) Estudio para la implementación de medidas para el control de la contaminación hídrica: antecedentes de apoyo a la elaboración de la "Norma Secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del Lago Llanquihue". Informe Final para CONAMA X Región. 92 pp.

CONAMA Guía para el Establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marina (2005), 1-18.

Dirección General de Aguas. Base de datos de la red de control de lagos Llanquihue y Chapo.

EULA-DGA (2011) Análisis de fitoplancton en muestras de aguas. 95 pp.

Fundación Chile (1994) Evaluación del impacto ambiental de fósforo proveniente de los alimentos utilizados en salmonicultura, Informe Técnico FIP-IT/94-02, 96 pp.

Litoral Austral. (2010) Generación de Información Complementaria del Estado Trófico y Estado de Conservación del Ecosistema de los Lagos Villarrica y Llanquihue en Primavera. Informe para CONAMA X Región. 118 pp.

Ministerio del Medio Ambiente. 40820-112-1120588. (2010) Aplicación y uso de modelos matemáticos de calidad de agua en la NSCA de las cuencas de Rio Serrano y Lago Llanquihue y en la elaboración del proyecto de NSCA del Rio Elqui. 88 pp.

Universidad Austral de Chile (1995) Determinación de la capacidad de carga en el lago Rupanco, X Región, Informe Técnico FIP-IT/93-27, 376 pp.

Universidad Austral de Chile (1997) Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuin, Informe Técnico FIP-IT/96-54, 116 pp.

Universidad de Valparaiso (1999) Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y laguna San Antonio en la X Región, Informe Técnico FIP-IT/97-40, 116 pp.

Universidad Austral de Chile (1999) Determinación de la capacidad de carga de los lagos Auquilda, Yaldad y Tres Marias en Chiloe insular, Informe Técnico FIP-IT/99-25, 256 pp.

Soto D. (1993) Estudio del potencial impacto ambiental de las actividades productivas y de servicio en el lago Llanquihue. 223 pp.

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Datos sobre Información ambiental de los centros de cultivo (INFAS) y de la producción de peces.

Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Datos sobre aporte de pisciculturas en la cuenca Lago Llanquihue.

Chagas C., Santanatoglia O., Castiglioni M., Massobrio M., Buján A. & Irurtia C. (2008) Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de pampa ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. Ciencia del Suelo 26: 63-69.

Harrold LL., Schwab GO. & Bondurant BL. (1986) Agricultural and Forest Hydrology.Agricultural Engineering Department, Ohio State University, Columbus. 271 pp.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS: CHILE

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

Campos, H.Steffen,W., Aguero, G., Parra, O., Zuñiga, L. (1988) Limnological study of Lake Llanquihue - Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity.Archiv für Hydrobiologie/Suppl. 1: 37-67.

Campos, H. Steffen,W., Aguero, G., Parra, O., Zuñiga, L. (1989) Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. Medio Ambiente 10(2): 36-53.

Campos, H. Steffen,W., Aguero, G., Parra, O., Zuñiga, L.(1992) Limnological study of Lake Rupanco - Morphometry, physics, chemistry, plankton and primary productivity.Archiv für Hydrobiologie/Suppl.90: 185-113.

Jones & Lee (1982) Review: Recent advances in assessing impact of phosphorus loads on eutrophication-related water quality, Water Research 16, 503-515.

Lara, G. E. Parada & S. Peredo (2002) Alimentación y conducta alimentaria de la almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* (Bivalvia: Hydriidae). Gayana 66(2):107-112.

León, J. (2011) Rol de los ríos tributaries en los sistemas lacustre y marino costero nor-patagónicos bajo influencia antrópica. Tesis doctoral Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. 102 pp.

Oyarzún, C.E., H. Campos, y A. Huber (1997) Exportación de nutrientes en microcuencas con distinto uso del suelo en el sur de Chile (Lago Rupanco, X Región). Rev. Chil. Hist. Nat. 70: 507-519.

Soto, D. (2002) Oligotrophic patterns in southern Chilean lakes: the relevance of nutrients and mixing depth. Revista Chilena Historia Natural 75: 377-393.

Soto, D., G. Mena (1999) Filter feeding by the freshwater mussel, *Diplodon chilensis*, as a biocontrol of salmon farming eutrophication. Aquaculture 171: 65-81.

Villalobos, L., S. Woelfl, O. Parra, W. Steffen, G. Aguero and H. Campos (2003) Lake Chapo- a baseline study on a deep, oligotrophic, North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: I. Biological properties. Hydrobiologia 510(1-3): 225-237.

Villalobos, L, O. Parra, M. Grandjean; E, Jaque, S. Woelfl & H. Campos (2003) A study of the river basins and limnology of five humic lakes on Chiloé Island. Revista Chilena Historia Natural 76(4): 563-590.

Woelfl, S., L. Villalobos, O. Parra, W. Steffen, G. Aguero and H. Campos (2003) Lake Chapo - a baseline study on a deep, oligotrophic, North Patagonian lake prior to its use for hydroelectricity generation: I. Physical and chemical properties. Hydrobiologia 510(1-3): 217-224.

Woelfl, S., Villalobos, L, Parra, O. & Campos H. 2003. Trophic parameters and method validation in Lake Riñihue (North Patagonia: Chile) from 1978 through 1997. Revista Chilena História Natural 76: 459-474.

OTRAS FUENTES CONSULTADAS

Araya, J.M. Zuñiga, L.R. (1985) Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. Boletín Limnológico, Universidad Austral de Chile. 8: 169 pp.

Azevedo, P.A., C.L. Podemski, R.H. Hesslein, S.E.M. Kasian, D.L. Findlay, D.P. Bureau (2011) Estimation of waste outputs by rainbow trouts cage farm

using a nutritional approach and monitoring lake water quality. Aquaculture 311: 175-186.

Bourrelly, P. (1981) Les Algues d'eau douce. Initiation a la systematique. Tome II. Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. - Societé Nouvelle des Editions Boubée. - Paris. 517 pp.

Burns, N., G. Bryers, E. Bowman (2000) Protocol for Monitoring Trophic Levels of New Zealand Lakes and Reservoirs. Lakes Consulting Client Report: 99/2: 122 pp.

Chagas C., Santanatoglia O., Castiglioni M., Massobrio M., Buján A. & Irurtia C. (2008) Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de pampa ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. Ciencia del Suelo 26: 63-69.

Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography 22(3): 361-369.

Díaz P., C., Molina P., X. y Montecino B., V. Manual de procedimientos y medidas tendientes al control de *Didymosphenia geminata* en sistemas lóticos chilenos: muestreo, desinfección, preparación y análisis de muestras. (en prensa). 58 pp.

Dillon, P.J., F.H. Rigler. (1975). A simple method for predicting the capacity of a lake for development base on lake trophic status. J.Fish.Res.Board Can. 32:1519-1531.

EPA-822-B00-001 (2000) Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Lakes and Reservoirs Environmental Protection Office of Science and Technology April 2000 Agency Washington, DC 20460 www.epa.gov

Harrold LL., Schwab GO. & Bondurant BL. (1986) Agricultural and Forest Hydrology. Agricultural Engineering Department, Ohio State University, Columbus. 271 pp.

Hill, M., C.Stabile, L.K. Steffen & A. Hill (2002) Toxic effects of endocrine disruperts on freshwater sponges: common development abnormalities. Environmental Pollution 117: 295-300.

Kalff, J. (2002) Limnology. Prentice Hall: 592 pp.

León Muñoz, J., D.Trecklin, A. Farias, S.Díaz (2007) Salmonicultura en los lagos del sur de Chile – Ecoregión Valdiviana. WWF-Chile: 44 pp..

Littler, M.M and D.S. Littler, eds. (1985) Handbook of Phycological Methods. Ecological Field Methods. Cambridge University Press, Cambridge. 599 pp.

Mischke, U., Thackeray, S., Dunbar, M., McDonald, C., Carvalho, L., De Hoyos, C., Jarvinen, M., Laplace-Treyture,C., Morabito, G., Skjelbred, B., Solheim, A.L., Brierley, B., Dudley, B. (2009) WISER-Water bodies in

Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery. Theme 6: Environment (including Climate Change). Seven Framework Programme. Deliverable D3.1-4: Guidance document on sampling, analysis and counting standars for phytoplankton in lakes, 51 pp.

Nash, C.E. (editor) (2001). The neet-pen salmon farming Industry in the Pacific Northwest. U.S. Dept. Commer., NOAA Tech.Memo. NMFS-NWFSC-49, 125 pp.

Nürnberg, G.K. (1996) Trophic state of clear and colored, soft- and hard-water lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. Lakes and reservoir Management 12: 432-447.

Olsen,L.M., M.Holmer, Y.Olsen (2008) Perspectives of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters Literature review with evaluated state of knowledge FHF project no. 542014 (www.fiskerifond.no)

Parra, O.; M. González; V. Dellarossa; P. Rivera y M. Orellana (1982) Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 1, Cyanophyceae; Vol. 2, Chrysophyceae – Xanthophyceae; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae; Vol. 4, Bacillariophyceae.

Parra, O; M. González; V. Dellarossa; P. Rivera y M. Orellana (1983) Manual Taxonómico del Fitoplancton de Aguas Continentales; con especial referencia al fitoplancton de Chile. Editorial de la Universidad de Concepción Vol. 5, (parte 1 y 2).

Pollack, N.W. (2011) Diving for Science. Procceding of the American Academy of Underwater Sciences. 30th Scientific Symposium. 101 pp.

Rast, W. R., A.Jones, G. F.Lee (1983) Predictive capability of U.S.OECD phosphorus loadingeutrophicationresponse models. Journal WPCF 55(7): 990-1003.

Ryding, S.-O. & W. Rast (1989) The control of eutrophication of lakes and reservoirs. Man and the biosphere series, Volume I: 314 pp.

Rivera, P.R. (1983) A guide for references and distribution for the class bacillariophyceae in Chile between 18°28'S and 58°S. J. Cramer in der A.R. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft

Schories, D., C. Pehlke, U. Selig (2009) Depth distributions of Fucus vesiculosus L. and Zostera marina L. as classification parameters for implementing the European Water Framework Directive on the German Baltic coast. Ecological Indicators 9: 670 – 680.

Schories, D. G.Niedzwiedz (2012) Precision, accuracy, and application of diver-towed underwater GPS receivers. Environ Monit Assess 184: 2359–2372.

Segovia M. & Hang M. (1996) Estimación del Valor del Número de Curva (CN) a Través de Imágenes Satelitales Landsat5-tm. Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería. UNNE, Argentina. 1-4.

Tasumi M. (2005) A review of evaporation research on Japanese lakes.Proceedings EWRI Conf. Anchorage, Alaska. 1-10.

Vollenweider, R.A., P.J. Dillon (1974) The application of the phosphoros loading concept to eutrophication research. Nation Research Council Canada NRCC No. 13690, 43 pp.

Wang, X., L.M.Olsen, K.I. Reitan, Y.Olsen (2012) Review: Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. Aquaculture environment onteractions 2: 267-283.

Ward D. & Trimble S. (2003) Environmental Hydrology.Lewis Publishers. 475 pp.

Woelfl, S. (2009) Informe pericial sobre las discrepancias referidas entre Sociedad Turística y Hotelera Puerto Viejo Limitada y otros con Marine Harvest Chile S.A – Evaluación Ambiental de la Bahía Rincones (Lago Llanquihue), Causa Primer Juzgado de Letras de Osorno, Rol: Nº 1540-2009 (anteriormente Nº 1224-2007), 63 pp.

Yarrow, M. V.Marin, M.Finlayson, A. Tironi, L. Delgado & F. Fischer (2009) The ecology of *Egeria densa* Planchon (Liliopsidia: Alismatales): A wetland ecosystem engineer ? Rev. Ch. Hist. Nat. 82: 299-313.

De esta bibliografía se recopiló información especialmente sobre:

1) Información general de los lagos y su cuenca hidrográfica:

- Localización y morfología de lago y cuenca hidrográfica
- Hidrología del lago y de la cuenca hidrográfica
- Distribución, uso de suelos y cobertura vegetal
- Antecedentes importantes sobre factores físicos, químicos y biológicos de la calidad de agua del lago (estado trófico) y de la cuenca

2) Información sobre ingresos de nutrientes y balance de nutrientes:

- Información acerca de los modelos utilizados para determinar la carga crítica y actual de nutrientes para cada lago
- Información sobre exportación de nutrientes por los afluentes

- Información sobre la distribución y el contenido de nutrientes en el lago
- Egreso de nutrientes a través del efluente
- Localización, producción y carga de centros de salmonicultura
- Cuantificación de la carga de nutrientes por parte de los centros acuícolas
- Información ambiental de los centros de salmonicultura
- Información sobre la capacidad de carga del lago y el balance de nutrientes
- Aspectos socioeconómicos y actividades humanas en la cuenca y sus respectivos aportes de nutrientes al lago

2.2 EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA (objetivo 2)

En base a la información recopilada se comenzó a revisar críticamente los datos y modelos utilizados con el fin de evaluar la coherencia de la información y de los modelos aplicados.

Parte de los datos recopilados (y parcialmente digitalizados) u obtenidos a través de diversos bancos de datos fueron ordenadas para elaborar una base de datos que permite fácilmente manejar los datos con el fin de:

- Ordenar y buscar (filtrar) ciertos datos según enfoques y fines personalizados
- identificar ciertos problemas analíticos y/o metodológicos
- facilitar la validación de datos
- facilitar la evaluación estadística de los datos
- facilitar graficar los datos
- facilitar intercambio de datos
- validar los cálculos realizados en los estudios técnicos

2.2.1 Evaluación de los estudios sobre balance de nutrientes

2.2.1.1 Introducción

Como ya se explicó en la introducción, la eutrofización de lagos es producto del ingreso de nutrientes por fuentes difusas y puntuales en la cuenca hidrológica al lago. Para cuantificar el ingreso, egreso del lago y finalmente la restante concentración de nutrientes en la columna de agua (que producen los efectos negativos de la eutrofización), se debe elaborar un balance másico de nutrientes (fósforo y/o nitrógeno). Comúnmente y porque es el modelo empírico más simple, se usa el modelo conceptual básico según Vollenweider (1974) (véase en EPA (2000) Nutrient Criteria Technical Guidance Manual EPA-8222-B00-001), que considera que el lago actúa como un solo reactor bien mezclado en su totalidad, en que la concentración de los nutrientes medidos en la columna de un lago, es la resultante de los ingresos de nutrientes externos (input), del egreso de nutrientes a través del efluente (output), la tasa de sedimentación y el aporte interno de los nutrientes a través de una resuspensión (y difusión) del sedimento, denominado “carga interna” (Fig. 3).Se asume además que la concentración de nutrientes en el efluente es igual a la concentración promedio en la columna de agua del lago.

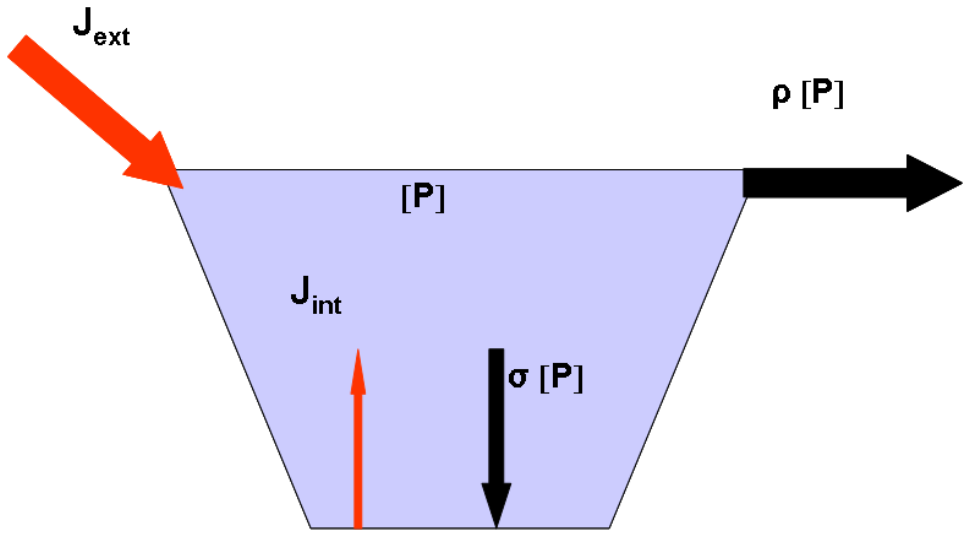


Fig. 3 Esquema conceptual del balance de nutrientes (ejemplo: P) para un lago.

Matemáticamente el balance de nutrientes se calcula según la siguiente ecuación:

$$d[P]/dt * V = J_{ext} + J_{int} - \sigma * [P] * V - \rho [P] * V \qquad \textbf{Ec.1}$$

Donde

[P]	concentración de P (mg/m^3)
V	volumen lago (m^3)
J_{int}	aporte P interno (mg/dt)
J_{ext}	aporte P externo (mg/dt)
ρ	coeficiente de tasa de recambio (1/dt)
σ	coeficiente de tasa de sedimentación (1/dt)

Los principales supuestos del modelo son:

a) El fosforo al entrar al lago se mezcla completamente,

b) La concentración de fosforo en el flujo de salida es igual a la concentración en el lago,

c) La perdida de fosforo por retencion en el sedimento es proporcional a su concentracion en el lago,

d) Las fluctuaciones estacionales de la carga hidraulica y del fosforo se puede despreciar.

Para resolver el balance de nutrientes por lo tanto es necesario determinar:

(a) el ingreso de nutrientes (P, N) total al lago,

(b) la permanencia, sedimentación, deposición y/o resuspensión de los nutrientes

(c) el contenido de los nutrientes en la columna de agua

(d) la salida de los nutrientes

Sin embargo, en la práctica es un gran problema determinar directamente la tasa de sedimentación (σ) y la carga interna de los nutrientes (Jint). Por esto se calcula comúnmente en forma <u>indirecta</u> la tasa de sedimentación y/o carga interna al comparar el contenido de los nutrientes (ejemplo: P) en la columna de agua durante un intervalo de tiempo (T1, T2, p.e. un año):

$$P_{T2} = P_{T1} + J_{ext} - P_{efluente} - P_{sed} \quad \textbf{Ec.2}$$

Donde

P_{T2}	masa total de nutrientes en el lago en cierto momento T2 (p.e. al final del año (ton)
P_{T1}	masa total de nutrientes en el lago en cierto momento T1 (p.e. al comienzo del año (ton)
J_{ext}	aporte P externo durante intervalo T2 - T1 (p.e. un año) (ton)
$P_{efluente}$	egreso de P por el efluente durante intervalo T2 - T1 (p.e. un año) (ton)
P_{sed}	sedimentación de P durante intervalo T2 - T1 (p.e. un año) (ton)
P	contenido de fósforo total en el lago (ton)
T	tiempo (p.e. año)

Con este cálculo se estima por ende los cambios (positivos o negativos) del contenido de nutrientes P y N total en el lago durante un determinado intervalo de tiempo (p.e. 1 año) considerando los contenidos de P y N al principio y final de un periodo, la carga de P/N y la tasa de sedimentación de P/N.

DETERMINACIÓN DE LA CARGA EXTERNA

La carga externa total se calculasumando las cargas medidas y/o estimadas en base de la literatura disponible (p.e. coeficientes de exportación de nutrientes según uso de suelo, actividad agrícola y ganadero etc.) de la siguiente forma (ejemplo: P):

$$J_{ext} = L_{cuencas} + L_{Afluentes} + L_{prec} + L_{Hum} \quad \textbf{Ec.3}$$

Donde

J_{ext}	aporte P externo
$L_{cuencas}$	carga P por cuencas
$L_{Afluentes}$	carga P por río afluentes
L_{prec}	carga P por precipitaciones
L_{Hum}	carga P por actividades humanas

La calidad del cálculo de la carga externa depende mucho del esfuerzo laboral y de la calidad de mediciones de los diferentes ingresos puntuales y difusos. Además depende mucho de las mediciones o estimaciones correctas del

balance hídrico para cada subcuenca. En este sentido es primordial tener buenos datos acerca de:

- mediciones o estimaciones de caudal de cada subcuenca
- mediciones o estimaciones de la concentración de nutrientes en cada afluente (subcuenca)
- análisis de uso de suelo e índices de exportación de nutrientes para corroborar las mediciones en terreno
- datos confiables sobre la concentración de nutrientes en las precipitaciones
- datos exactos sobre los aportes por actividades humanas

DETERMINACIÓN DE LA DESCARGA DEL EFLUENTE

La salida de nutrientes por el efluente de un lago se calcula comúnmente en base de mediciones de estos en el efluente multiplicado con el caudal o en su defecto se usa simplemente la concentración de nutrientes medida en la columna de agua, tal como asume el modelo de balance presentado anteriormente. Se calcula (ejemplo: P) de la siguiente manera:

$$\mathbf{L_{efl} = Q_1 * [P]_1 + Q_2 *[P]_2 + \ldots\ldots + Q_n *[P]_n} \qquad \mathbf{Ec.4}$$

Donde:

L_{efl}: egreso de P (p.e. en kg o ton) por efluente durante un año
Q_n: caudal promedio durante período n (m^3), p.e. un mes
$[P]_n$: promedio de concentración de P que corresponde al período n (mg/m^3), p.e. un mes

Cabe mencionar que la concentración de nutrientes medida en el efluente debería ser igual o por lo menos muy similar a la concentración medida en la columna de agua del lago. Diferencias significativas entre estas concentraciones indicarían algún problema en la toma o el análisis de las muestras y debe ser evaluado cuidadosamente.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE P/N TOTAL EN EL LAGO

Es fundamental determinar adecuadamente no solamente la concentración de nutrientes sino además el contenido total de ellos en la columna de agua y el

volumen total del lago. La concentración de nutrientes sedebe cuantificar desde la superficie hasta el fondo del lago en una o varias estaciones del lago según la complejidad de la morfología del lago y de la mezcla horizontal de la masa de agua en el lago. Esto puede significar un aumento considerable del esfuerzo de muestreo en un lago profundo, mas si posee una morfología compleja (p.e. con muchas bahías, o con forma alongada, o con fuentes de contaminación puntual grandes etc.).

Respecto a las profundidades a muestrear es muy importante obtener muestras hasta el fondo del lago, porque en estos estratos se manifiestan primero el aumento de nutrientes (y disminución de oxígeno) en un procesos de eutrofización.

El contenido total de nutrientes finalmente se obtiene multiplicando el promedio geométrico (es decir en función del volumen de agua en cada estrato muestreado) de nutrientes en la columna del lago multiplicado con el volumen total del lago usando la en la siguiente ecuación (ejemplo: P):

$$\mathbf{P_{lago} = [P]_{geo} * Vol} \qquad \mathbf{Ec.5}$$

Donde:

P/N_{lago} promedio geométrica de concentración de P/N en la columna del lago (mg/m^3)

Vol: volumen de lago (^{m3})

Para poder cuantificar el contenido total de nutrientes en la columna del lago es necesario cuantificar los volúmenes por estrato de profundidad de la columna de agua y calcular su fracción del volumen total del lago. Luego se multiplica la concentración de nutrientes con la fracción del volumen total para cada estrato.

La sumatoria de estos valores entrega finalmente el promedio geométrico de nutrien-tes. Los volúmenes en cada estrato se pueden deducir de una curva hipsográ-fica, como mue-stra el ejemplo para el lago Llanquihue (Fig. 4, Tabla 2).

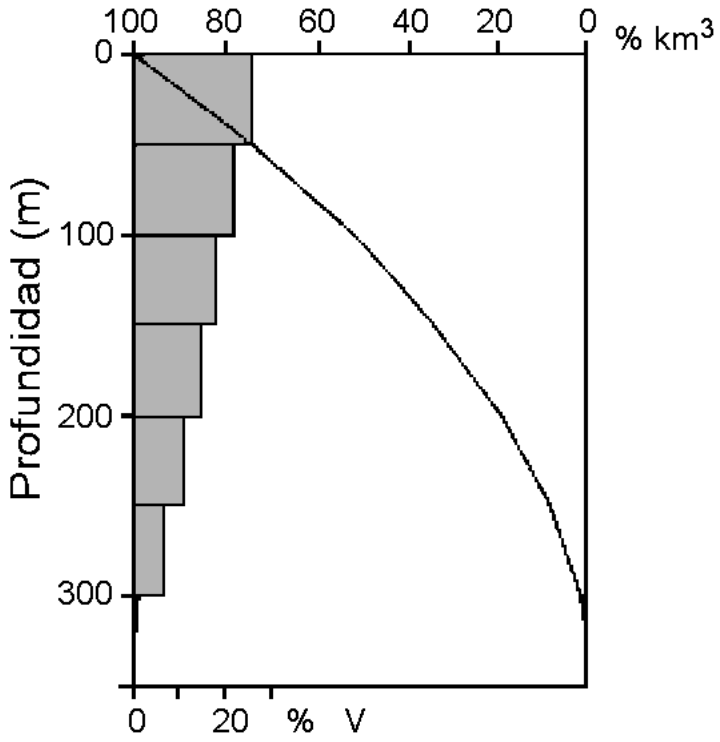


Fig. 4 Curva hipsográfica de distribución del volumen para el lago Llanquihue. (fuente: Campos 1988, original modificado)

Según esta aproximadamente 50% del volumen del lago esta contenido entre 0 y 100 m de profundidad, 30% entre 100 y 200 m, y el resto bajo 200 m de profundidad (Tabla 2).

Tabla 2 Porcentaje de volumen acumulado y por estrato en la columna de agua del lago Llanquihue.
Fuente datos: Campos et al. (1988)

Profundidad (m)	% Volumen acumulado	Estrato (m)	% Volumen total lago
0	100	0-50	26,1
50	73,9	50-100	22,0
100	51,9	100-150	17,6
150	34,3	150-200	14,7
200	19,6	200-250	10,6
250	9,0	250-300	9,0
300	0		

CARGA CRÍTICA Y MODELOS PREDICTIVOS

El problema de la eutrofización, ha sido estudiado en detalle durante las últimas décadas, especialmente en el programa internacional “OECD EUTROFICATION PROGRAMME” (1980), que consistió en 5 sub-proyectos regionales (“Nordic-, Reservoir and shallow lakes -, Alpine-, North American-, Overall Synthesis Project”).

En estos estudios se investigaron los factores cualitativos y cuantitativos dentro de la cuenca hidrográfica y dentro del lago, que influyen sobre la eutrofización. Finalmente se establecieron correlaciones entre factores claves (p.e. P y clorofila a, N y clorofila, P/N y productividad primaria, clorofila – transparencia, parámetros morfológicos e hidrológicos etc.) y se desarrollaron modelos empíricos que permiten predecir el contenido de fósforo (y por ende el estado trófico) de un lago. Estos modelos consideran en su mayoría pocos factores, principalmente la profundidad promedio del lago y el tiempo de renovación teórico del volumen del lago.Con estos modelos (véase EPA (2000) Nutrient Criteria Technical Guidance Manual EPA-8222-B00-001) finalmente es posible determinar además la carga crítica (permisible) para mantener un lago en un estado oligotrófico. La figura 5 muestra la relación entre la carga anual de P, la relación profundidad promedio/tiempo de renovación y el estado trófico de diferentes lagos, según la evaluación de los científicos. De ahí se puede deducir la carga máxima permisible (línea inferior) para mantener un lago en un estado oligotrófico. Si se sobrepasa la línea superior (carga excesiva), el lago entraría en un estado eutrófico.

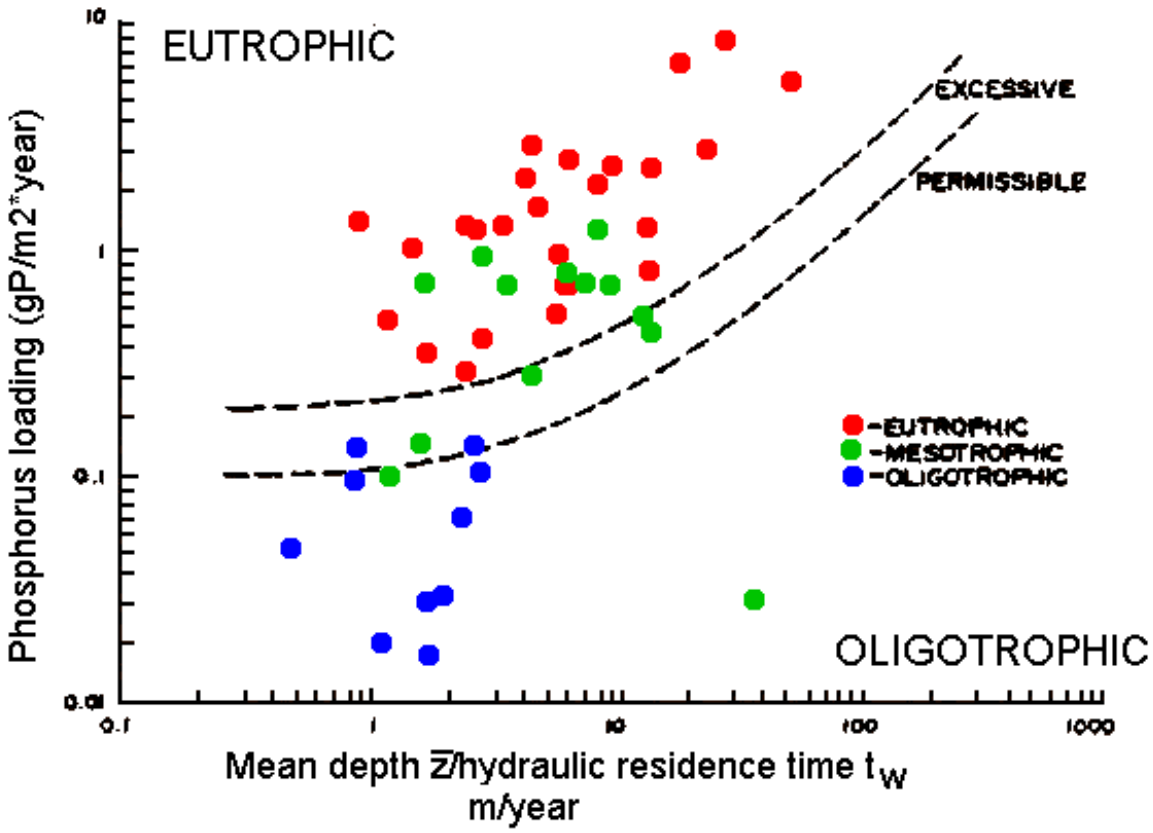


Fig. 5 Relación entre carga y profundidad promedio/renovación y el estado trófico de un lago.
(fuente: OECD, en Jones & Lee (1982)

En base de estas relaciones empíricas se puede según Vollenweider (Ec.6) y la OECD (Ec.7) calcular la carga crítica – es decir la carga permisible para mantener el estado oligotrófico (10 mg P/m^3) de un lago - de las siguientes maneras:

$$L_c = 10\, q_s \cdot (1 + \sqrt{T_w}) \qquad \textbf{Ec.6}$$

$$L_c = 17 \cdot \left(\frac{\bar{z}}{T_w}\right)^{0,6} \cdot \bar{z}^{0,4} \qquad \textbf{Ec.7}$$

donde:

L_c: carga crítica de P por área del lago por año (mg/m^2*año)
z: profundidad media (=volumen/área) del lago (m)

τ_w: tiempo de renovación del agua (años)
q_s: carga hidráulica (= z/T_w)

La ecuación 6 considera actualmente la Comunidad Europea en su directiva (78/659/EEC) para lagos temperados con una profundidad máxima entre 18 y 300 m.

La diferencia entre las dos ecuaciones son mínimas (<15% de diferencia) para lagos con un tiempo de renovación > 1 año. Para lagos con un tiempo de renovación < 1 año, las diferencias aumento considerablemente (hasta factor 2 o mas) (Fig. 6). Las diferencias son independientes de la profundidad.

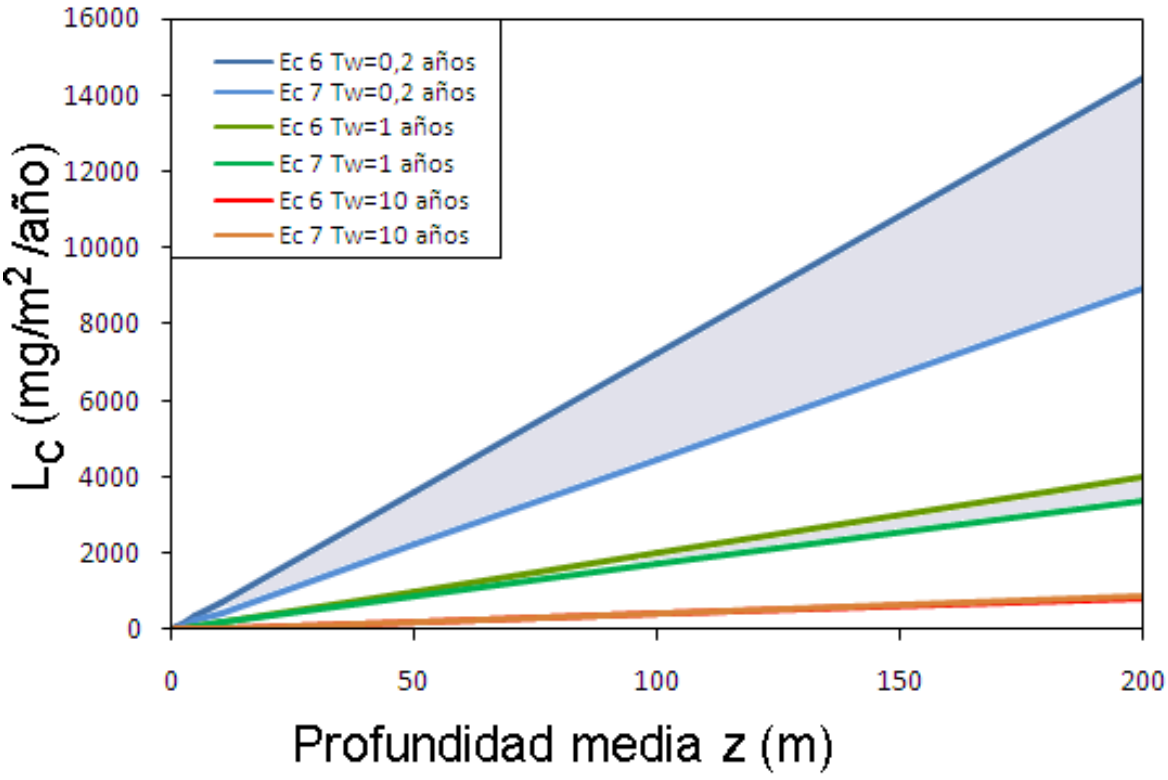


Fig. 6 Relación entre la profundidad y la carga crítica.
Calculada para tres diferentes tiempos de renovación (0,2; 1 y 10 años) con dos diferentes ecuaciones (Ec. 6; Ec. 7; véase arriba). Las áreas corresponden a las diferencias entre las correspondientes ecuaciones.

MODELOS PREDICTIVOS

Para lagos con hipolimnion oxigenado se ha mostrado, que la concentración de

P en la columna de agua del lago depende principalmente de la concentración promedio de P en las entradas y de la fracción de P que no sedimenta (quedándose atrapado en los sedimentos). En este contexto se ha observado, que la fracción de P sedimentada (retenida) aumenta con el tiempo de renovación del lago. Esto significa que lagos con un tiempo de renovación largo retienen una mayor fracción de P retenida en sus sedimentos que lagos con un recambio de sus aguas más rápido. En una primera aproximación se puede calcular la concentración promedio de P en la columna del lago según la siguiente ecuación[1]:

$$[P]_{lago} = [P]_{in} / (1 + \sqrt{T_w}) \ldots \quad \text{Ec.8}$$

Donde

$[P]_{lago}$ concentración de P en el lago (mg/m^3)
$[P]_{in}$ concentración promedia de P en los afluentes al lago (mg/m^3)
T_w tiempo de renovación (años)

Posteriormente, con la inclusión de más estudios en lagos temperados, la OECD (1982), verifico la aplicabilidad de la ecuación de Vollenweider se hizo algunos cambios produciendo una nueva relación. Esta nueva relación predice la concentración anual promedio de fosforo como una función del flujo promedio anual de concentración total de fosforo el los aportes de agua y el tiempo de residencia del agua (T_w). La formula general es la siguiente:

$$[P]_{lago} = 1{,}55 \left[[P]_{in} / (1+\sqrt{T_w}) \right]^{0{,}82} \quad \text{Ec.9}$$

Donde

$[P]_{lago}$ concentración de P en el lago (mg/m^3)
$[P]_{in}$ concentración promedia de P en los afluentes al lago (mg/m^3)
T_w tiempo de renovación (años)

También se puede usar esta ecuación para calcular en base de la concentración promedia de P en el lago (durante un año por ejemplo) la carga

[1]Cabe mencionar que existen diferentes modelos para determinar la fracción de P retenida en los sedimentos, que se discutirá mas adelante.

externa que supuesta había recibido el lago. Sin embargo, este cálculo se debería hacer solamente con el propósito de chequear las mediciones reales o estimaciones realizados en el estudio de balances de nutrientes (generalmente un año de estudio), porque la ecuación asume un estado de equilibrio, que depende del tiempo de recambio de P se establece (Rast et al. 1983). Mas detalles sobre este procedimiento y sus limitaciones, que Campos y col. usaron en todos sus estudios, se discutirán más adelante.[2]

CONSIDERACIONES FINALES

Como ya se ha mencionado, el modelo de balance de nutrientes y el modelo predictivo descritos anteriormente – y usados en todos los estudios en los lagos del sur de Chile (véase abajo) – son modelos simples y empíricos. Son desarrollados para lagos temperados y con profundidad > 20 m. Aunque se usa ampliamente a nivel internacional, hay que tener en consideración ciertas limitaciones al usarlos:

1. Son modelos empíricos por lo cual no consideran eventuales diferencias regionales/locales entre diferentes lagos temperados. Tienen un cierto rango de incertidumbre, que puede ser amplio.
2. No consideran la estratificación de los lagos, ni la dinámica de transformaciones de los nutrientes en la columna de agua. Para ello existen modelos dinámicos complejos.
3. Las estimaciones de las cargas muchos veces no son mejores que ± 35%.
4. Los modelos no aplican bien en lagos con morfometría compleja o fuente de contaminación puntuales importantes en lagos grandes.
5. Esto modelo además no es apto para lagos distróficos (colorados), donde la tasa de sedimentación de P es diferente (P esta en complejos con ácidos humínicos atrapado).
6. Para lagos poco profundos que además tienen un hipolimnion anóxico o un régimen hidrológico complicado, el modelo de balance generalmente entrega resultados erróneos.
7. Se asume un estado de equilibrio anual, es decir la concentración de P en

[2]Cabe mencionar que existen diferentes modelos para determinar la fracción de P retenida en los sedimentos, que se discutirá mas adelante.

la columna esta en equilibrio con todos los ingresos y egresos de P y no muestra cambios (se asume un equilibrio entre entradas y salidas). Esta situacion de supuesto equilibrio no refleja necesariamente la realidad, especialmente en lagos con rápido recambio y cuando se observan cambios en las cargas de P al lago. En este caso se necesita cierto tiempo hasta alcanzar el equilibrio (véase abajo).

Similares limitaciones son válidas también para la determinación de la carga crítica, especialmente el hecho, que los cálculos (1) no consideran adecuadamente la tasa de retención de los nutrientes y (2) no consideran la estratificación del lago.
De hecho, durante el verano el epilimnion se renueva más rápidamente que el volumen total del lago, esto debido a que durante la estratificación térmica sale principalmente la masa del agua epilimnética y no el agua hipolimnética.

Respecto al punto 7 se debe considerar, que un cambio (p.e. aumento) en el aporte de P al lago se manifesta en una variación (p.e. aumento) de la concentración de P en la columna del lago en forma retardada, dependiendo del tiempo de renovación del agua Tw. Este fenómeno se produce debido a que los organismos incorporan P y luego una parte del P sale por el efluente mientras que otra parte sedimenta. La tasa de la sedimentación (denominda tasa de retención R) en lagos con hipolimnion oxigenado depende principalmente de Tw. Según la literatura R aumenta cuando Tw aumenta, es decir en lagos con una lenta tasa de renovación queda un mayor porcentaje de P retenido en el lago y vice versa. En la literatura se reportan diferentes formulas para calcular R como p.e. las siguientes (citado en Nürnberg 1998, Ryding & Rast 1989 y Kalff 2002):

R = (Pin – Pout) / Pin	**Ec.10**

R = 1/1*(1+1/ √ Tw)	**Ec.11**

R = (0,25+0,18*Tw) /(1+0,18Tw)	**Ec.12**

Donde:

R = coeficiente de retención
Tw = tiempo de renovación
Pin = aporte de P al lago
Pout = salida de P por efluente

La ecuación 10 solamente se puede aplicar si se dispone de un balance de nutrientes. Las otras ecuaciones son formulas empíricas.

Finalmente, se puede calcular el tiempo (T) necesario para alcanzar 90% y 95% del equilibrio de P en un lago (según OECD 1982 citado en Kalff 2002):

T (90%) = 2,3 * Tw *(1-R)
T (95%) = 3 * Tw *(1-R)

Aplicando estas formulas por ejemplo a los lagos Tarahuin, Natri, Puyehue, Rupanco, Chapo y Llanquihue, que se caracterizan por sus diferentes tamaños, profundidad media y Tw, se obtiene los valores de la siguiente tabla:

Tabla 3 Tiempo para alcanzar 90% y 95% del equilibrio para P en seis lagos.
R (Ec.11) = 1 / (1 + (1/√Tw); R (Ec.12) = (0,25+0,18*Tw) /(1+0,18Tw)
* según informe FIP-IT/97-40 Tw fue 3,5 años para 1998

Lago	Tarahuin	Natri	Puyehue	Chapo	Rupanco	Llanquihue
Prof. Media (m)	33	35	123	151	163	182
Tw (años)	2,7	3,5	3	5,5*	8,5	70
R (Ec.11)	0,62	0,65	0,65	0,70	0,74	0,89
R (Ec.12)	0,50	0,54	0,53	0,62	0,70	0,94
T (90%)	2,3-3,1	2,8-3,7	2,7-3,6	3,8 – 4,8	5,0 – 5,8	17,2 – 8,9
T (95%)	3,1-4,1	3,7-4,8	3,6-4,7	4,9 – 6,2	6,5 – 7,6	22,4 – 11,6

Se nota que el coeficiente de retención aumenta con Tw. Para el lago Llanquihue fluctuaría entre 0,89 y 0,94, es decir 89-94% del P ingresado al lago, sedimenta. En los lagos Tarahuin, Natri, Puyehue, Chapo y Rupanco con su tiempo de renovación mas corto (2,7 - 8,5 años) sedimentarían entre 50-65% (Tarahuin, Natri, Puyehue), 62-70% (Chapo) y 70-74% (Rupanco) del P. El tiempo para alcanzar el equilibrio de 90% se calcula para los lagos Tarahuin, Natri y Puyehue entre 2,3-3,7 años, para Chapo entre 3,8-4,8 años y para Rupanco entre 5,0-,5,8 años, y para el lago Llanquihue alrededor de 8,9 - 17,2 años (Tabla 3). Los respectivos valores para alcanzar 95% del valor de P en equilibrio aumentarían por ~ 25-30%.

En el caso del lago Chapo, donde se reportó un Tw de solamente 3,4 años para el año 1998 (FIP-IT/97-40), el equilibrio de 90% se alcanzaría en un tiempo de 2,7-3,6 años.

Para el lago Huillinco no se puede calcular el tiempo de equilibrio, porque el balance hídrico es muy dudoso y porque los modelos utilizados no se puede aplicar a un lago de esta naturaleza.

2.2.1.2 Metodología de evaluación de los estudios

El procedimiento de validación de los datos recopilados de los estudios sobre el balance de nutrientes de todos los lagos se realizó de la siguiente manera:

Para evaluar los estudios sobre balance de nutrientes (y capacidad de carga) se evaluó el diseño general (plan de muestreo, frecuencia, parámetros, modelos utilizados etc.), la metodología empleada (toma de muestras, obtención de información requerida, métodos analíticos, cálculos, modelación etc.) y los resultados obtenidos. Si fuese necesario, se digitalizó ciertos datos muy relevantes para chequear si los resultados presentados en los informes eran correctos o no y para realizar otros tipos de cálculos o modelaciones. La evaluación de los estudios siguió generalmente el orden de los estudios y contenía por lo menos información acerca de los siguientes aspectos:

- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

- APORTE DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES (incluyendo análisis deuso de suelo, balance hídrico, índices de exportación etc.)
- CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO
- EGRESO DE NUTRIENTES POR EL EFLUENTE
- OTROS FUENTES DE EUTROFIZACIÓN (centros de cultivo, pisciculturas, otras actividades humanas, precipitación etc.)
- BALANCE DE FOSFORO TOTAL
- Otras informaciones, p.e. calidad de sedimentos, correntometría, sedimentación de pelets etc.

VALIDACIÓN DE LOS DATOS

Como ya se mencionó anteriormente, la calidad de un estudio de balance de nutrientes depende mucho de la calidad de los datos utilzados, especialmente acerca de los nutrientes medidos y del balance hídrico. En conjunto entregan generalmente la mayor cantidad de las cargas por los afluentes y la precipitación y descarga por el efluente y el contenido de nutrientes en el lago. A esto generalmente hay que sumar otras cargas puntuales y difusas.

Por lo tanto un aspecto importante en la validación de los datos presentados fue validar la cuantificación de los nutrientes mismos, especialmente el análisis de los nutrientes y el balance hidrológico. La metodología para la validación de los datos recopilados se explica en los respectivos capítulos. La evaluación de los datos de la Dirección General de Aguas (lago Llanquihue, lago Chapo) se explica en 2.2.3.

2.2.2 Evaluación de datos sobre actividad acuícola

Se recopiló información sobre

- la Información ambiental (INFA) durante 2009-2011 y
- la “producción” de los peces para cada centro acuícola durante 1995-2012

Todos los datos han sido entregados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

Para los lagos Puyehue, Popetán, San António, Natri, Cucao, Tepuheico y Yelcho no se obtuvo información ambiental.

2.2.2.1 Evaluación de la Información Ambiental

Los datos sobre Información Ambiental recibidos, fueron ordenados y combinados en archivos formato Excel, los cuales permiten su evaluación y posterior presentación en gráficos y tablas. Los parámetros evaluados corresponden a “Fango”, “Materia orgánica” y “Potencial de Redox”, por ser los parámetros más indicativos para la caracterización del estado ambiental del sedimento. Los resultados obtenidos fueron graficados en figuras Box-Wiskers y evaluados cualtitativamente.

2.2.2.2 Evaluación de la Información sobre producción de peces

Los datos sobre la producción de los peces fueron entregados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en diferentes formatos contenidos en dos sets de datos. El primer set de datos correspondía a la producción **anual** de peces por centro de cultivo (entregado en agosto y octubre 2012), mientras que el segundo set de datos (entregado fines de julio 2013); correspondía a valores **mensuales** de las entradas (“abastecimiento”), las salidas y la existencia de peces en cada mes y centro de cultivo de los lagos estudiados. Una comparación entre los dos sets de datos confirmó, que la producción anual (primer set de datos) correspondía a la sumatoria de las denominadas “salidas”, es decir a la cantidad de peces extraída del lago, por diferentes causas (p.e. traslado a otro centro, mortalidad, escape, enfermedades etc.). En este informe se denomina esta cantidad como “**producción bruta**”.

El término “**producción neta**” se refiere a la producción bruta menos el abastecimiento (= biomasa de peces introducida en los centros de cultivo). En

base a esta producción neta se calculó la carga de P al lago (véase abajo). En promedió la producción neta fue ~ 10% menos que la producción bruta. Cabe mencionar, que este consultor encontró varios problemas en las bases de datos entregadas por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, que conllevaron a un cierto error en la estimación del aporte de P por parte de los centros (véase 2.2.2.3) y por lo tanto a una incertidumbre en las conclusiones respecto al impacto de los centros de cultivo sobre la calidad ambiental de los lagos. Los problemas en las bases de los datos fueron principalmente los siguientes:

- En algunas fechas se reportaron únicamente unidades de peces y no la masa (en kilogramos) abastecida y/o producida (salidas). Para estos casos se calculó la biomasa de peces asumiendo un peso individual de los peces similar al peso reportado en el mismo periodo, esto corresponde al peso individual en una fecha inmediatamente anterior o posterior a la fecha en cuestión.
- En varios casos no se reportaron salidas (producción), incluso durante años en algunos centros, pero si se reportaron “existencias” de peces en las balsas jaulas (p.e. centro 100678 en el lago Chapo durante 2007 y 2008, Tabla 4). Se supone que en estos casos se trata de un error u omisión en la base de datos, que resultaría en cálculos posteriores en una sub-estimación del aporte de P al lago en comparación con los casos en que si existen datos de producción de peces en este tiempo.
- Los datos de abastecimiento, salidas y la restante permanencia de peces, parecen tener cada uno, una incertidumbre en su cuantificación y/o omisión de valores reales. Esto se explica en función de que el saldo de peces existente en el lago, no siempre es coherente con el abastimiento y las salidas de los peces. Consecuentemente no fue posible chequear la coherencia de los datos de todos los centros de cultivo para este informe. Los problemas con la base de datos manejada por el Servicio Nacional de Pesca (y entregada a la Subsecretaria de Pesca y Acuicultura) muestra mayores incoherencias para el período 1995-2005 que en períodos posteriores (comunicación Subsecretaria de Pesca y Acuicultura).

Para facilitar la verificación de las estimaciones realizadas en este informe, se adjunta en el ANEXO 2 todos los datos anuales sobre

- el “abastecimiento” de peces (ton/año)
- las “salidas” (= la producción bruta) (ton/año) y
- la producción neta (= producción bruta – abastamiento) (ton/año) de cada centro de cultivo durante 1995-2012.

Tabla 4 Ejemplo de la base de datos sobre abastecimiento, salidas y existencia de peces en el centro 100678 en el lago Chapo durante 2006 – 2008.
Las dos columnas “kg/pez” fueron incorporadas por este consultor.

			Abastecimiento										
Cd_ Centro	Nr_ Ano	Nr_ Mes	SumaDeNr_ Kilos	SumaDeNr_ Unidades	ESPECIE	kg/pez	SumaDeNr_ Kilos	SumaDeNr _Unidades	ESPECIE	Cd_Destino	Nr_ Destino	Nm_ Destino	kg/pez
100678	2006	1	5869	185665	SALMON DEL ATLANTICO	0,032	306	4494	SALMON DEL ATLANTICO	3	101581	SALIDA	0,068
100678	2006	1	1755	122723	TRUCHA ARCO IRIS	0,014	5755	171548	SALMON DEL ATLANTICO	5	6	EXISTENCIA	0,034
100678	2006	1					23167	102966	TRUCHA ARCO IRIS	3	101291	SALIDA	0,225
100678	2006	1					32718	185900	TRUCHA ARCO IRIS	3	102039	SALIDA	0,176
100678	2006	1					53643	1106107	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,048
100678	2006	2	24460	1676008	TRUCHA ARCO IRIS	0,015	7524	115444	SALMON DEL ATLANTICO	5	6	EXISTENCIA	0,065
100678	2006	2					50855	517650	TRUCHA ARCO IRIS	3	101272	SALIDA	0,098
100678	2006	2					56835	2158112	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,026
100678	2006	3	8429	814145	TRUCHA ARCO IRIS	0,010	12183	109065	SALMON DEL ATLANTICO	5	6	EXISTENCIA	0,112
100678	2006	3					24964	246650	TRUCHA ARCO IRIS	3	101272	SALIDA	0,101
100678	2006	3					62712	2164918	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,029
100678	2006	4	4423	416790	TRUCHA ARCO IRIS	0,011	11608	106242	SALMON DEL ATLANTICO	3	101581	SALIDA	0,109
100678	2006	4					24706	235700	TRUCHA ARCO IRIS	3	101272	SALIDA	0,105
100678	2006	4					14959	151200	TRUCHA ARCO IRIS	3	101581	SALIDA	0,099
100678	2006	4					65698	2185408	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,030
100678	2006	5	2477	231108	TRUCHA ARCO IRIS	0,011	44410	1337476	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,033
100678	2006	6	4685	719780	TRUCHA ARCO IRIS	0,007	99167	2574857	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,039
100678	2006	7	5081	542693	TRUCHA ARCO IRIS	0,009	87390	2538982	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,034
100678	2006	8	3538	353255	TRUCHA ARCO IRIS	0,010	111994	2722671	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,041
100678	2006	9	0	0	SIN MOVIMIENTO		100203	2215166	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,045
100678	2006	10	0	0	SIN MOVIMIENTO		132141	1989030	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,066

100678	2006	11	0	0	SIN MOVIMIENTO		120886	1732530	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,070
100678	2006	12	0	0	SIN MOVIMIENTO		121422	1618961	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,075
100678	2007	1	0	0	SIN MOVIMIENTO		127945	1421621	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,090
100678	2007	2	0	0	SIN MOVIMIENTO		123707	1237071	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,100
100678	2007	3	0	0	SIN MOVIMIENTO		106276	1078607	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,099
100678	2007	4	0	0	SIN MOVIMIENTO		122725	1067178	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,115
100678	2007	5	0	0	SIN MOVIMIENTO		127361	1061345	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,120
100678	2007	6	0	0	SIN MOVIMIENTO		139637	1057859	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,132
100678	2007	7	0	0	SIN MOVIMIENTO		144340	1045944	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,138
100678	2007	8	0	0	SIN MOVIMIENTO		144776	1041551	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,139
100678	2007	9	0	0	SIN MOVIMIENTO		145247	1030124	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,141
100678	2007	10	0	0	SIN MOVIMIENTO		144098	1016204	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,142
100678	2007	11	0	0	SIN MOVIMIENTO		119603	938796	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,127
100678	2007	12	0	0	SIN MOVIMIENTO		102941	849347	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,121
100678	2008	1	0	0	SIN MOVIMIENTO		90922	794080	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,114
100678	2008	2	0	0	SIN MOVIMIENTO		89694	762708	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,118
100678	2008	3	0	0	SIN MOVIMIENTO		89145	750376	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,119
100678	2008	4	0	0	SIN MOVIMIENTO		88570	739936	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,120
100678	2008	5	0	0	SIN MOVIMIENTO		88232	734041	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,120
100678	2008	6	0	0	SIN MOVIMIENTO		87527	725763	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,121
100678	2008	7	0	0	SIN MOVIMIENTO		85630	717165	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,119
100678	2008	8	0	0	SIN MOVIMIENTO		83803	699522	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,120
100678	2008	9	0	0	SIN MOVIMIENTO		79121	660441	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,120
100678	2008	10	0	0	SIN MOVIMIENTO		75956	652544	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,116
100678	2008	11	0	0	SIN MOVIMIENTO		75254	641008	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,117
100678	2008	12	0	0	SIN MOVIMIENTO		54013	611008	TRUCHA ARCO IRIS	5	6	EXISTENCIA	0,088

2.2.2.3 Estimación del aporte de P mediantes los centros acuícolas

Para evaluar el impacto de la actividad acuícola sobre la cálidad de agua (y sedimento), es necesario obtener información sobre la cantidad de nutrientes (P, N) que esta actividad aporta al sistema acuático.

Deste el punto de vista conceptual solamente una cierta parte (~ 30%) de P contenido en el alimento, queda asimilada en la biomasa de los peces, mientras el resto queda liberado en forma particular o disuelto en el medio ambiente (Fig.7).

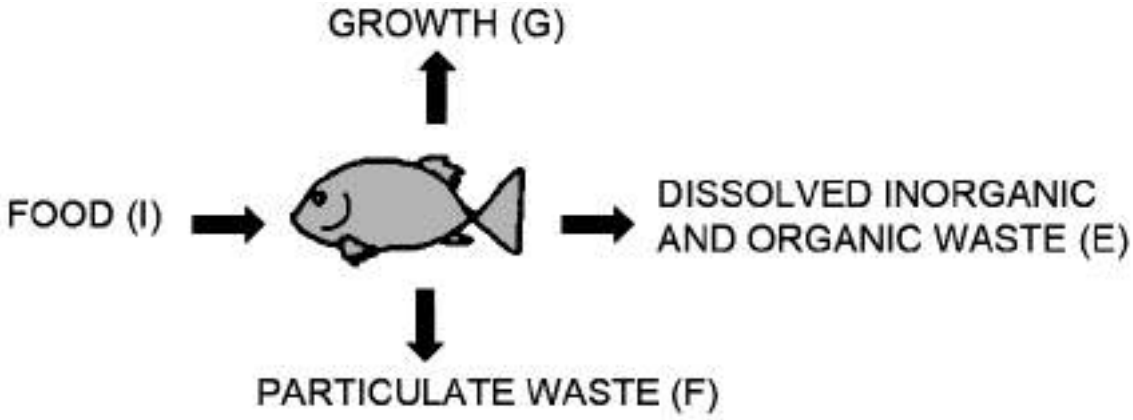


Fig. 7 Modelo conceptual del flujo alimento-pez-desechos (Olsen et al. 2008)

La figura 8 muestra como ejemplo el flujo de P (en kg P/ton peces producidas) para centros de cultivos en Noruega, donde ~ 70% del contenido de P en el alimento quedan finalmente como fósforo particular (52%) y disuelto (18%) en el medio acuático Wang et al. (2012).

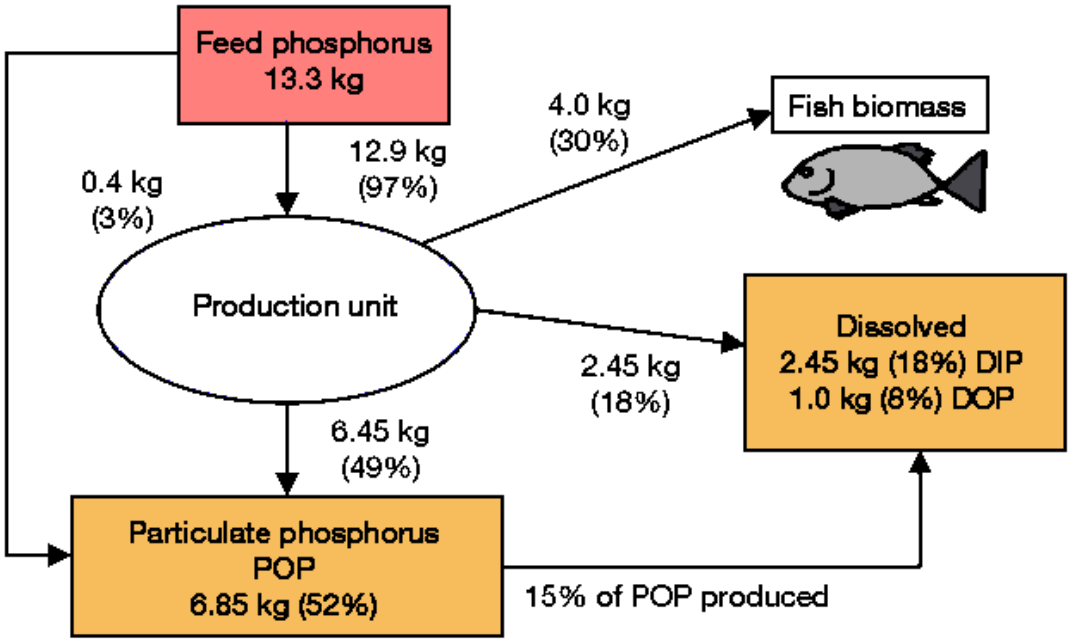


Fig. 5. Annual nutrient fluxes (kg [t produced × yr]$^{-1}$) and components (kg t^{-1} produced) for Norwegian salmon farming in 2009: P

Fig. 8 Flujos de P (kg P/ton peces producidos) estimados para la salmonicultura en Noruega (Wang et al. 2012)

En la literatura científica se reportan importantes aportes de P por la actividad salmonicultura. En un resumen de la carga de P, por actividad salmonicultura en Noruega; Wang et al. (2012) estimó un aporte de 9,3 kg P/ton peces, mientras Olsen et al. (2008) calcula un aporte hipotético de 8 kg P/ton peces para aguas costeros de Noruega. Nash (2001) reporta en un resumen de la literatura aportes de 6,7 kg P/ton peces como valores mínimos para el Pacífico Norte y Azevdo et al. (2011) midió un aporte de 8,7 kg P/ton peces (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) en Canadá.

Con el objetivo de disponer de antecedentes históricos de los aportes de Fósforo a los lagos del sur de Chile, por parte de la Salmonicultura en balsas jaulas, se procedió a realizar un retro cálculo de los aportes de P, sobre la base de los antecedentes de la producción **neta** de cada centro en el período comprendido entre 1995 y 2012.

El cálculo de los aportes históricos de P, finalmente fue realizado asumiendo un aporte de **8 – 9,3 kg P/ton** de peces producidos (producción neta = producción bruta – abastecimientos) basándonos principalmente en los estudios recientes realizados en Noruega (Wang et al. 2012).

En el siguiente ejemplo presenta el cálculo de la carga de P para el centro 100205 (Lago Puyehue) para el año 2012:

Producción bruta (= suma de “salidas”):	420,4 ton
Abastecimiento:	80,7 ton
Producción neta: :	420,4 – 80,7 = 339,7 ton
Carga P (8 kg/ton) mínima:	339,7 ton x 8 kg/ton = 2718 kg
Carga P (9,3 kg/ton) máxima:	339,7 ton x 9,3 kg/ton = 3159 kg

Cabe mencionar que en estudios similares anteriores en los lagos araucanos y chilotes Campos y colaborados usaron valores de 12,1 - 14,5 kg P/ton, Soto (1993) utilizó 16 kg P/ton peces y León (2011) usó 7,5-7,9 kg P/ ton peces producidos.

Es preciso aclarar que para los años noventa cuando todavía no se controlaba eficientemente el uso de alimento no ingerido con detectores de alimento o sistemas de monitoreo para la captación de dicho alimento, la carga de P probablemente esta subestimada. Lamentablemente no fue posible obtener información acerca de la cantidad de alimento suministrada en cada centro de cultivo para verificar la coherencia entre la producción neta de peces y la cantidad de alimento utilizada (que determina finalmente el factor de conversión).

2.2.3 Evaluación del estado trófico de los lagos

Para evaluar el estado trófico histórico de los lagos se recopiló la información disponible sobre los parámetro tróficos transparencia, fósforo total y clorofila a

de los 12 lagos estudiados en este estudio. En general, para la mayoría de los lagos - con excepción de los lagos Chapo y Llanquihue – no existen muchos estudios históricos, por lo tanto había relativamente pocos datos disponibles para evaluar el desarrollo de su estado trófico. Donde fue posible, se realizó un chequéo de la cálidad de los datos, de acuerdo a la metodología descrita mas abajo para los datos de los lagos Chapo y Llanquihue.

La fijación de los límites para clasificar el estado trófico de los lagos, se basó principalmente en la Guía de Norma Secundaria (CONAMA, 2005) como muestra la siguiente tabla.

Tabla 5 Límites utilizados para clasificar el estado trófico de los lagos

	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico
Transparencia (m)	> 20	10 - 20	5 - 10	< 5
Fósforo total (mgP/L)	< 0,005	0,005-0,010	0,010 – 0,020	> 0,02
Clorofila a (µg/L)	< 1	1 - 3	3 - 10	> 10

El nitrógeno total no se utilizó en esta evaluación, porque no es útil como parámetro para clasificar la trofía de los cuerpos de agua del Sur de Chile, debido a que todas las clasificaciones tróficas consideran valores límites para un estado oligotrófico muy superiores ((Tabla 1: 0,250 o 0,350 mg N/L) a los valores generalmente medido en los araucanos (< 0,100 mg N/L). Por lo tanto, la clasificación trófica basándose en los valores de nitrógeno cási siempre resultará en un estado “oligotrófico”, cuando los otros parámetros tróficos (clorofila, transparencia, P total) indican por ejemplo ya un estado “mesotrófico” y/o incluso “eutrófico”.

EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE LA DGA

Para evaluar el desarrollo del estado trófico en los lagos Chapo y Llanquihue, se obtuvo por parte de la Dirección General de Aguas su base de datos sobre estos lagos, que son monitoreados en la red de monitoreo de los lagos. Estos datos fueron ordenados en una base de datos de EXCEL, porque este programa satisface todos los requerimientos (ordenar, filtrar y seleccionar, graficar, hipervínculos, evaluación estadística etc.) y permite fácilmente el intercambio de datos desde diferentes fuentes de datos. Posteriormente, se incorporaron además todos los demás datos disponibles para los lagos Llanquihue y Chapo, principalmente de los estudios previos de la Universidad Austral de Chile y de la Universidad de Valparaiso y por ende los datos obtenidos en el presente estudio. Finalmente todos los datos fueron chequeados respecto a su calidad usando los demás datos en primer lugar como referencia de comparación . El análisis de los datos se realizó en primer lugar de la siguiente manera:

1. Se identificaron datos dudosos/erróneos según los criterios empíricos definidos por los consultores (véase abajo)
2. Donde fue oportuno, mediante box-wisker plots se corroborar y/o identificar valores fuera de lugar (“outliers”) y valores extremos
3. Se definió la base final de los datos identificados como dudosos/erróneos lo cuales fueron excluidos y/o indicado como valores dudosos en la posterior evaluación de los datos.

El procedimiento y la metodología para la revisión crítica de la base de datos fue la siguiente:

EVALUACIÓN EMPÍRICA

La revisión de los datos disponibles se hizo usando los AUTOFILTROS marcando valores considerados altos o muy bajos o errores tipográficos o valores obviamente erróneos. Los valores de clorofila a y visibilidad (Secchi) en general no mostraron problemas aparentes por lo cual se aceptaron en su totalidad. Al contrario el fósforo total (PT) despertó en muchos casos dudas,

aúnque no fueron detectados como outlier o valores extremos (véase abajo). Criterios básicos para detectar estos datos dudosos fueron principalmente los siguientes:

- Si los datos estan en el rango típico y esperado para lagos araucanos según datos de la literatura y la experiencia de este consultor.
- La existencia de incoherencias en los perfiles verticales, entre diferentes perfiles verticales y entre perfiles en el tiempo de PT, p.e. cambios muy bruscos (curvas de fiebre).

Mas detalles se discuten en los respectivos capítulos sobre la evaluación trófica de los datos históricos.

EVALUACIÓN ESTADÍSTICA

Identificación de outlier: Un outlier es una observación o un conjunto de observaciones que están fuera del patrón de distribución de los datos. La principal característica de un dato outlier es que este puede influir de manera negativa sobre nuestros análisis, conduciéndonos a errores en el momento de hacer inferencias acerca de las características del conjunto de datos (por ejemplo tendencia, promedio, desviación estándar). Sin embargo, es muy importante destacar que los datos outliers **no necesariamente son erróneos**, más aun pueden entregar importante información sobre eventos puntuales, sean estos naturales o de origen antropogénico. Por lo anterior, previo a remover este tipo de datos resulta fundamental que estos sean críticamente analizados por un experto del área, el cual indicará finalmente si el o los datos outliers identificados deben ser eliminados. En este proyecto se utilizó el Rango intercuartil (RIC) para identificar datos outliers/extremos (programa STATISTICA, versión 7) (Fig.9):

Rango intercuartil (RIC): esta técnica incluye el cálculo de los percentiles 25 (Q1) y 75 (Q3) y de la mediana (percentil 50, Q2). Se calcula la diferencia entre Q3 - Q1, lo que es conocido como el (RIC). Aquellos valores que se encuentren bajo 1,5 - Q1*RIC o sobre 1,5 + Q3+RIC pueden ser considerados como outliers “**suaves**” en tanto que aquellos valores bajo 3,0 - Q1*RIC o sobre 3,0 +

Q3+RIC pueden ser considerados como **outliers extremos**. Para este análisis se construyeron los Box-Plot, los cuales permiten identificar gráficamente los outliers. Estos gráficos dividen los datos dentro de cuatro áreas de igual frecuencia. Una caja encierra el 50% de los datos, donde la mediana es marcada con una estrella, los extremos de la caja representan el cuartil 25 (Q1) y el cuartil 75 (Q3), además líneas horizontales llamadas “barbas” se extienden desde una distancia de 1,5 veces de los extremos de la caja.

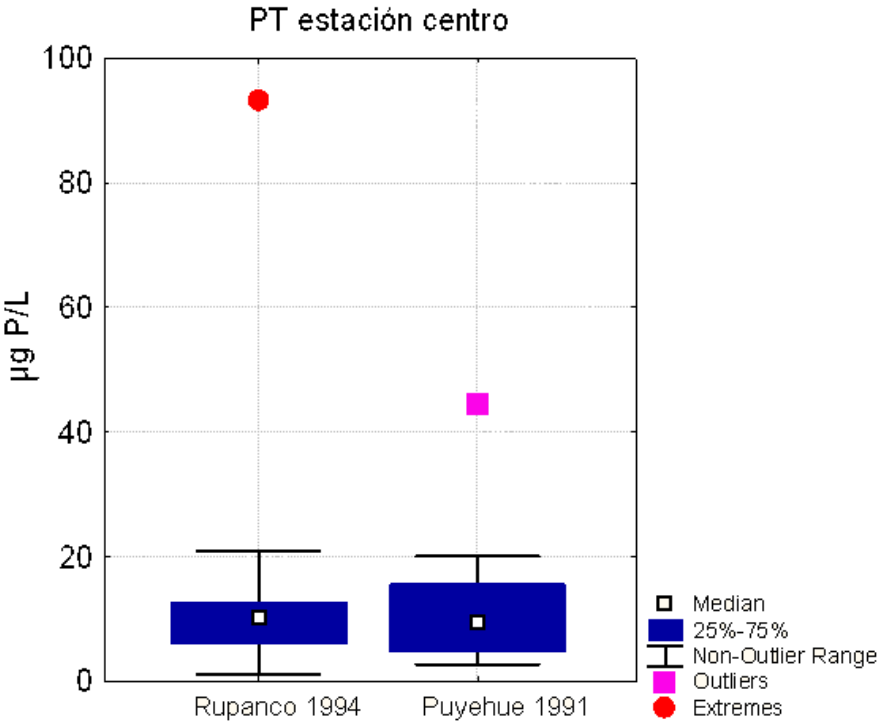


Fig. 9 Box-Wisker plot de PT (estación centro) reportado para los lagos Rupanco y Puyehue.
Fuente: UACH 1993, UACH 1995

2.3 MONITOREO DE 6 LAGOS CON CENTROS DE CULTIVO DE LA X REGIÓN (objetivo 3)

El monitoreo de los lagos tienen como objetivo "**Caracterizar las condiciones ambientales de estos cuerpos de agua**" durante el invierno/primavera. De acuerdo con las conversaciones mantenidos con la SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA se monitoreó los siguientes seis lagos:

- Lago Rupanco
- Lago Llanquihue*
- Lago Chapo
- Lago Hullinco
- Lago Tarahuin
- Lago Natri

El diseño general del monitoreo de los lagos consistió en los siguientes muestreos en cada uno de los 6 lagos seleccionados para el proyecto:

1) Muestreo de la **columna de agua** en diferentes estaciones (cerca de los centros acuícolas, estaciones centrales correspondientes app. a la profundidad máxima como estaciones de referencia) para medir parámetros físicos (principalmente temperatura, oxígeno, pH, conductividad eléctrica, transparencia), químicos (nutrientes P y N) y biológicos (clorofila a, fito- y zooplancton).
2) Muestreo del **sedimento** en la cercanía de los centros de cultivo.
3) Mediciones de **correntometria** en la cercanía de los centros de cultivo y en el pelagial de cada uno de los seis lagos.

A continuación se explica la metodología en detalle.

2.3.1 Estaciones y profundidades de muestreo

Los puntos de muestreo de la columna de agua consideraron la necesidad de obtener información detallada sobre la calidad de agua en todo el cuerpo de agua sobre la profundidad máxima (estaciones pelágicas) y en la cercanía de los centros de cultivos pero fuera del área de concesión (ver detalles en Tabla 6). El enfoque del diseño pelágico se realizo sobre la base de la buena resolución vertical de muestras en el cuerpo pelágico para así obtener datos confiables sobre los parámetros tróficos (especialmente nutrientes y clorofila a) en el perfil vertical hasta el fondo con el fin de calcular adecuadamente la cantidad total de P y N en el volumen entero del lago. Esto ha sido históricamente una falencia de los estudios, porque generalmente los muestreos no consideran profundidades sobre 100 m. Se monitoreó entre una y tres estaciones pelágicas en cada lago (Rupanco, Llanquihue, Chapo, Natri, Tarahuin, Huillinco) dependiendo de su tamaño y acorde con estudios anteriores, a esto se suman las estaciones en la cercanía de los centros de cultivo. La ubicación exacta de las estaciones y las profundidades de muestreo químico se encuentran en la Tabla 6.

Leyenda aclaratoria:

En la columna Nombre Estación los números de seis dígitos corresponden a las estaciones correspondientes a centros de cultivo de salmónidos con su respectivo código. Las estaciones Centro C1, Centro C2, Bahía >100 y Centro 270 corresponden a estaciones pelagiales utilizadas como puntos de referencia con menor influencia antropogénica.

Las siguientes figuras muestran la ubicación de las estaciones en los lagos y mas detalladamente en las bahías muestreadas. Las figuras de las bahías con la ubicación del área de concesión y de las balsas jaulas fueron extraidas de las INFAS entregadas por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. En alguna casos la ubicación del área de concesión y/o de las balsas jaulas no figuraron en las mapas de las INFAS recopilados.

Tabla 6 Fecha de muestreo y ubicación de las estaciones de monitoreo de la columna de agua

Fecha	Hora	Nombre Estación	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
Lago Rupanco					
27.09.12	13:10	Bahia >100	0-10-20-30-40-50-80-100	40°51'57,4''	72°29'22,9''
27.09.12	14:40	101862	0-30-60	40°52'45,7	72°26'54,0''
27.09.12	16:00	101851	0-50-100	40°51'53,3''	72°27'57,3''
27.09.12	16:45	100625	0-30-60	40°51'10,1''	72°30'04,7''
28.09.12	9:50	Centro 270	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-260	40°49'34,7''	72°31'19,0''
28.09.12	14:30	100522	0-50-100	40°53'51,8''	72°19'14,1''
28.09.12	16:10	100389	0-10-20	40°47'09,0''	72°28'15,6''
28.09.12	17:22	101707	0-30-70-140	40°47'37,5''	72°39'34,1''
28.09.12	18:10	100081	0-20-40	40°46'02,6''	72°37'35,3''
Lago Llanquihue					
12.10.12	13:00	Centro C2	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250	41°14'14,2''	72°53'57,1''
18.10.12	15:40	100545	0-10-20	40°57'59,6	72°52'19,7''
18.10.12	14:10	100204	0-10-20-30-60	40°00'34,7''	72°54'41,9''
18.10.12	12:10	100627	0-10-15-20-25	41°00'28,7''	72°44'15,1''
10.10.12	10:20	Centro C1	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-300	41°10'08,4''	72°39'21,0''
18.10.12	10:40	100628	0-10-15-20-30	41°01'04,9''	72°41'44,8''
12.10.12	17:35	100507	0-10-20-25-30-50	41°05'42,6''	72°57'48,7''
11.10.12	17:45	100332	0-10-20-30-50	41°11'38,5''	73°00'38,6''
11.10.12	18:40	100510/511	0-10-20-30-60	41°11'50,7''	73°00'09,3''
11.10.12	13:40	100100	0-10-20-30-40	41°12'48,4''	73°00'58,1''
11.10.12	16:00	101866	0-10-20-30-45	41°12'56,9''	73°01'09,2''
12.10.12	11:40	100070	0-6-12	41°16'52,1''	72°52'09,8''
10.10.12	14:10	100370	0-10-20-30-50	41°08'22,3''	72°35'40,1''
		100369	Estación muy cerca de 100370, solo se midió con sondas	41°08'34,8''	72°35'29,3''
10.10.12	16:10	100390	0-10-20-30-70	41°11'18,4''	72°34'12,3''
Lago Chapo					
03.10.12	11:15	Centro C2	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250-290	41°29'47,1''	72°26'59,3''
03.10.12	16:50	100394	0-10-20	41°26'13,7	72°34'30,5''
04.10.12	10:35	101332	0-10-20-30-40-80	41°24'59,3''	72°32'14,5''
04.10.12	12:15	101291	0-10-20-30-40-80	41°26'24,0''	72°33'59,0''

Continuación tabla 6

Fecha	Hora	Nombre Estación	Profundidad (m)	Latitud	Longitud
05.10.12	9:10	Centro C1	0-10-20-30-40-50-80-120-160-200-250	41°25'56,2''	72°30'48,4''
05.10.12	11:55	101051	0-10-20-30-100-250	41°28'43,0''	72°27'21,7''
05.10.12	13:45	100678	0-10-20-30-100-190	41°30'13,7''	72°25'25,0''
05.10.12		101278	No existen balsa jaulas	41°29'59,6''	72°27'42,4''
Lago Natri					
09.11.12	16:50	Centro C1	0-10-20-30-40-50-55	42°47'37,9''	73°48'39,5''
09.11.12	15:35	100437	0-10-15-30	42°47'37,9''	73°48'39,5''
09.11.12	18:30	100600	0-10-15-20-40	42°48'05,2''	73°47'37,0''
09.11.12	19:20	100427	0-15-25	42°48'26,3''	73°46'54,4''
Lago Tarahuin					
09.11.12	9:45	Centro C1	0-10-20-30	42°42'57,4''	73°43'50,0''
09.11.12	11:15	100521	0-15-20-30	42°42'41,4''	73°43'55,2''
09.11.12	12:45	100436	0-5-10	42°43'07,8''	73°46'44,8''
Lago Huillinco					
10.11.12	14:00	Centro C1	0-10-20-30-40-45	42°40'11,4''	73°56'42,1''
10.11.12	15:50	100617	0-15-20-30	42°40'05,2''	73°59'15,2''
10.11.12	16:55	100520	0-10-20-30-40	42°39'30,0''	73°58'09,7''
10.11.12	18:45	100616	0-5	42°39'30,2''	73°55'28,2''
11.11.12	9:50	100968	0-5	42°40'46,6''	73°55'29,6''
11.11.12	10:35	101212	0-10-20	42°40'38,0''	73°56'21,2''

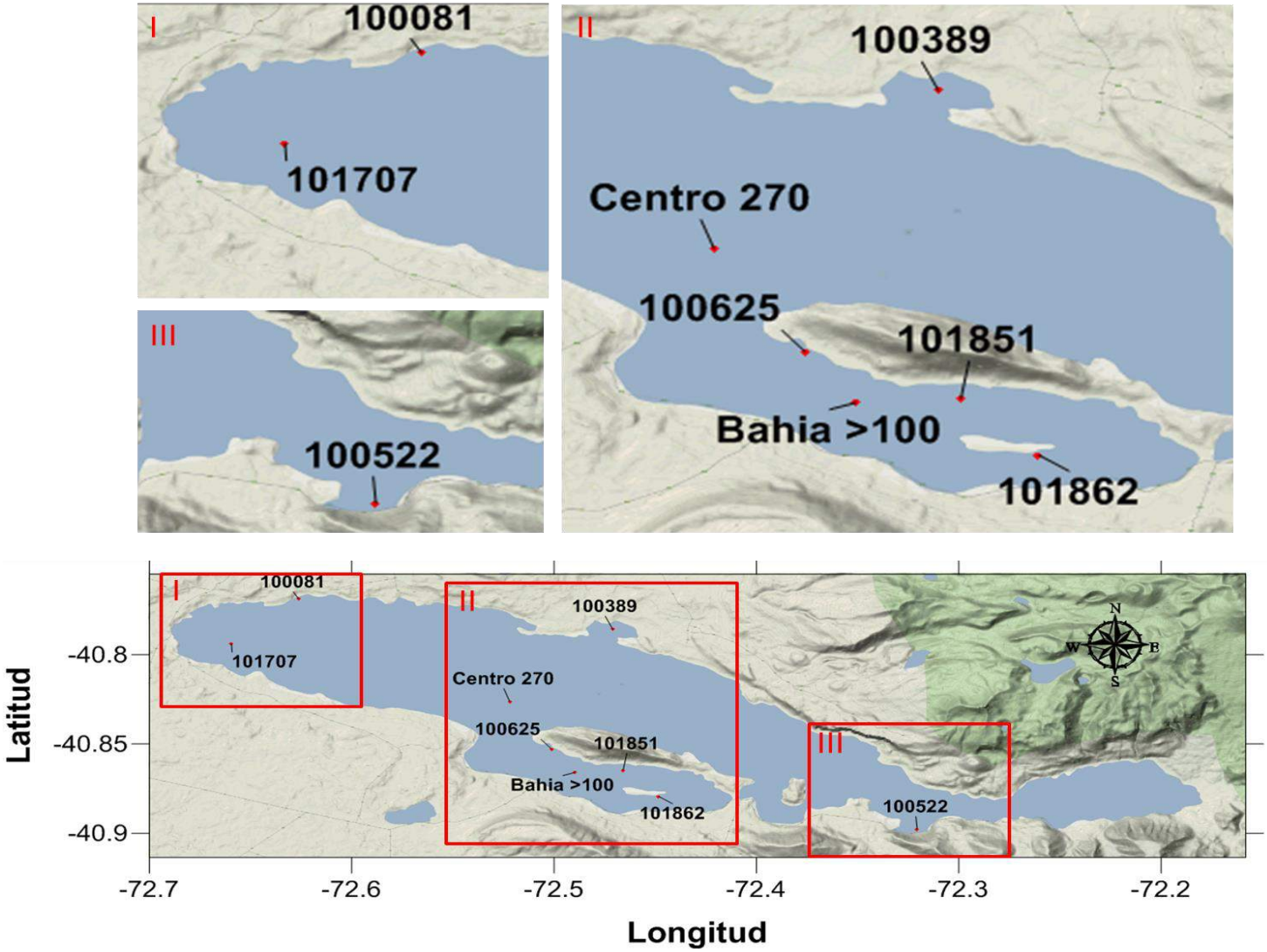


Fig. 10 Estaciones de muestreo de química y sedimento Lago Rupanco. Cada centro de cultivo esta identificado por un color.

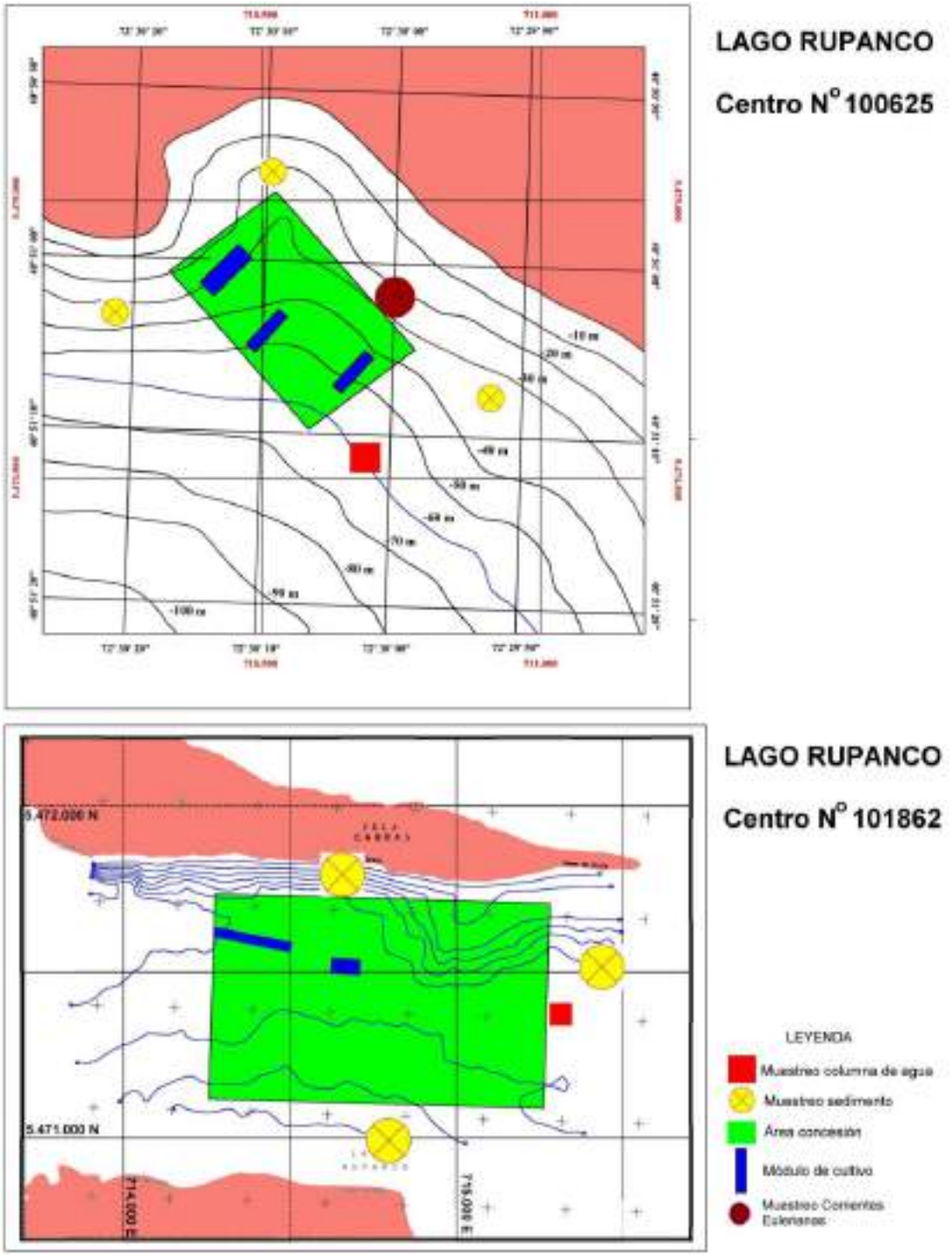
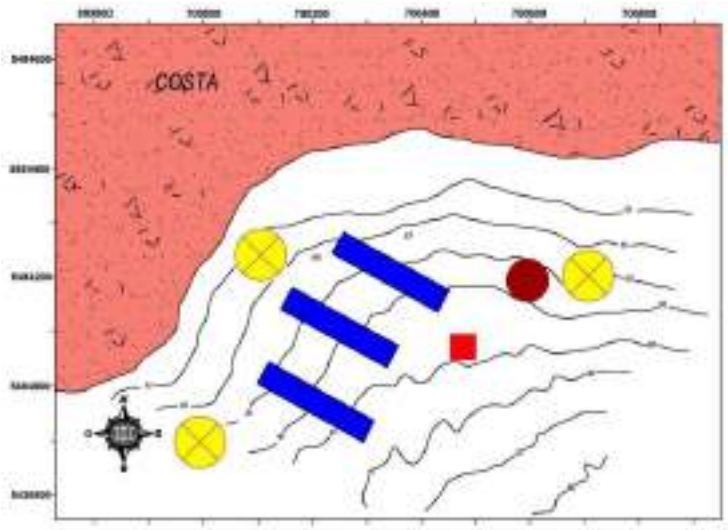
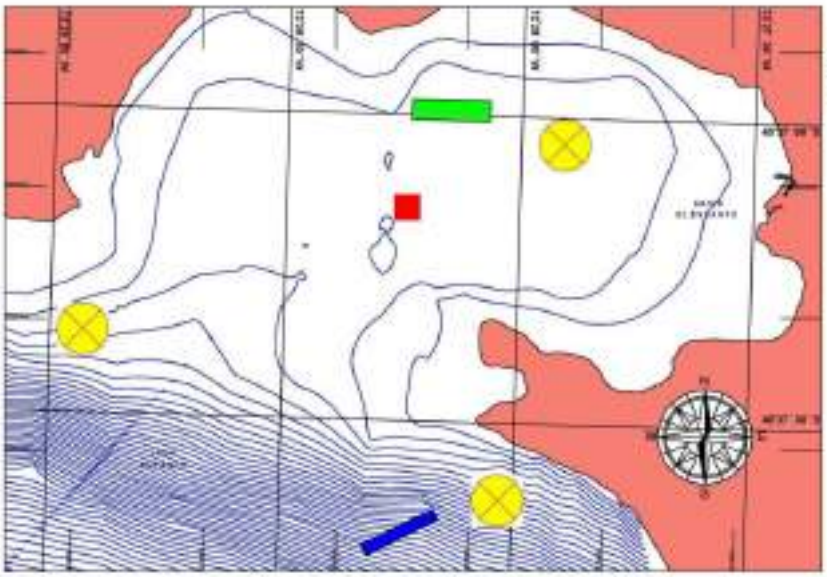


Fig. 11 Estaciones de muestreo de columna de agua y del sedimento del Lago Rupanco.



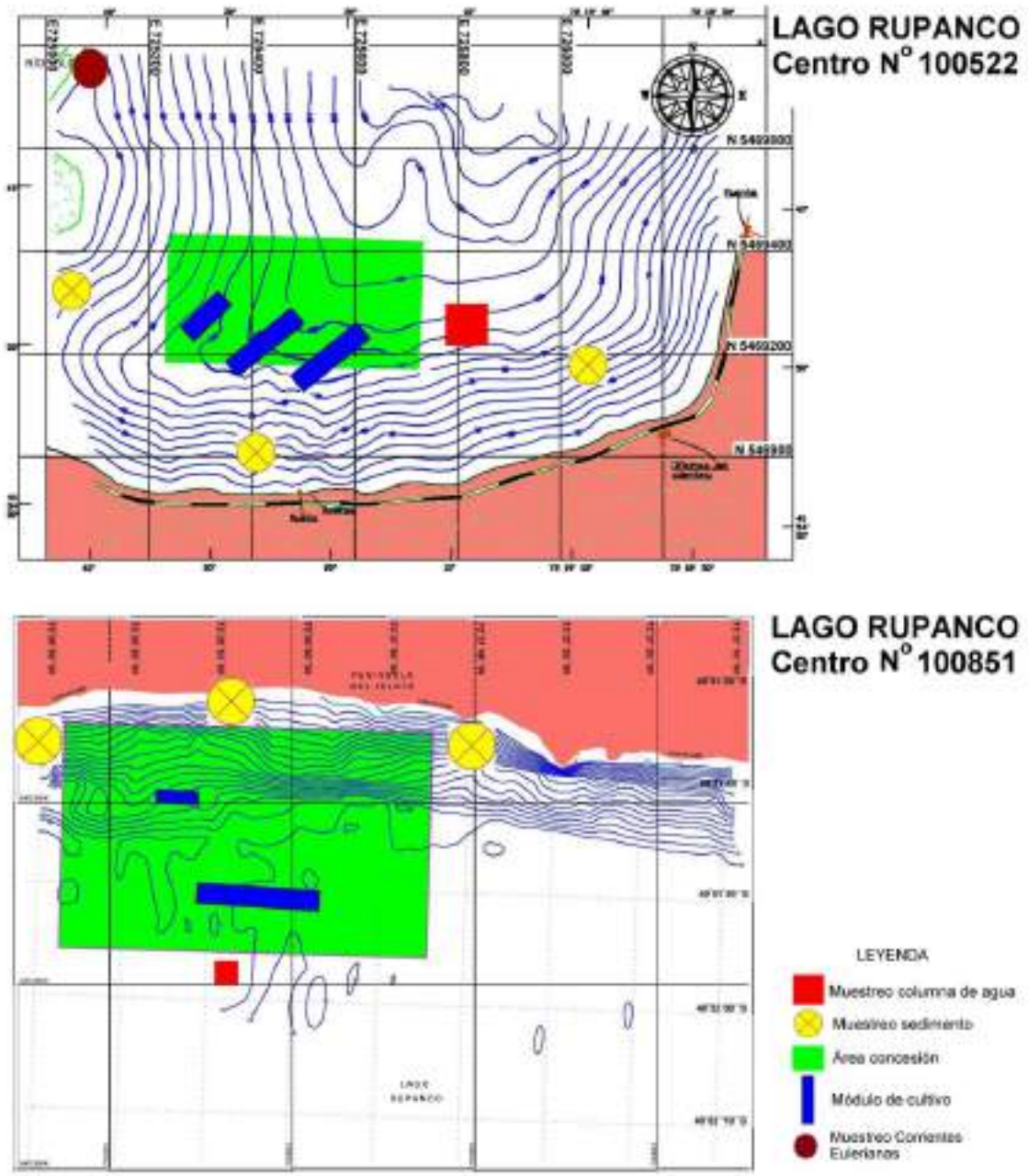
LAGO RUPANCO
Centro N° 100081



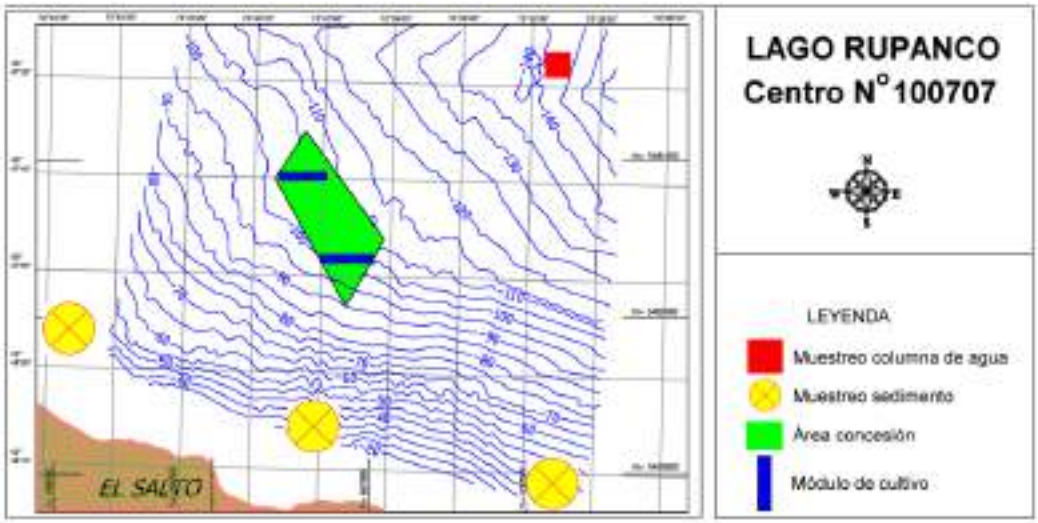
LAGO RUPANCO
Centro N° 100389

LEYENDA
Muestreo columna de agua
Muestreo sedimento
Área concesión
Módulo de cultivo
Muestreo Corrientes Eulerianas

Continuación figura 11



Continuación figura 11



Continuación figura 11

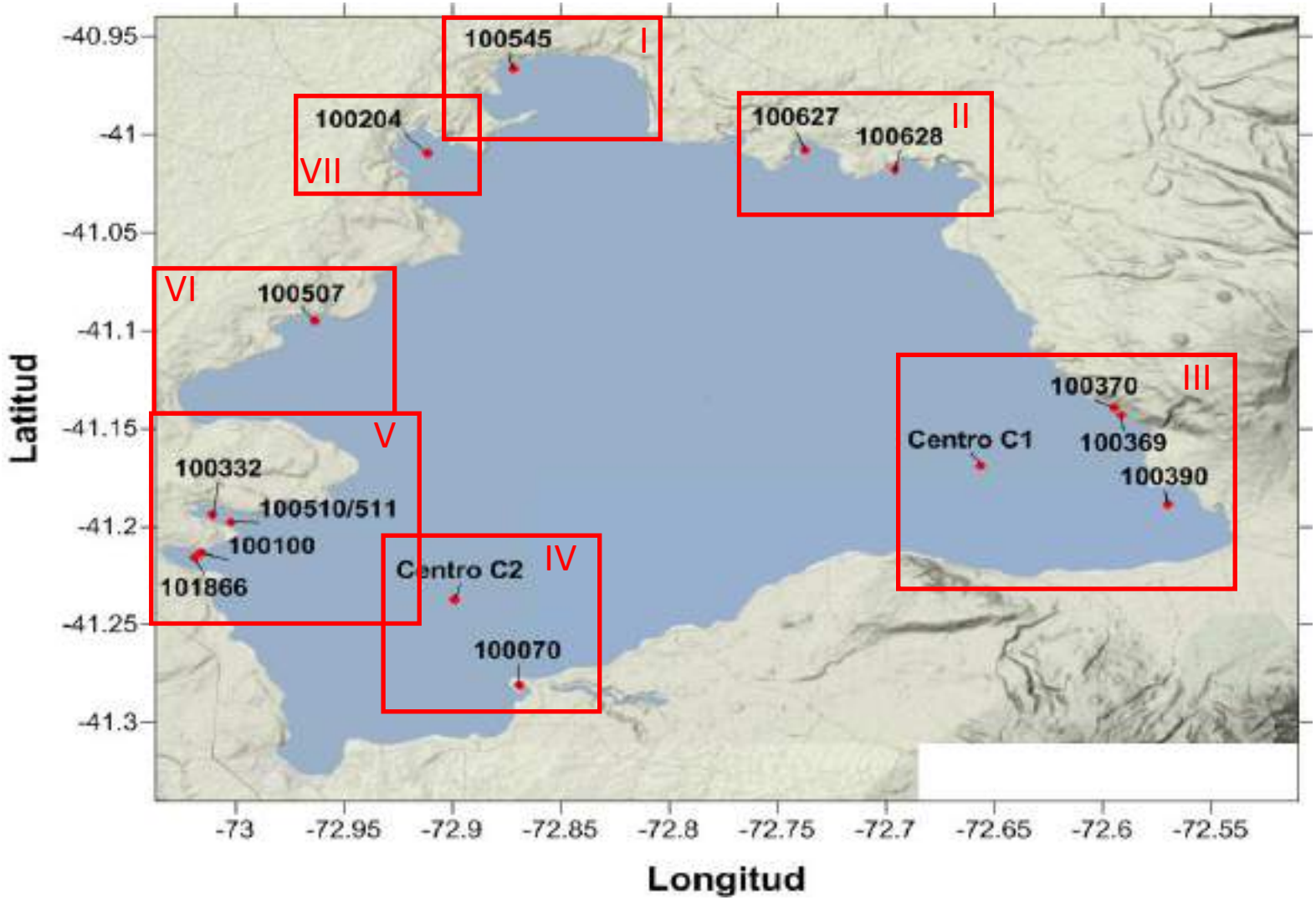


Fig. 12 Estaciones de muestreo de la columna de agua, lago Llanquihue

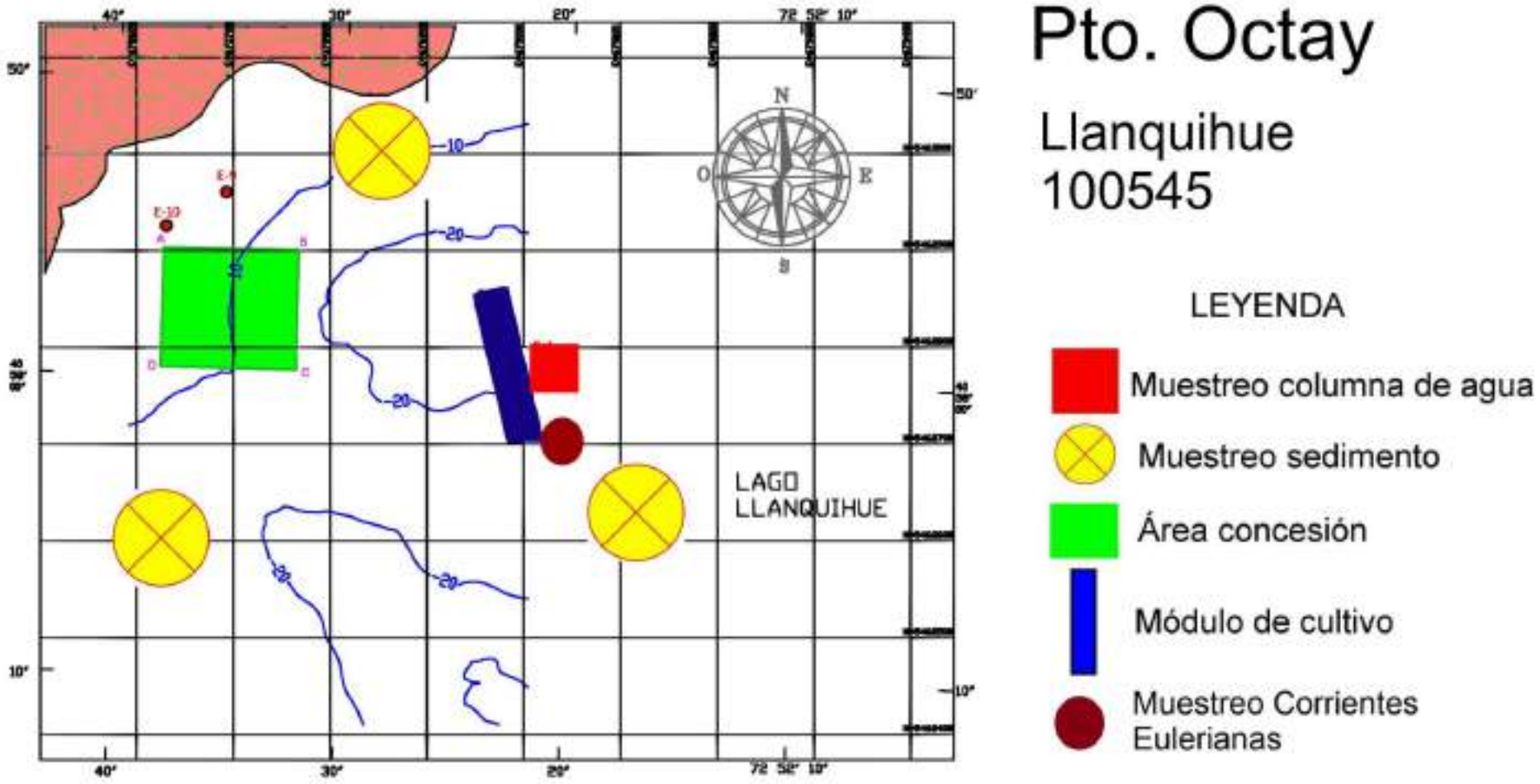
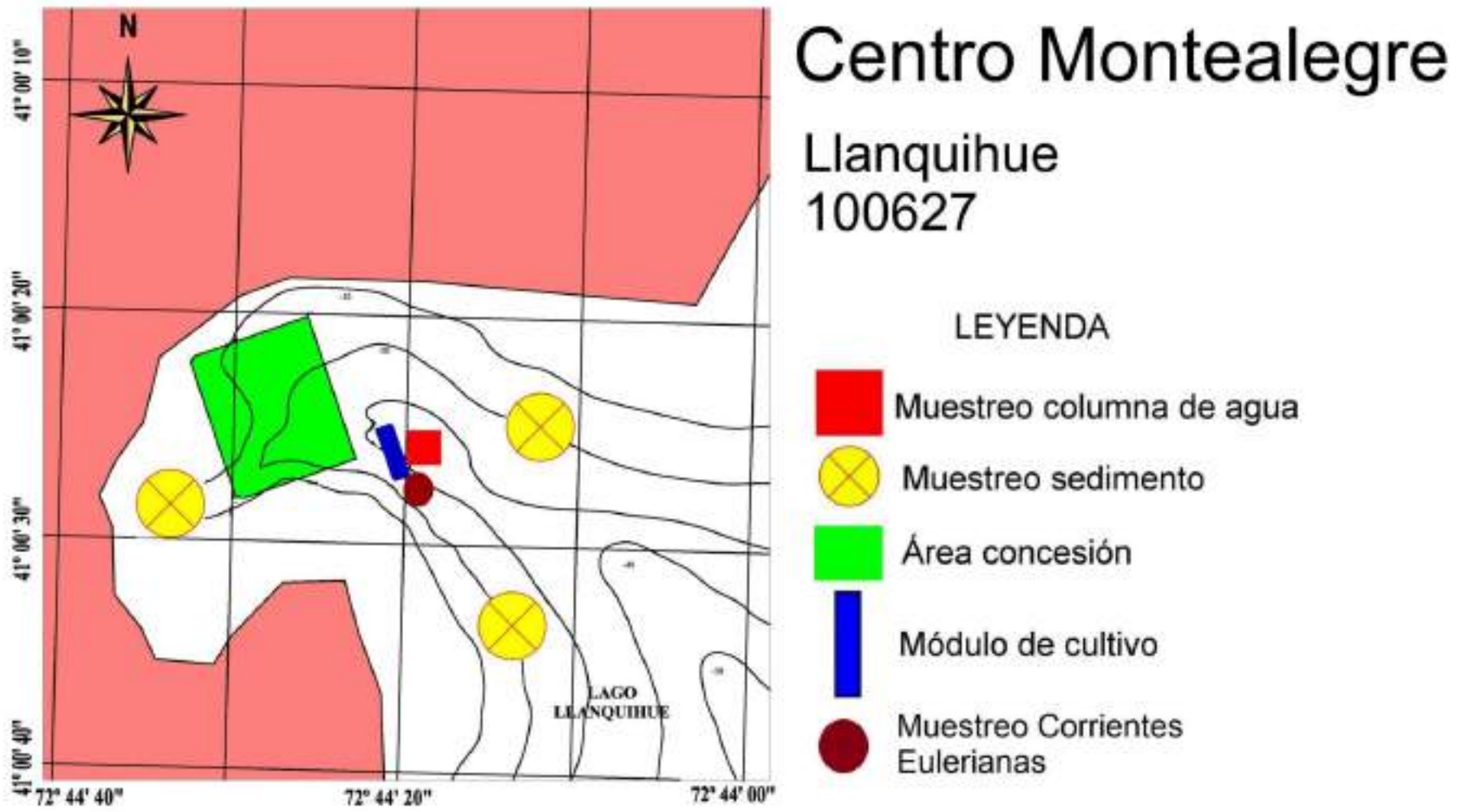
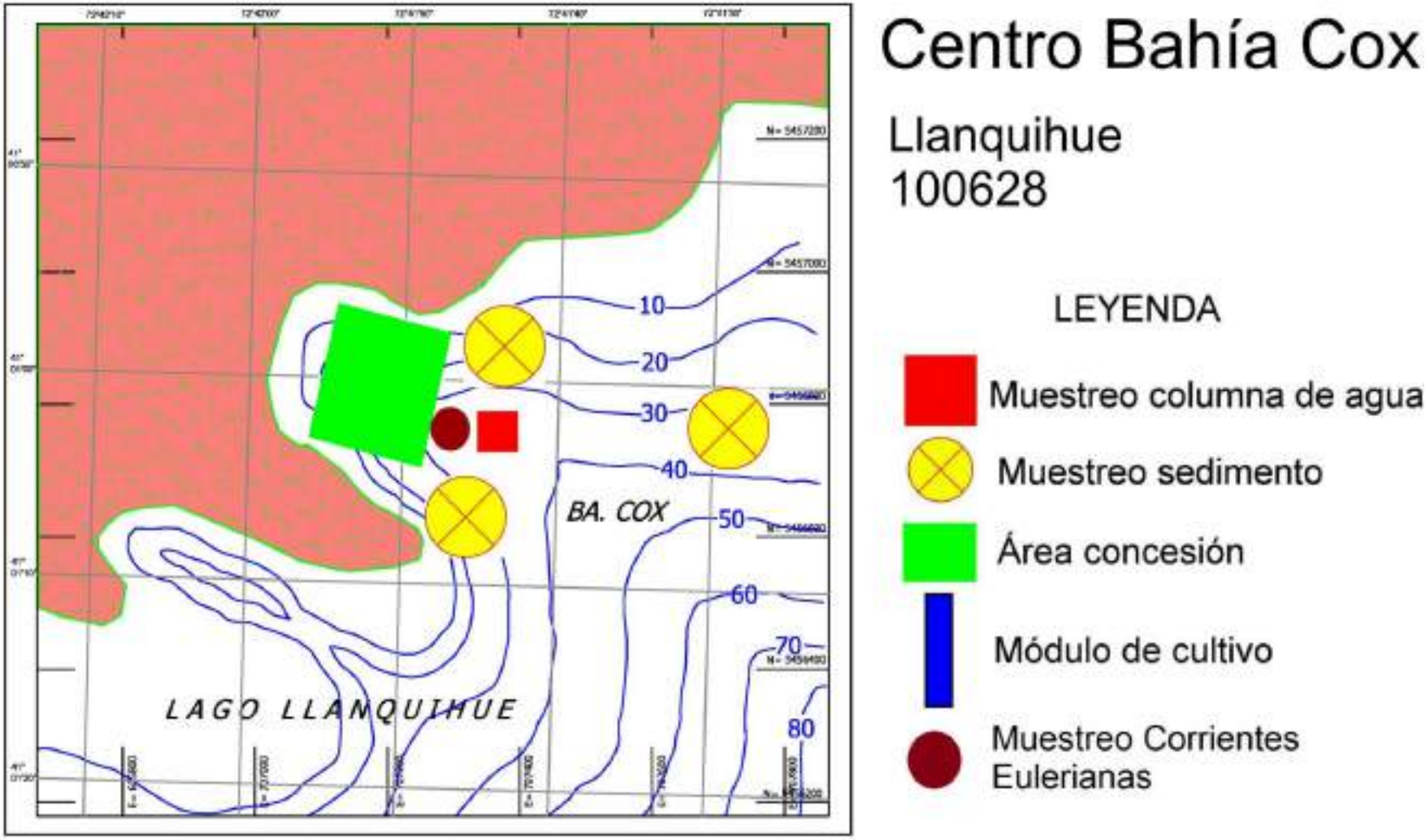


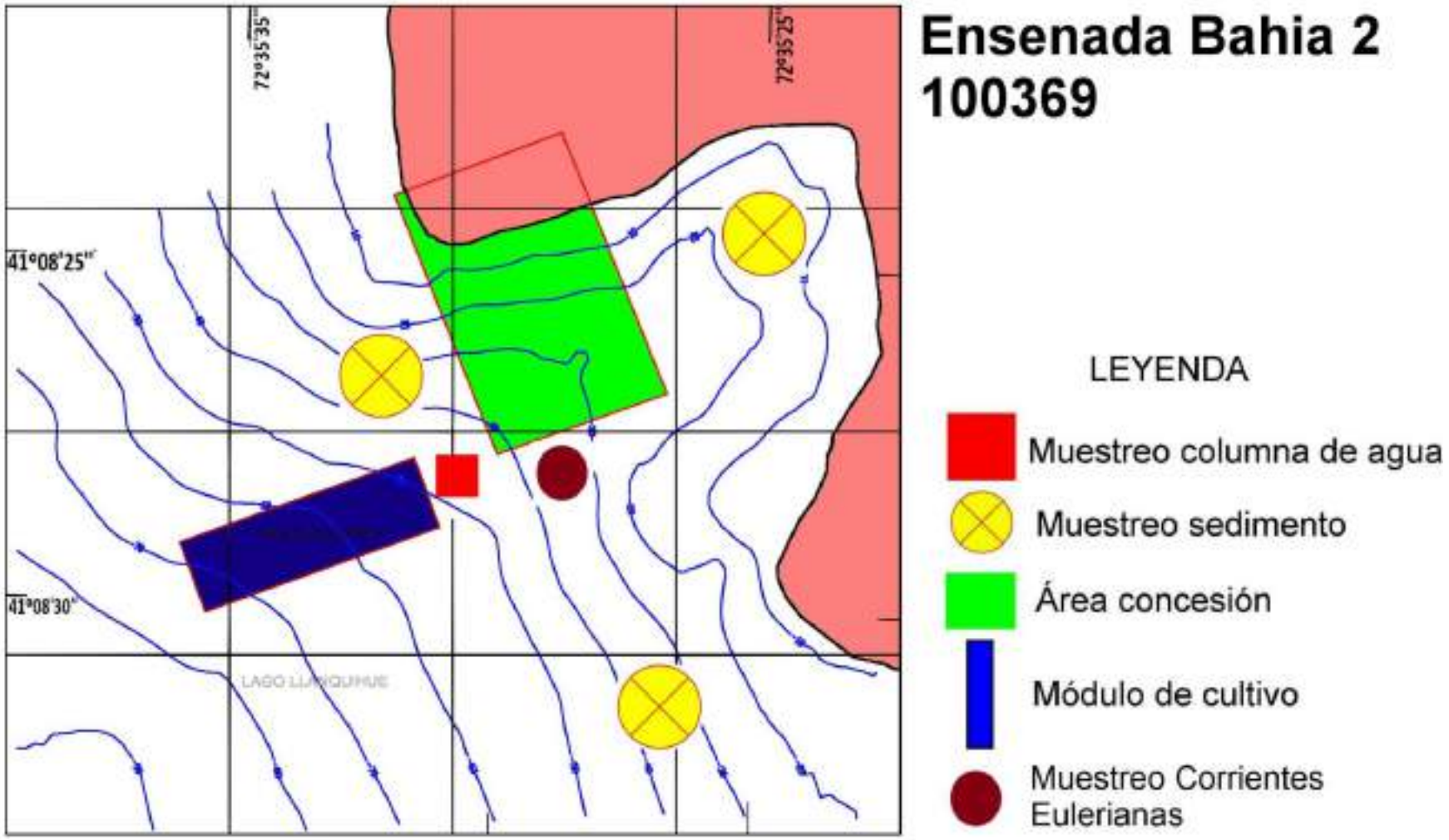
Fig. 13 Ubicación de estaciones de muestreo de columna de agua y del sedimento del Lago Llanquihue



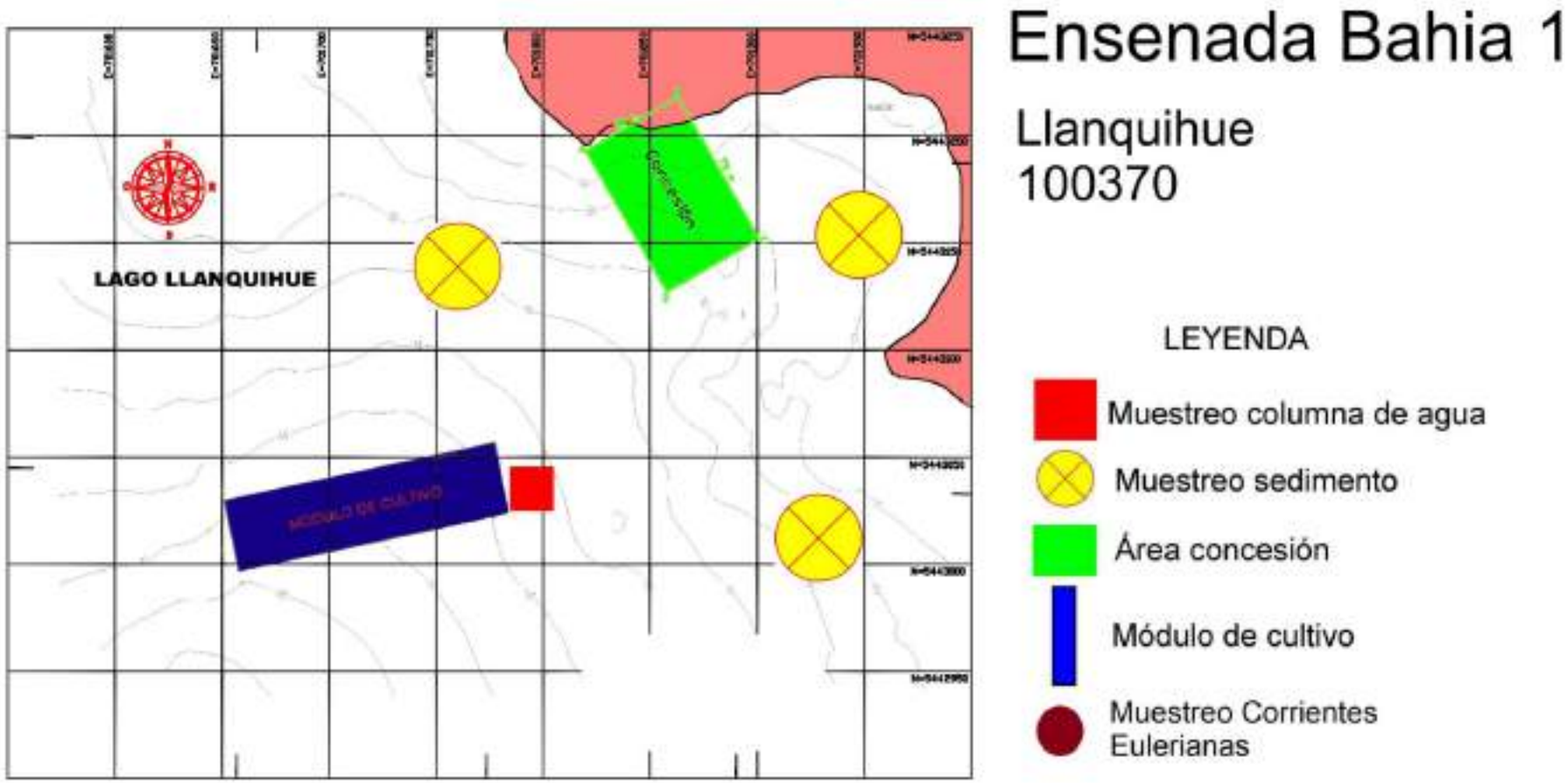
Continuación figura 13



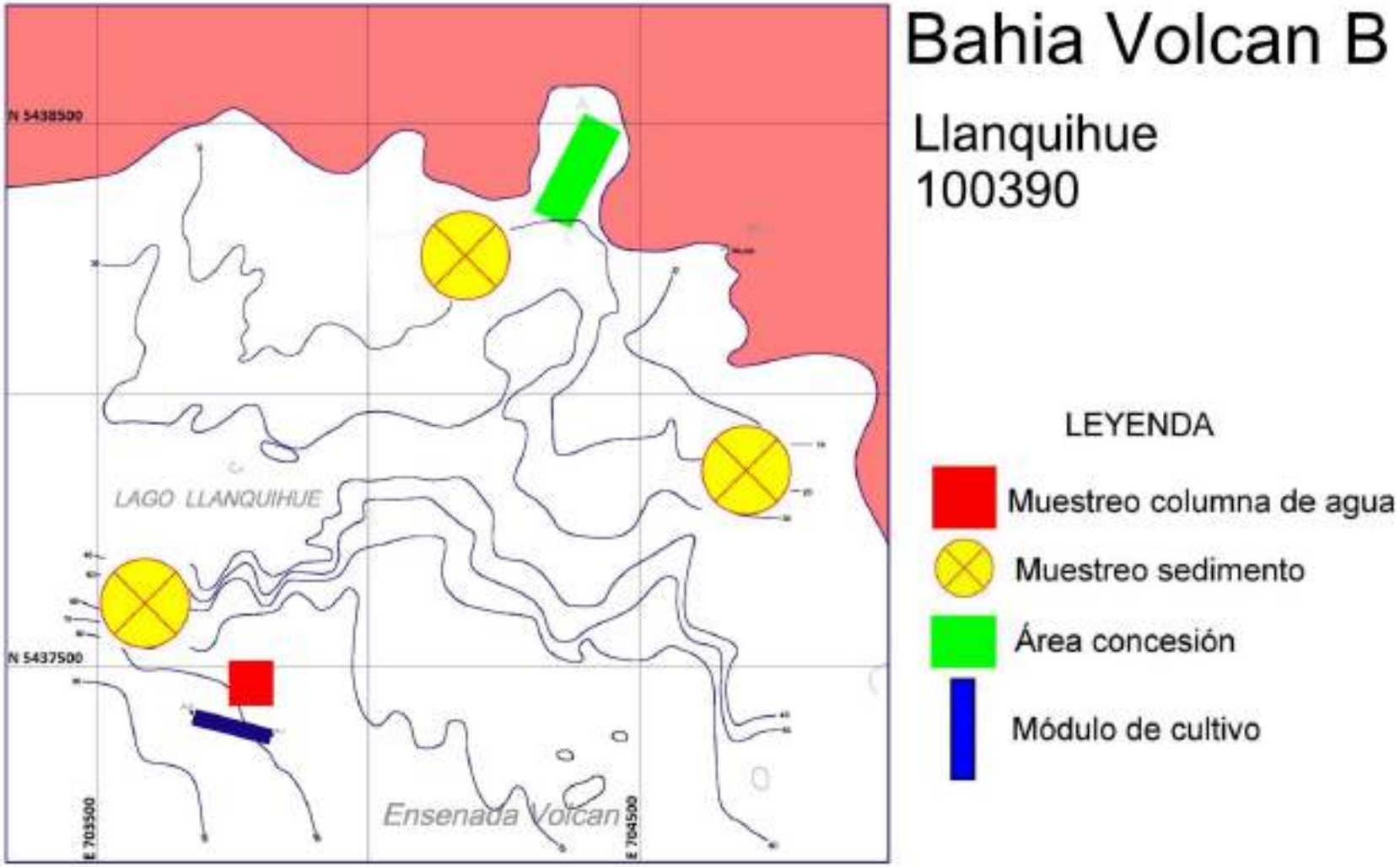
Continuación figura 13



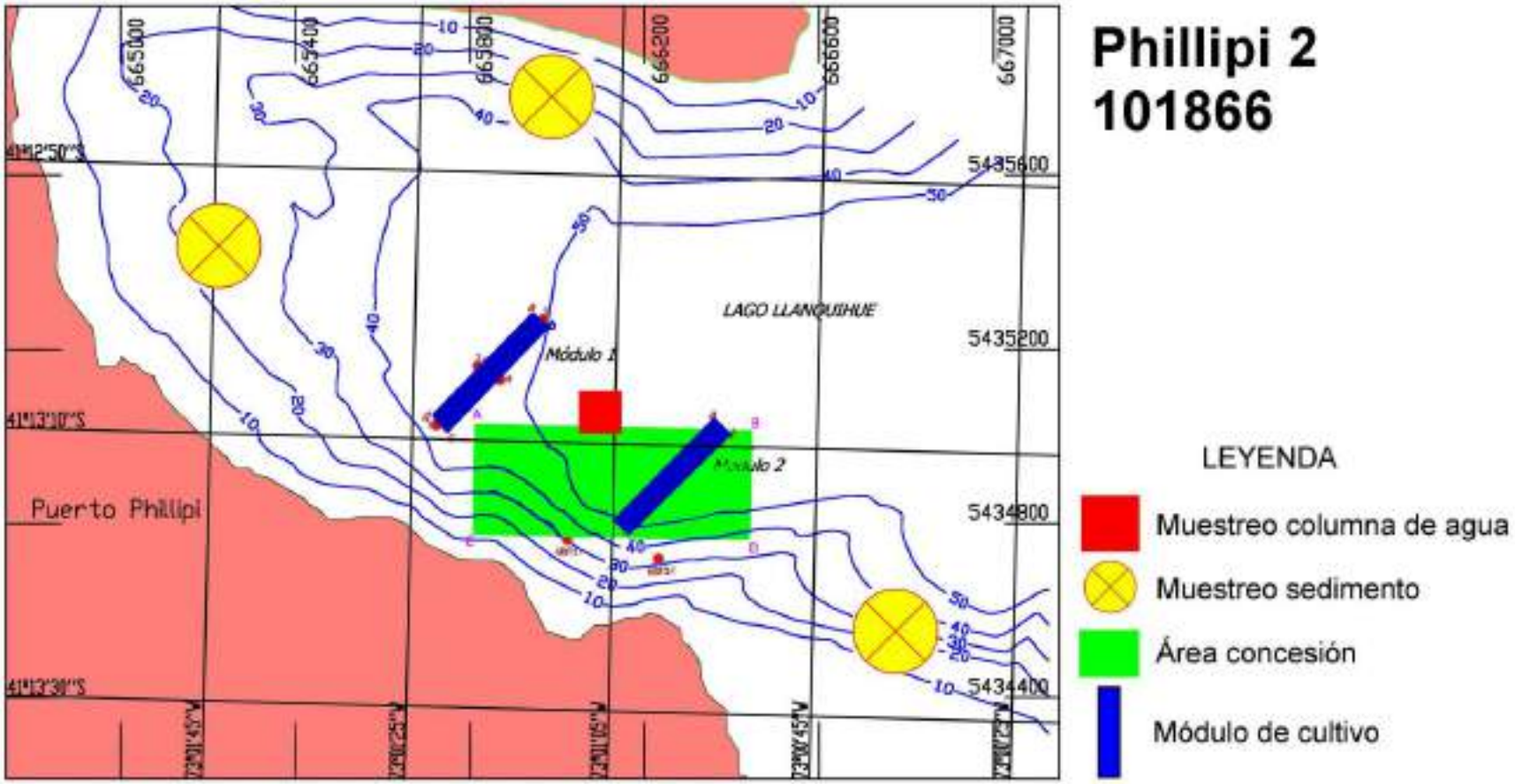
Continuación figura 13



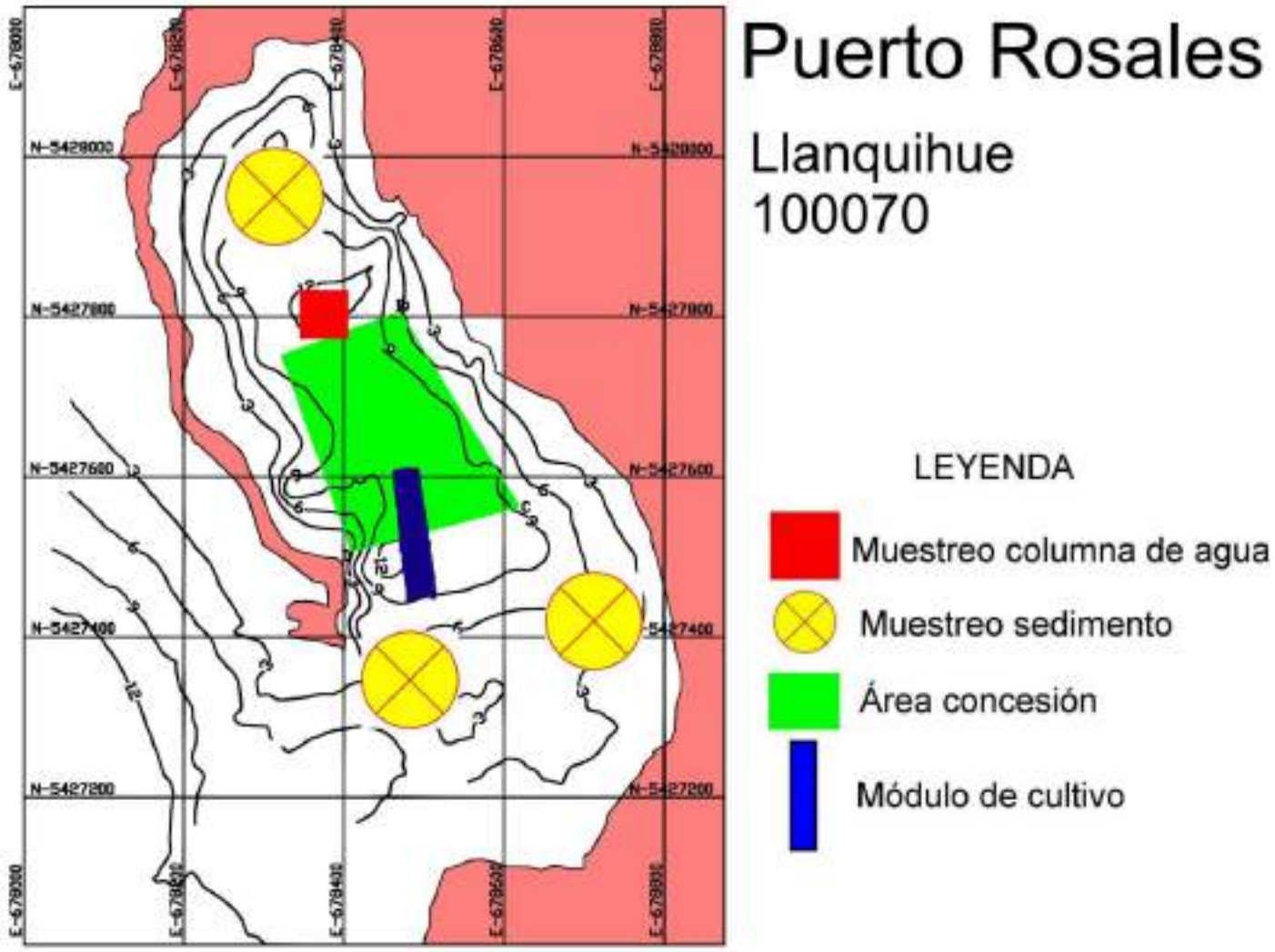
Continuación figura 13



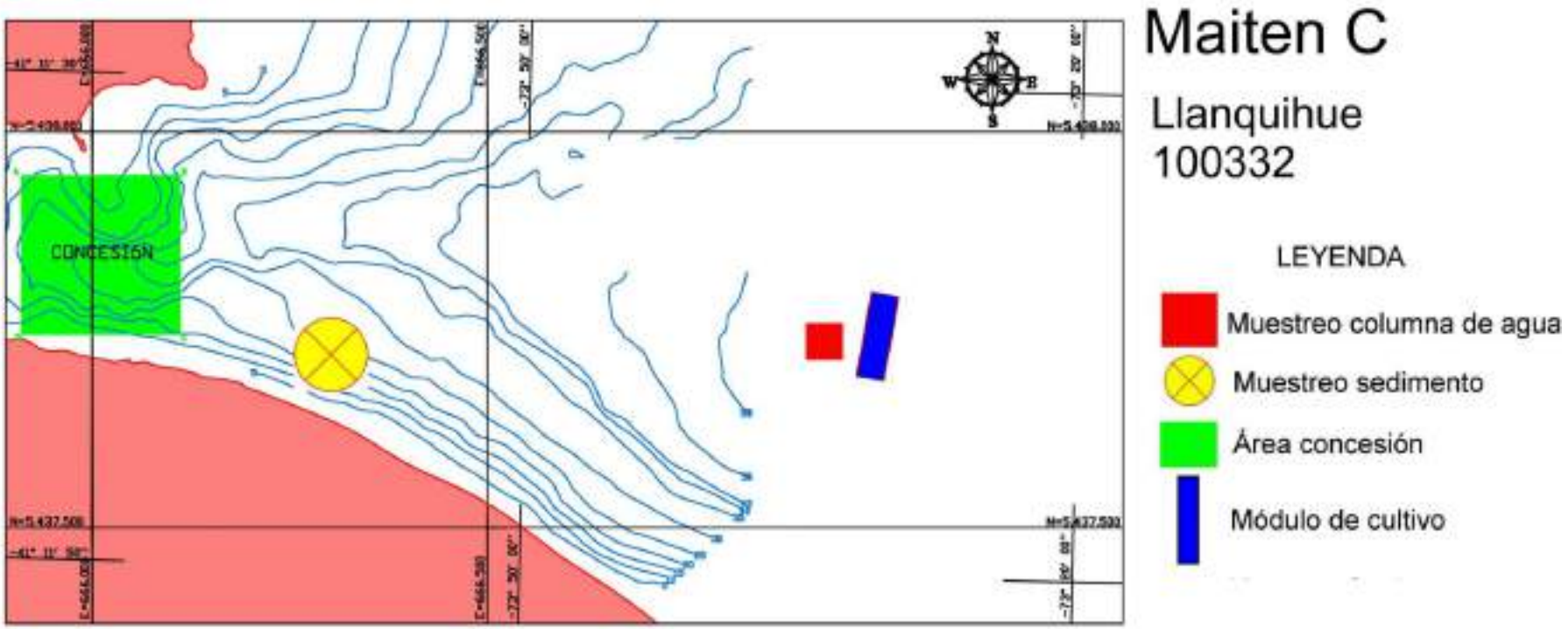
Continuación figura 13



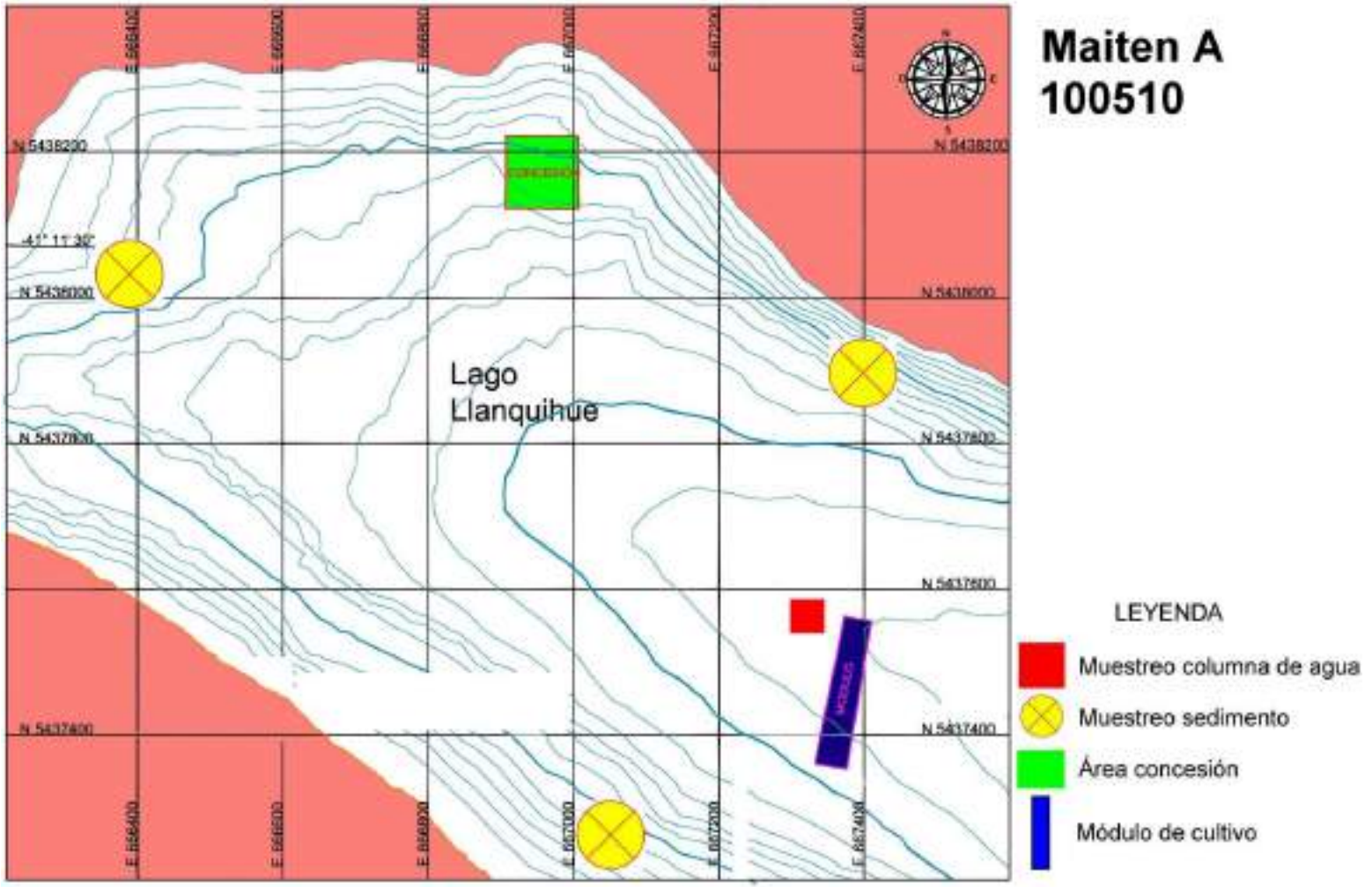
Continuación figura 13



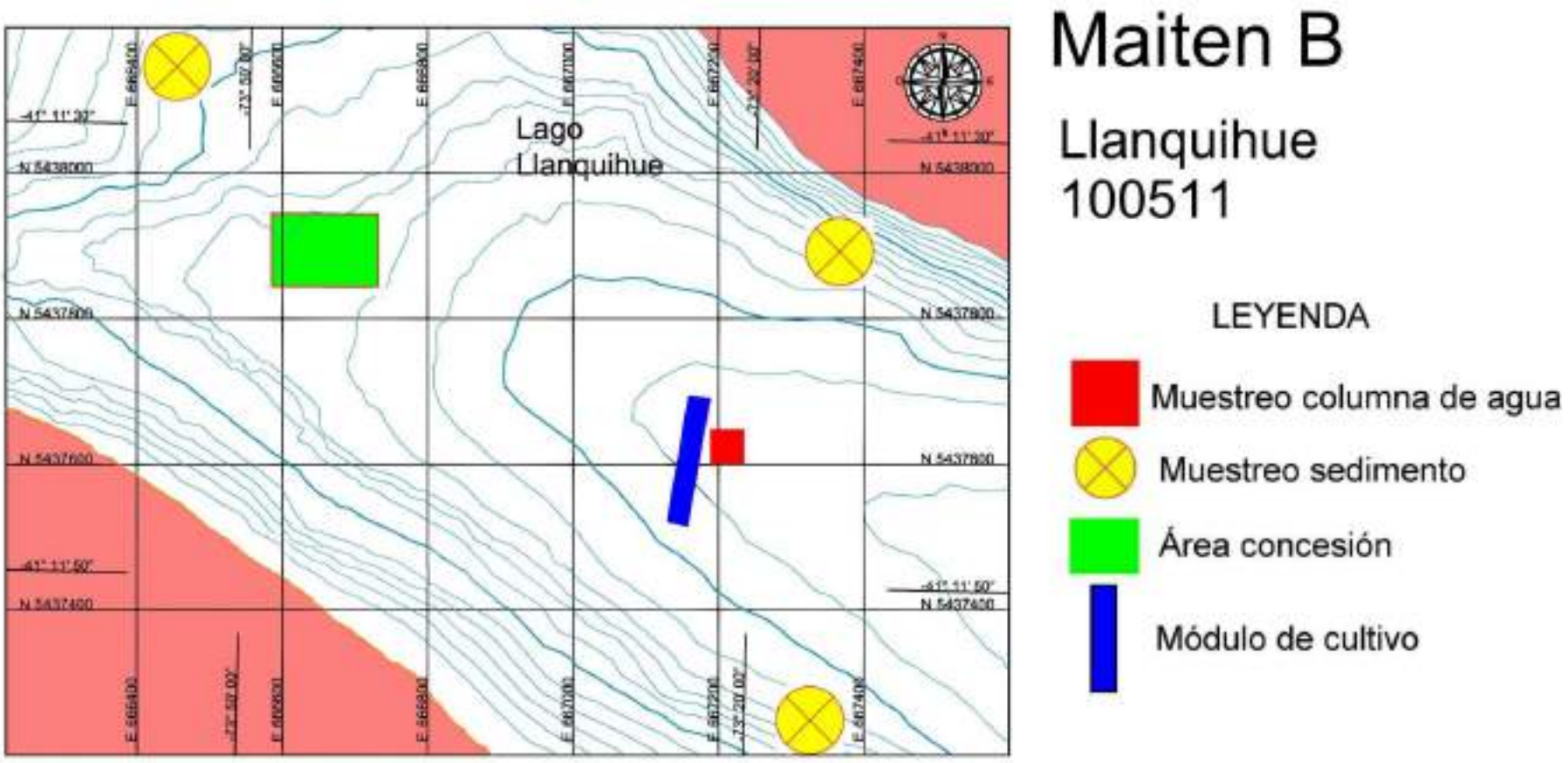
Continuación figura 13



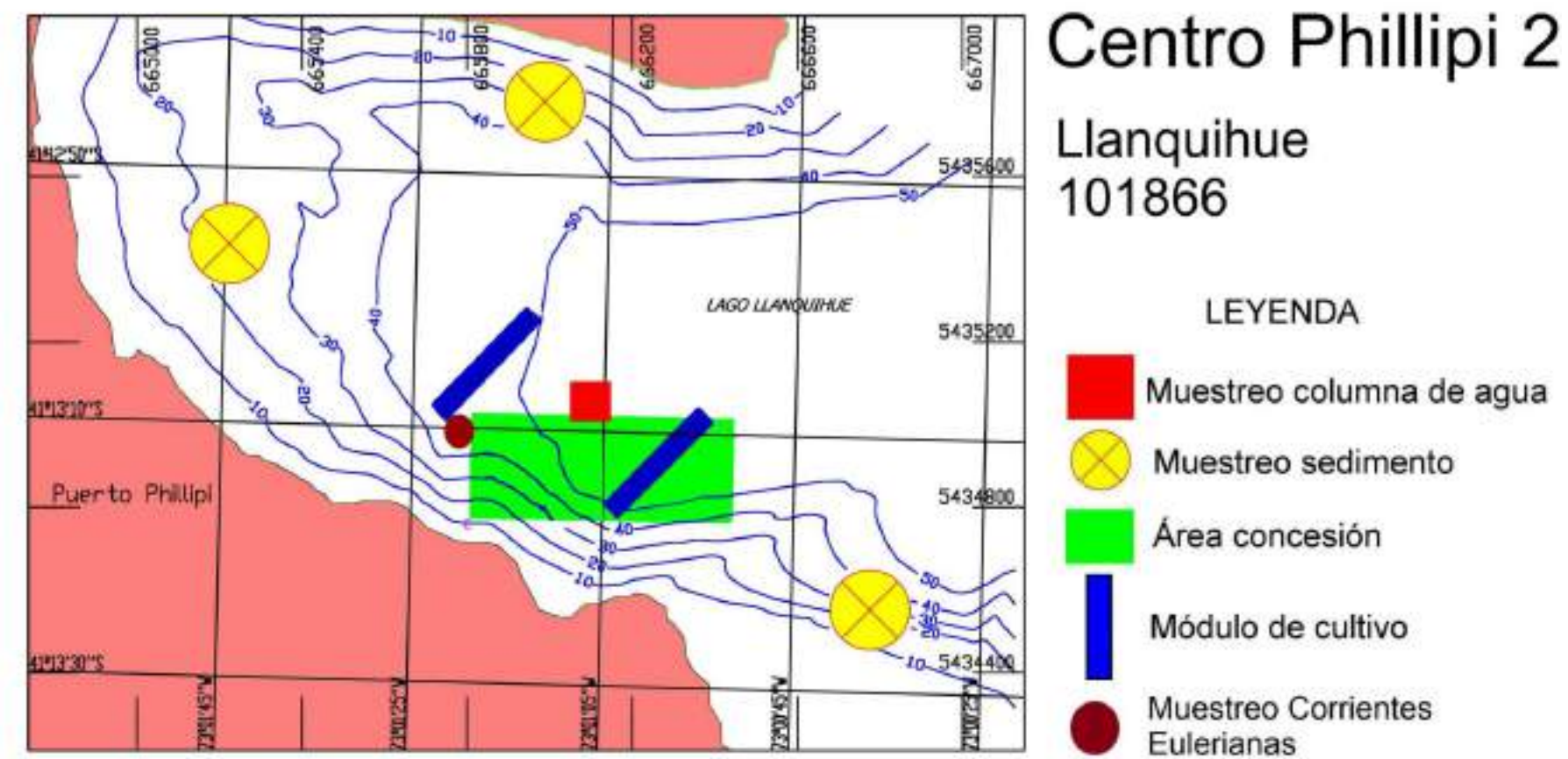
Continuación figura 13



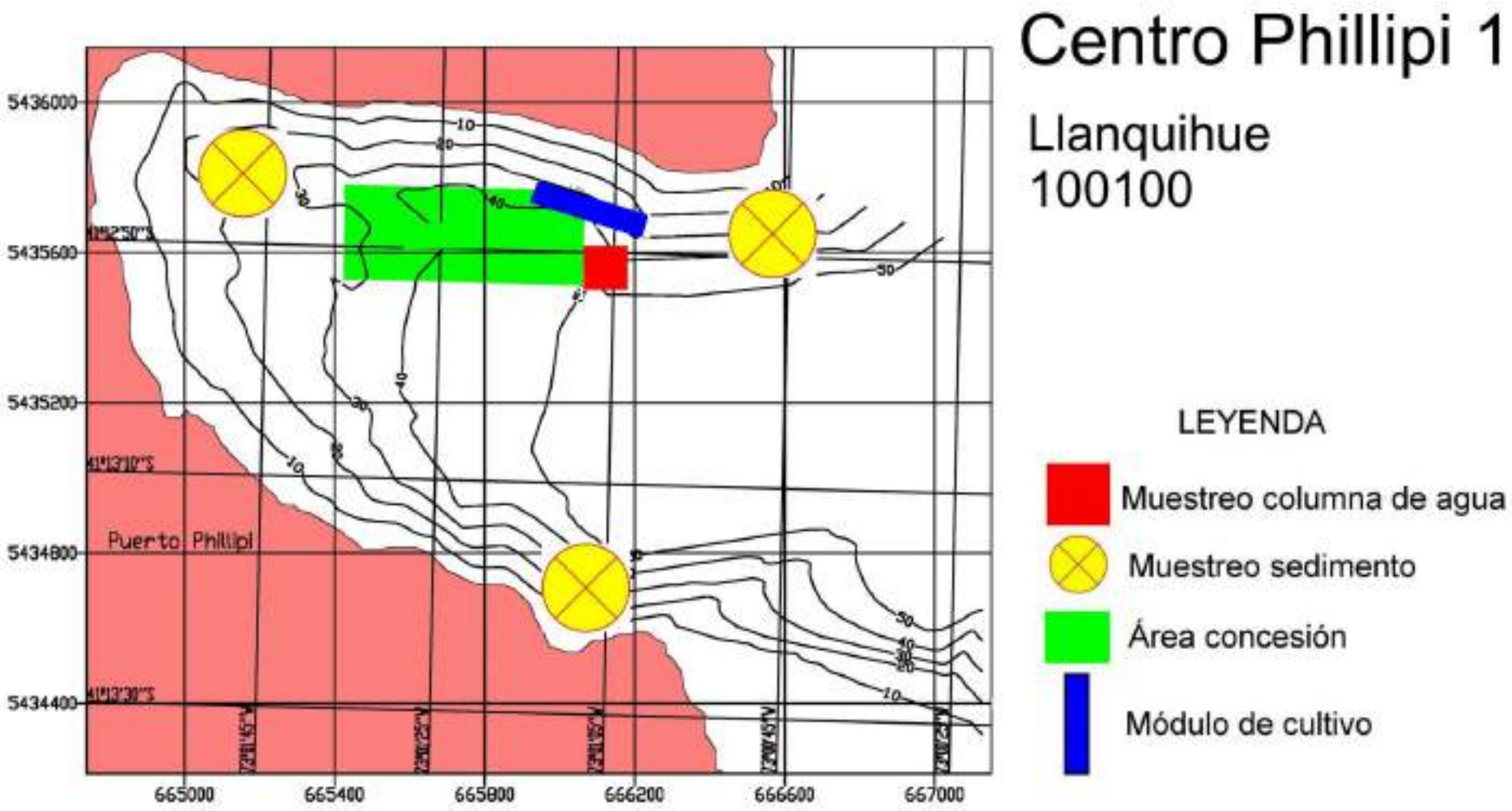
Continuación figura 13



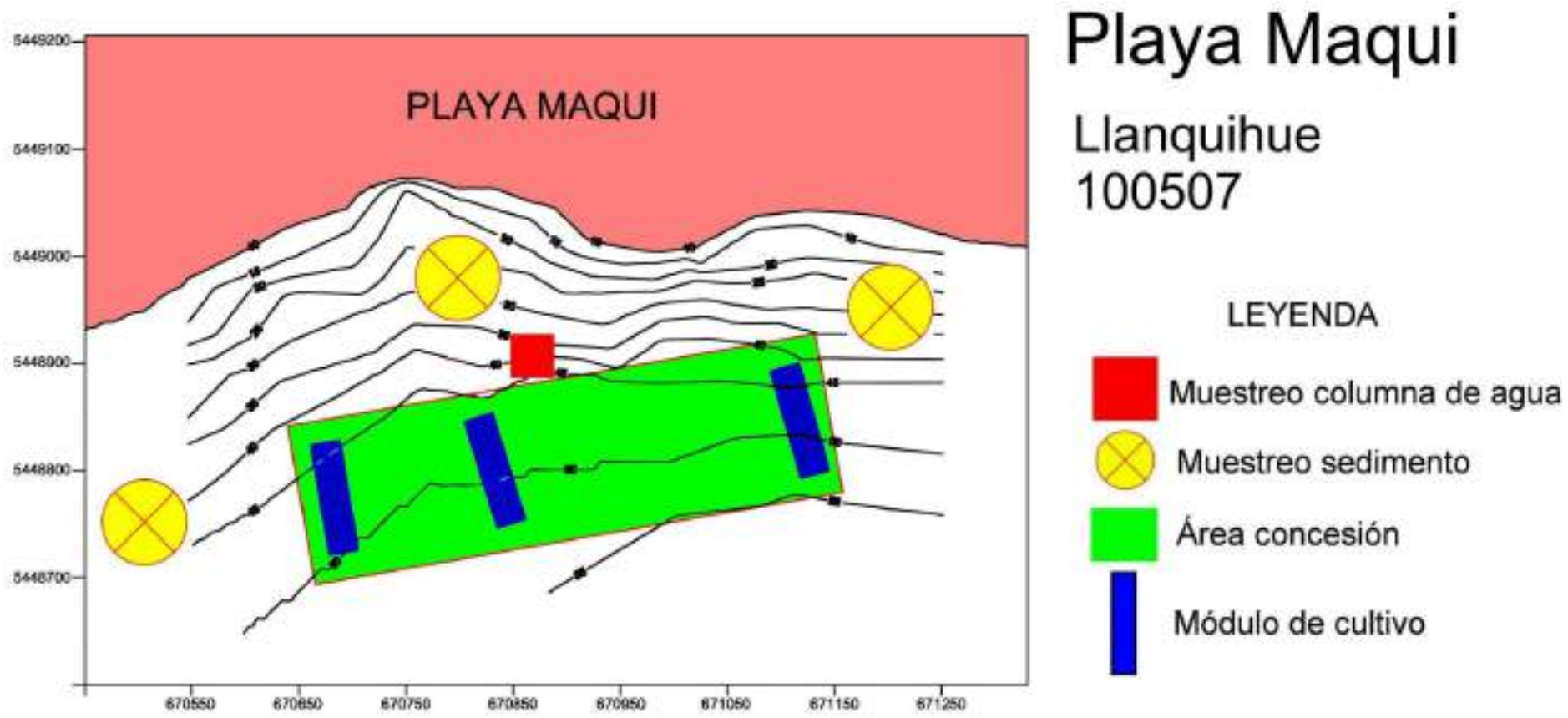
Continuación figura 13



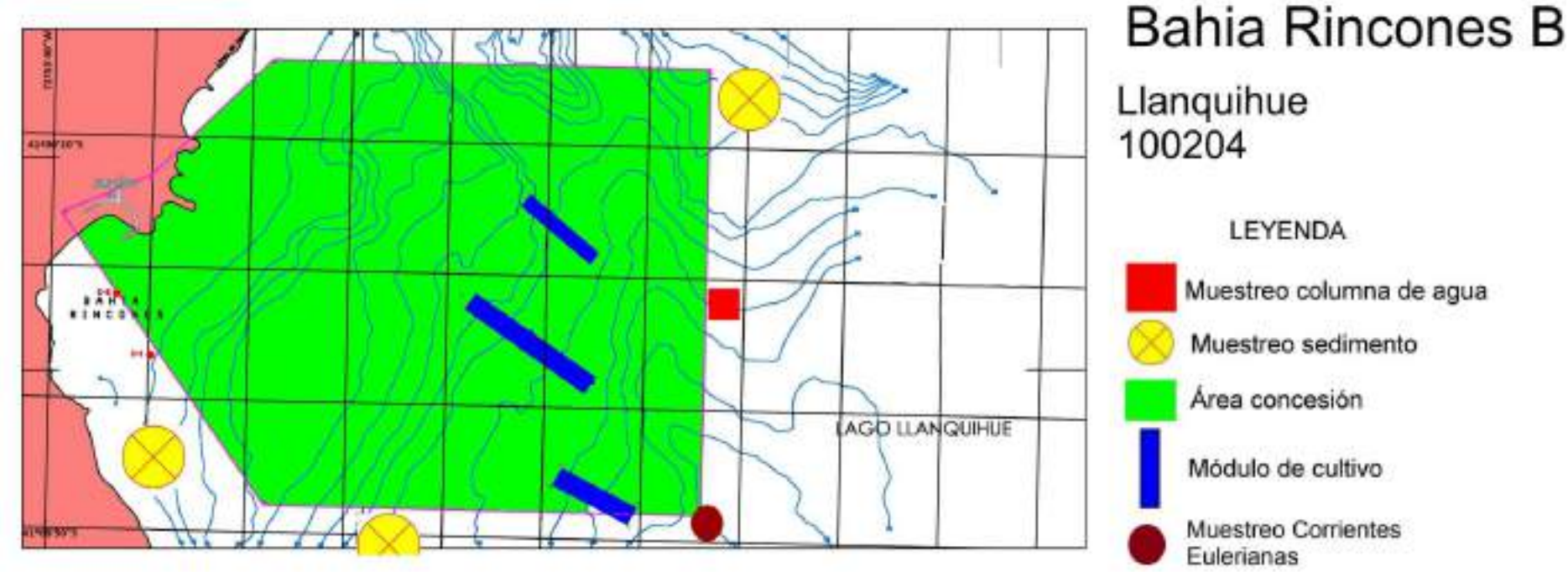
Continuación figura 13



Continuación figura 13



Continuación figura 13



Continuación figura 13

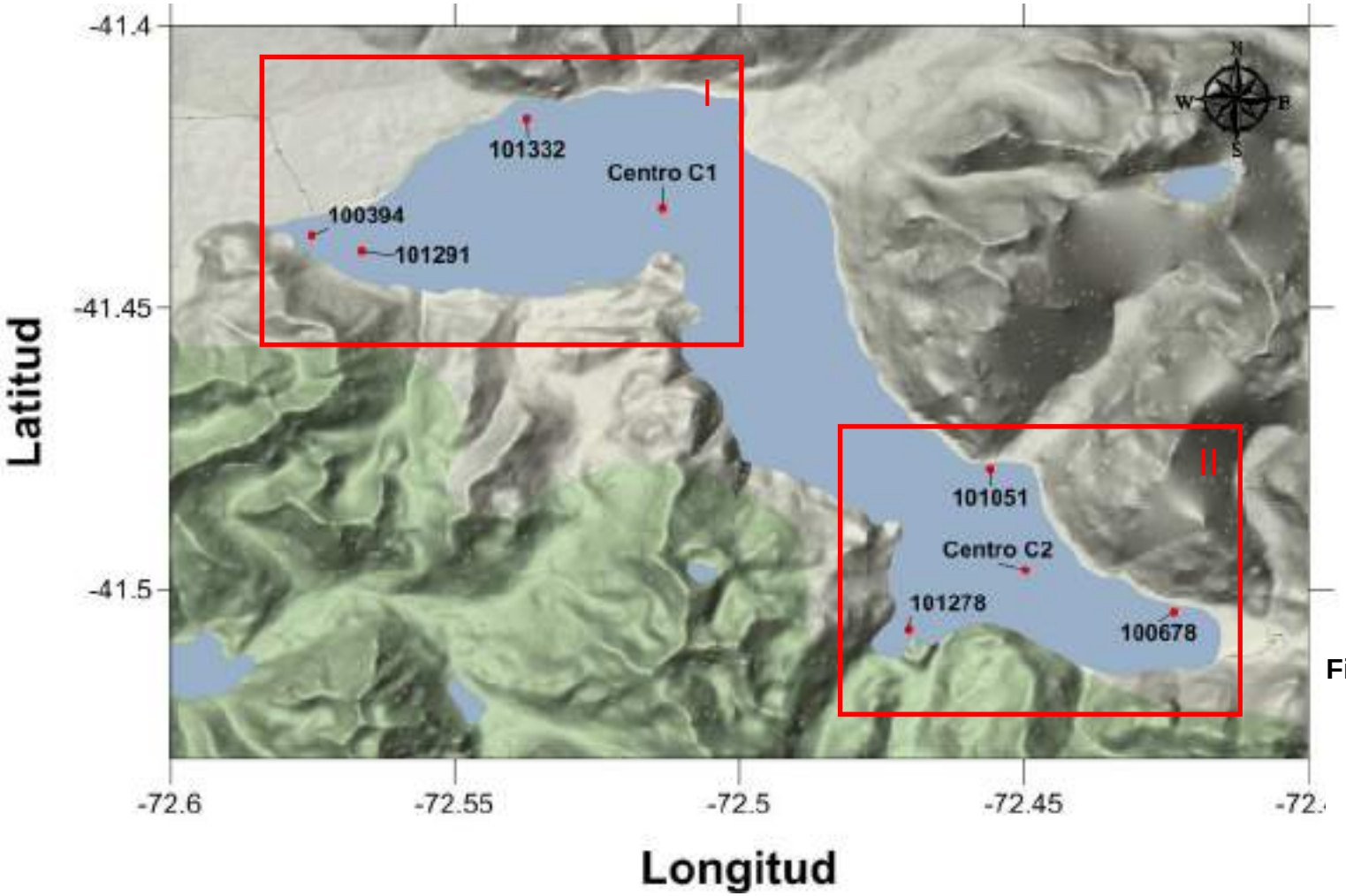


Fig. 14 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Chapo.

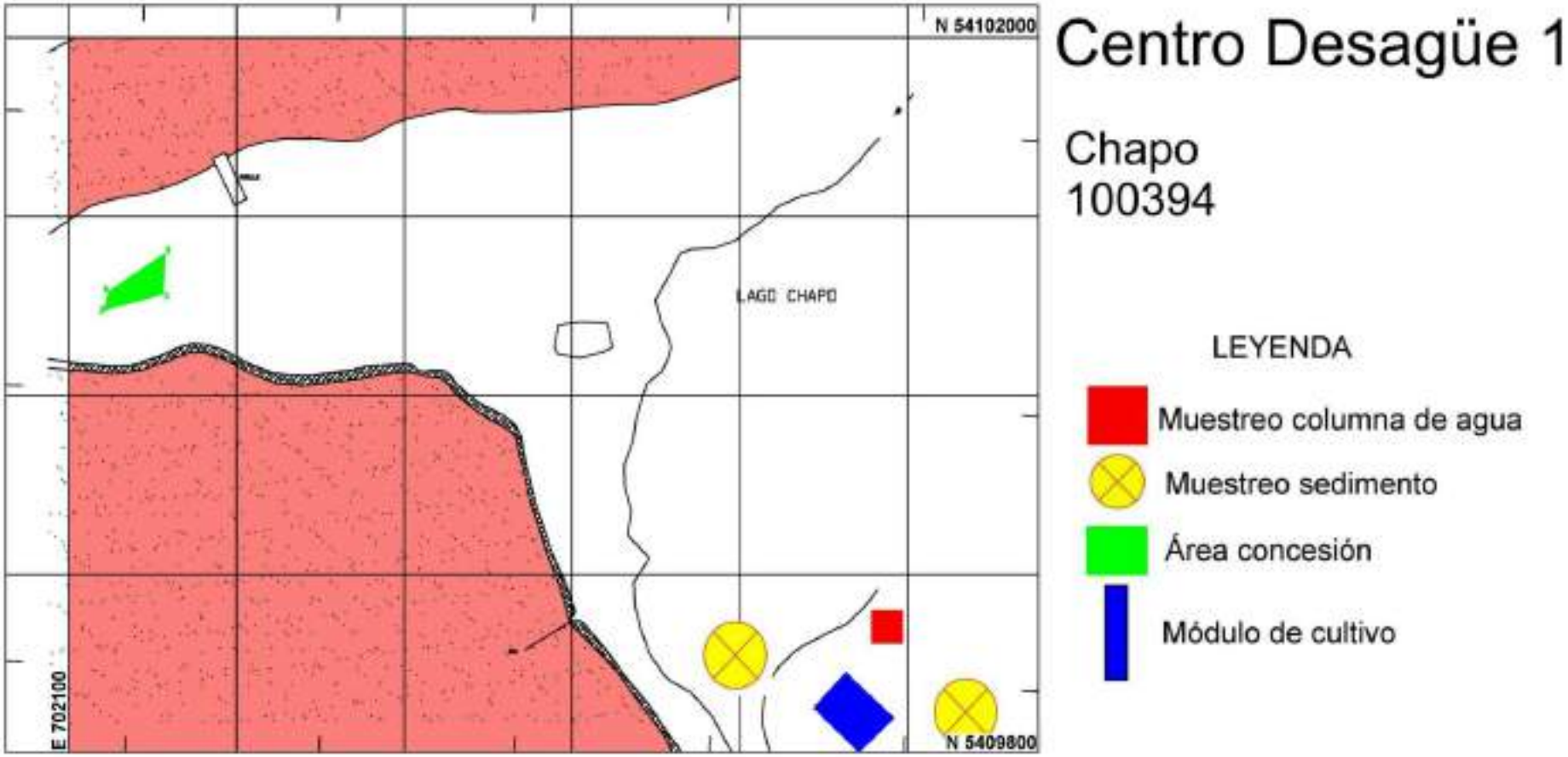
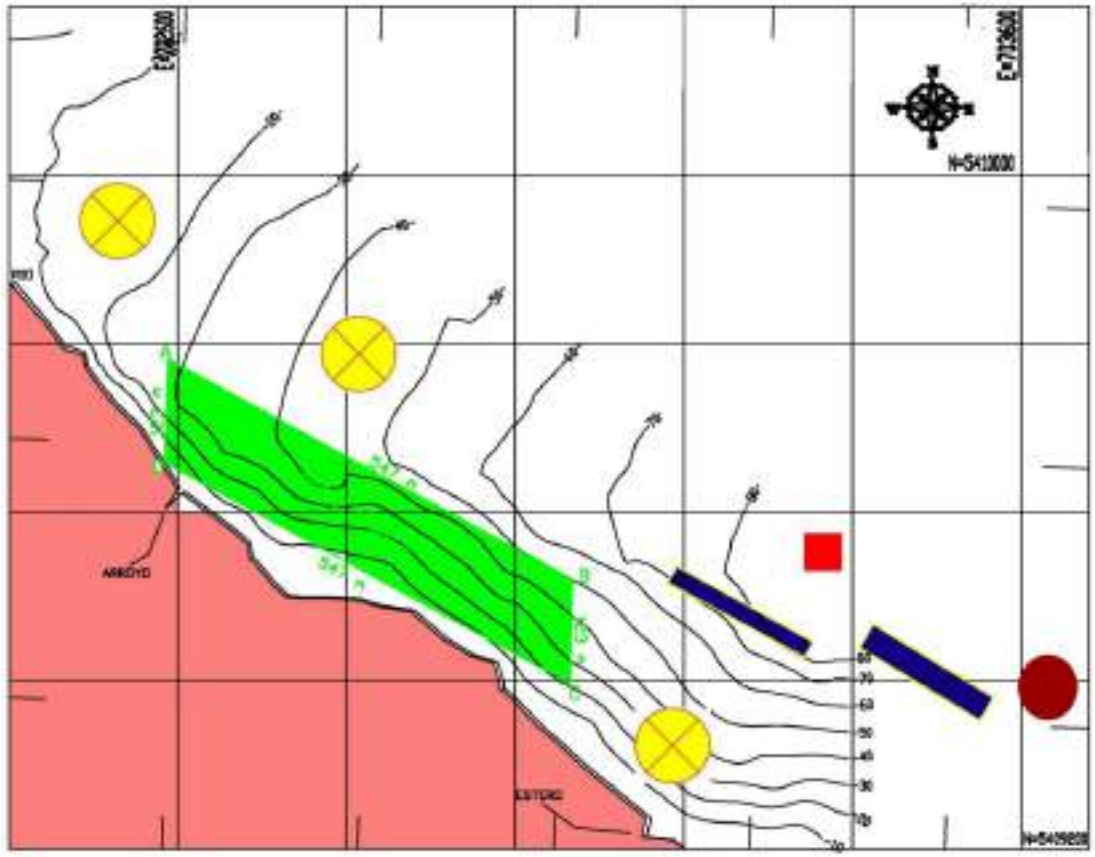


Fig. 15 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Chapo.



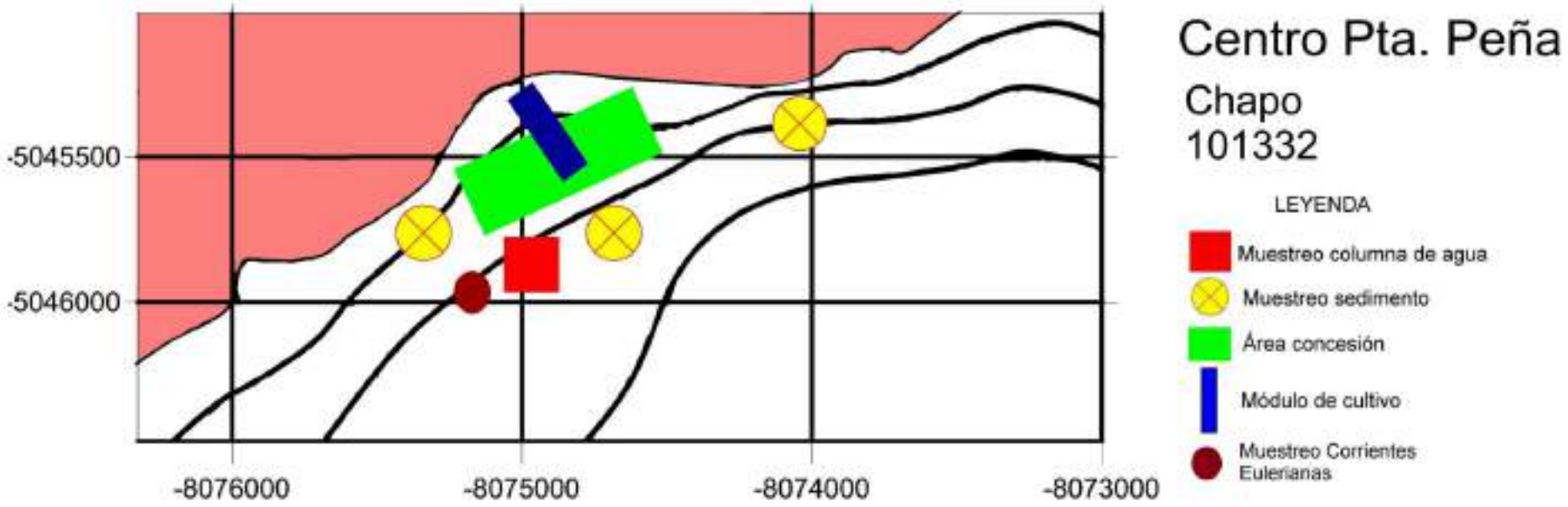
Centro Desagüe 2

Chapo
101291

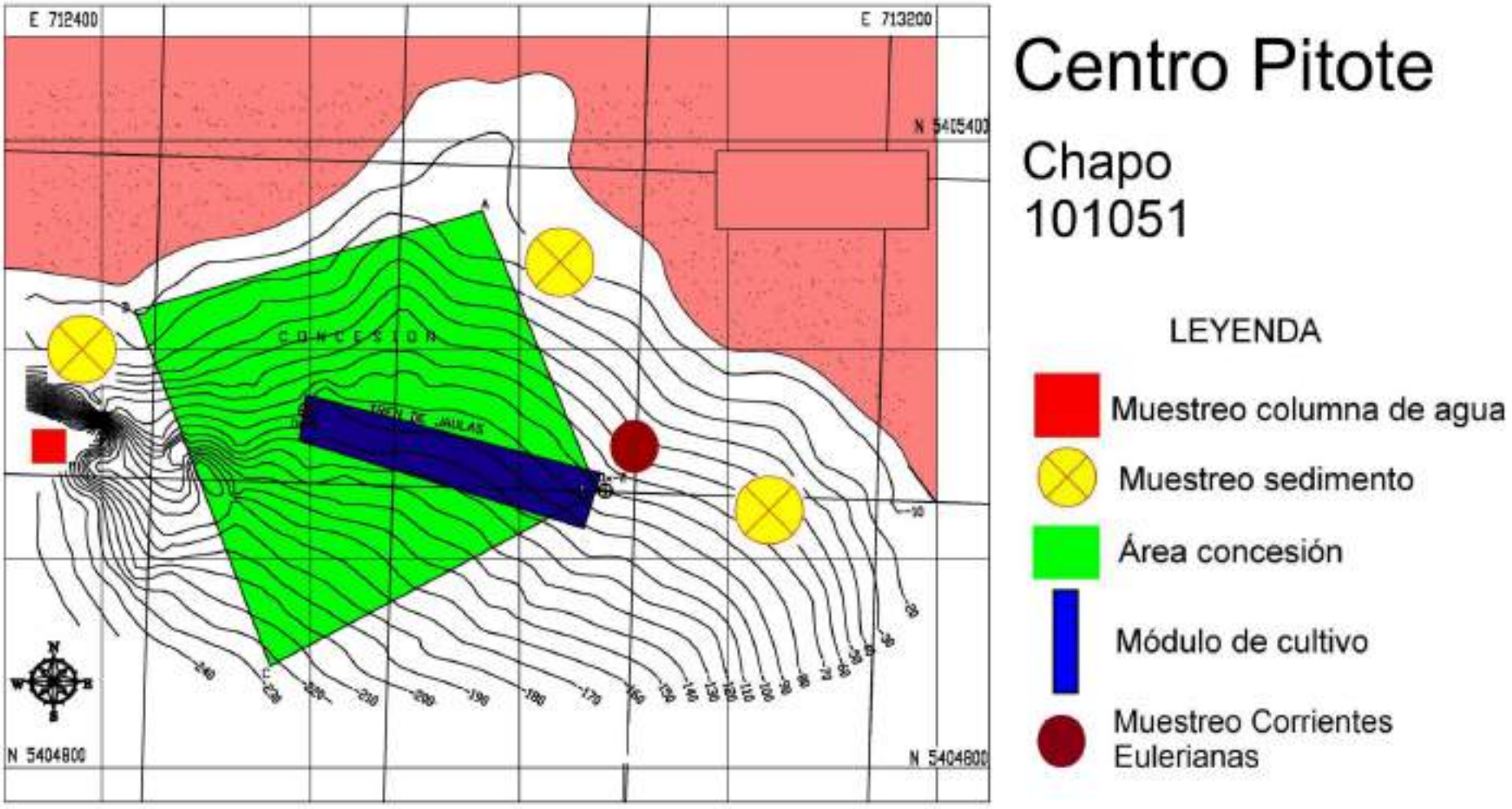
LEYENDA

- Muestreo columna de agua
- Muestreo sedimento
- Área concesión
- Módulo de cultivo
- Muestreo Corrientes Eulerianas

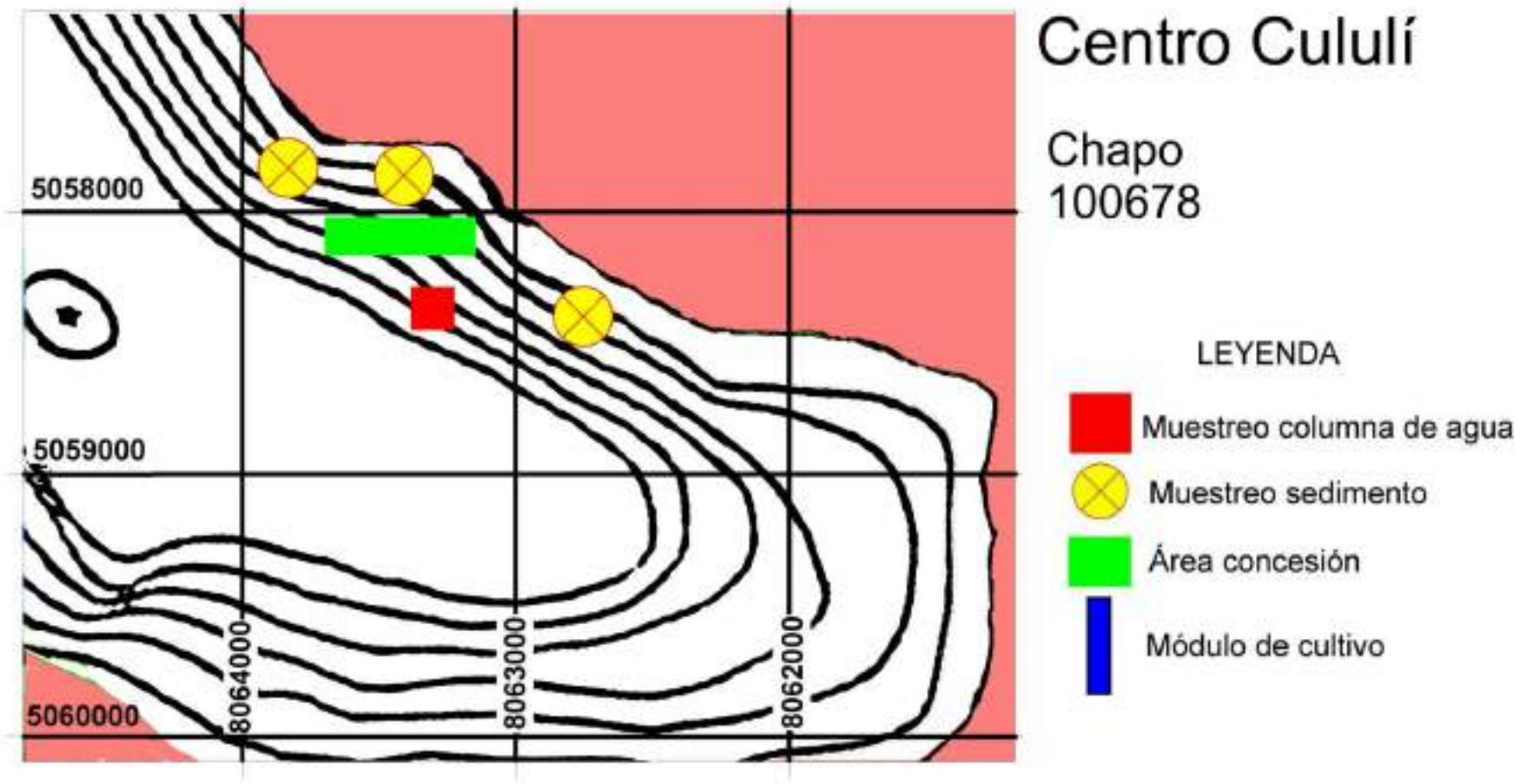
Continuación figura 15



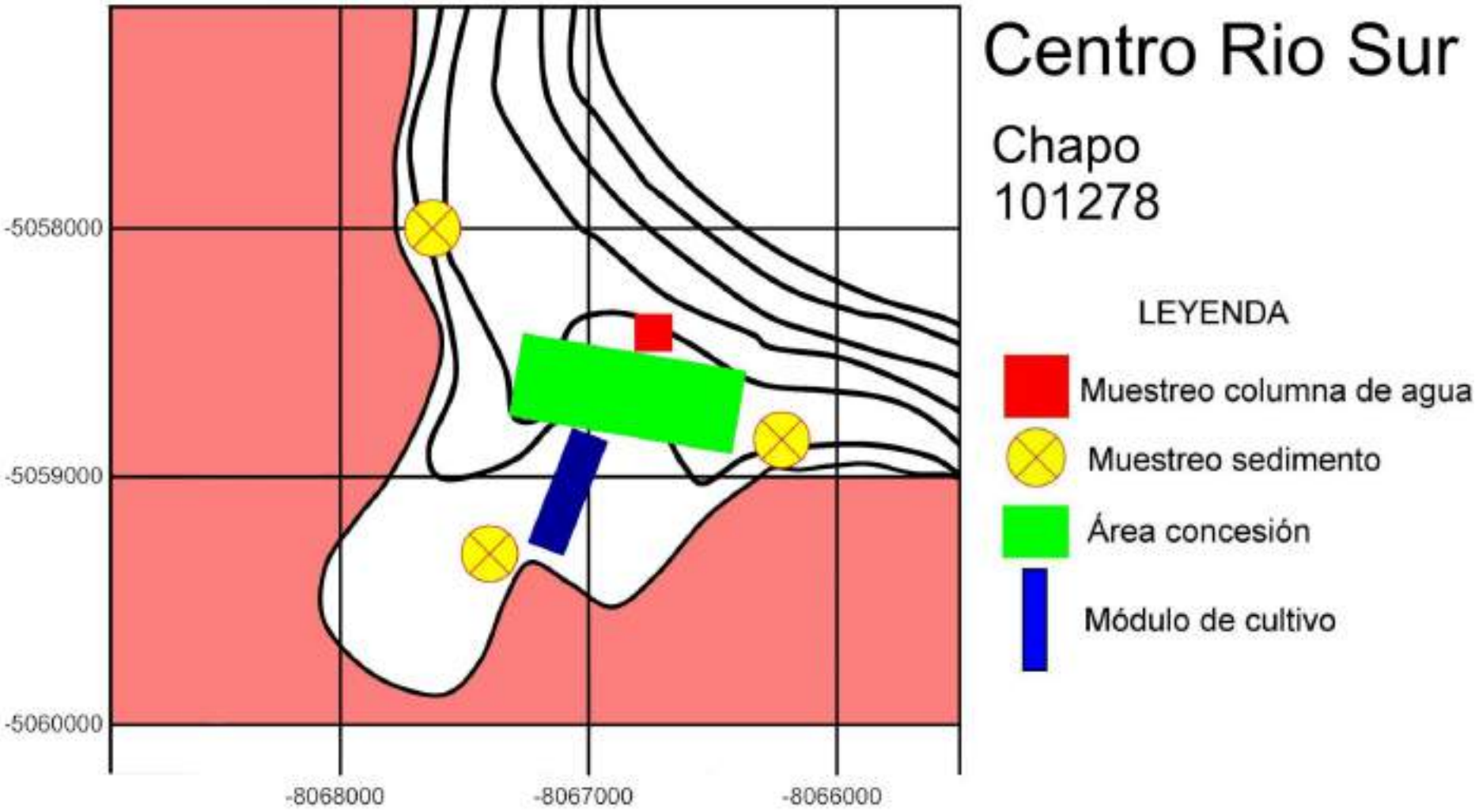
Continuación figura 15



Continuación figura 15



Continuación figura 15



Continuación figura 15

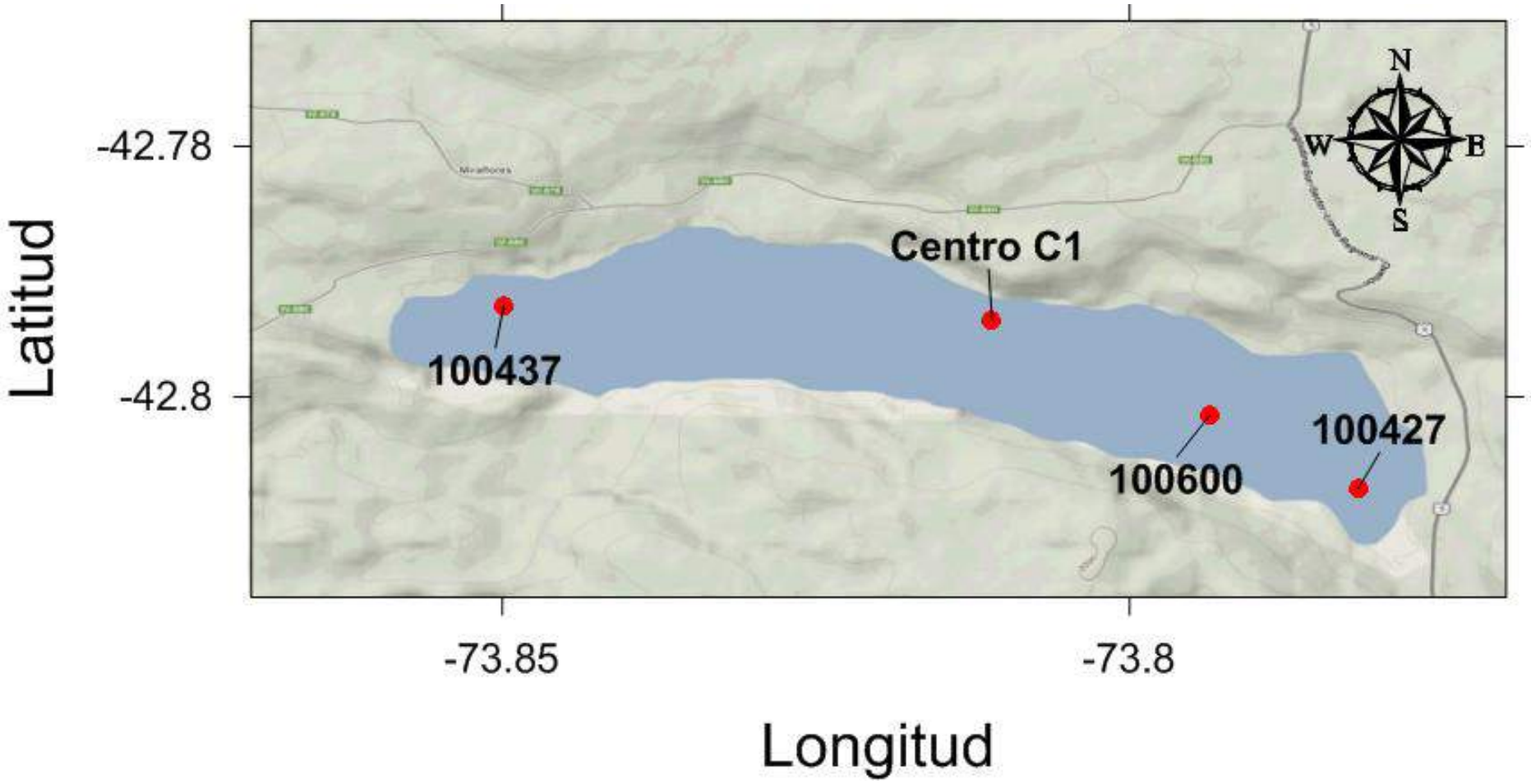


Fig. 16 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Natri.

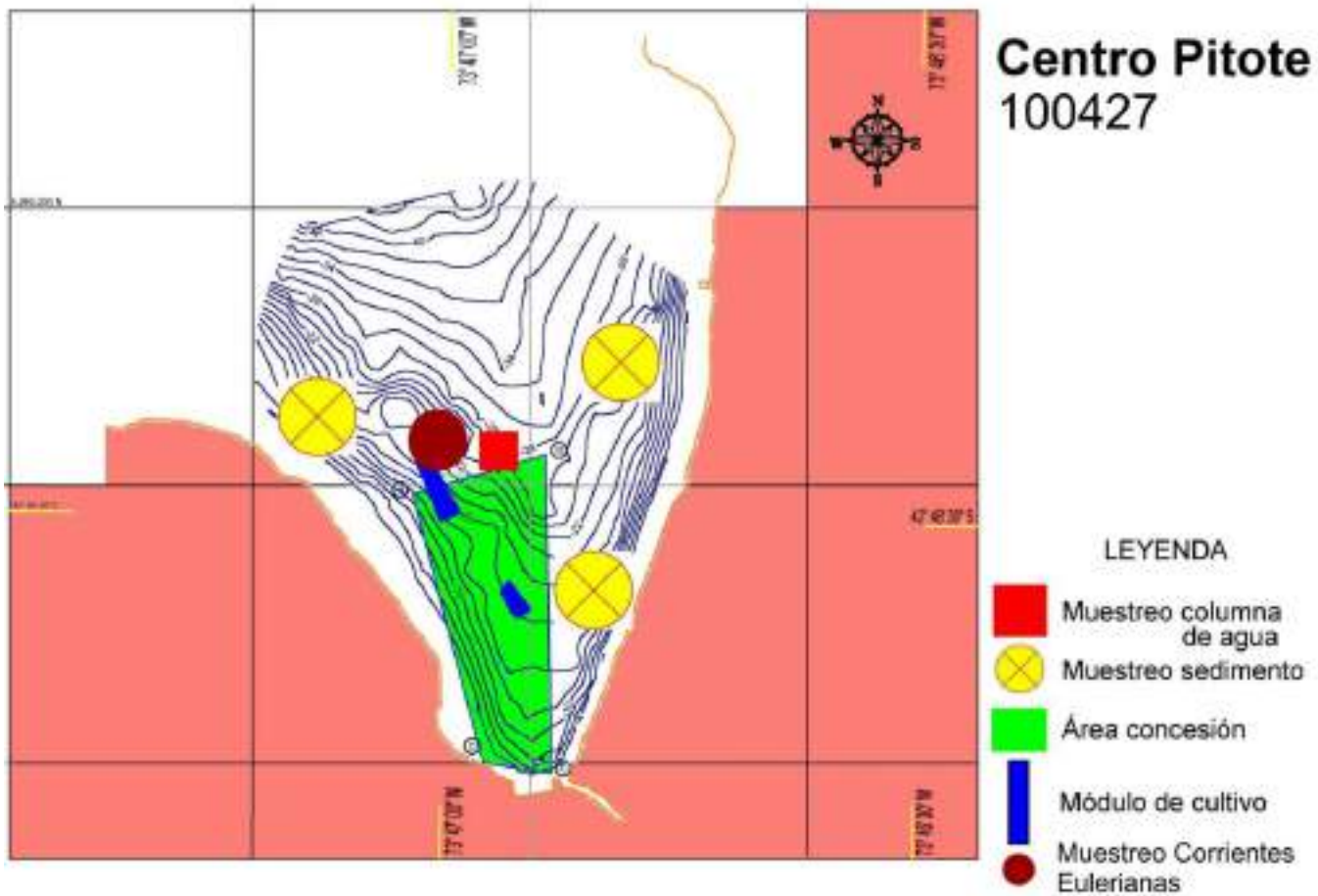
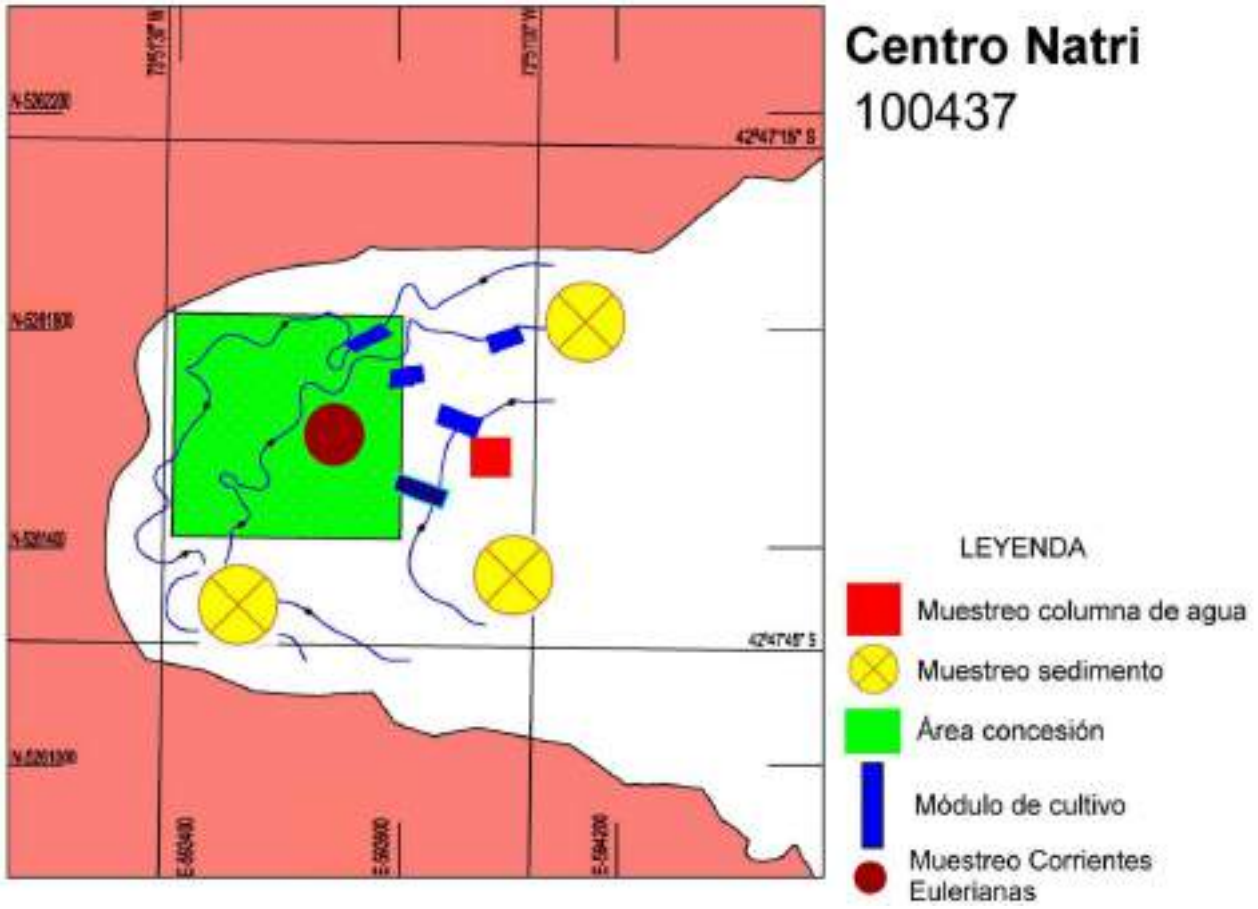
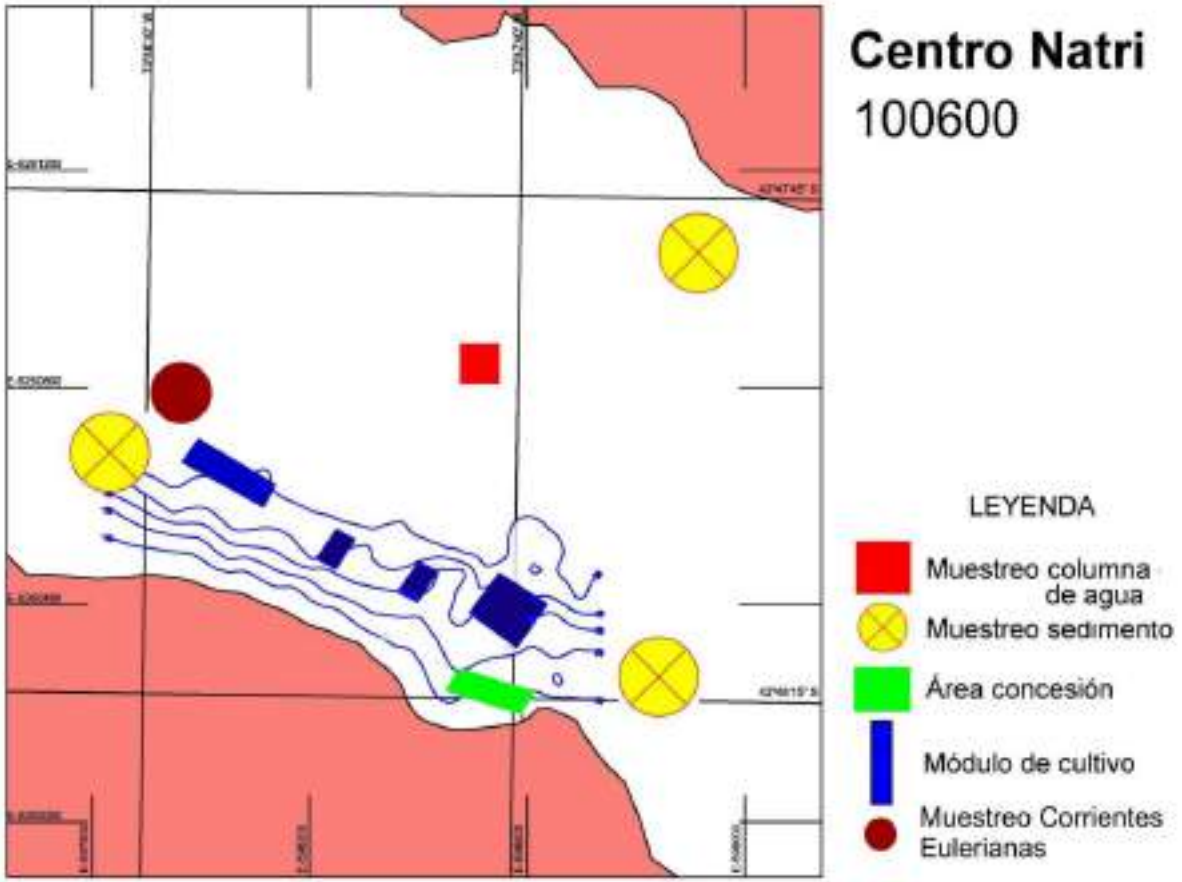


Fig. 17 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Natri.



Continuación figura 17



Continuación figura 17

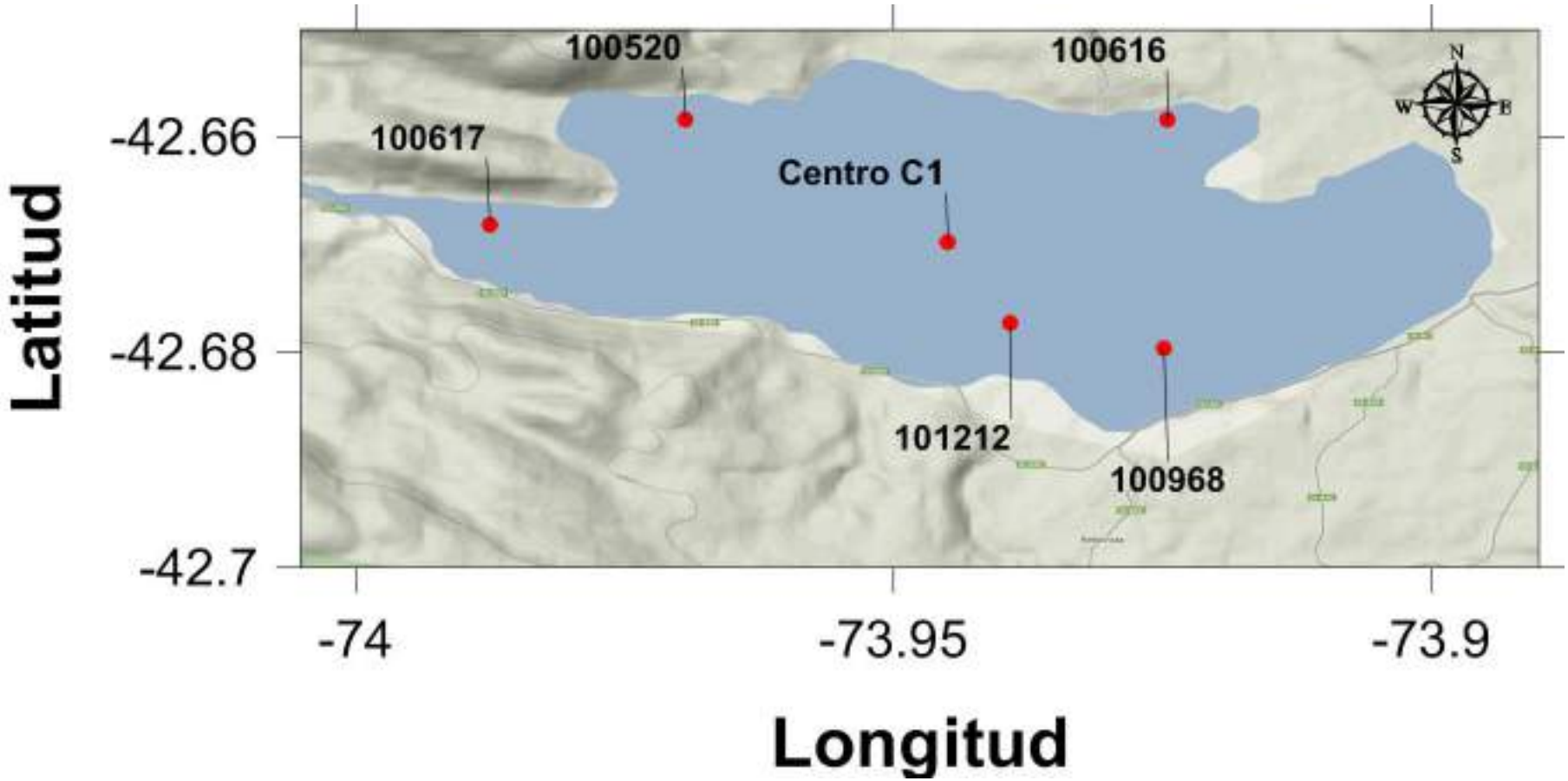


Fig. 18 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Huillinco.

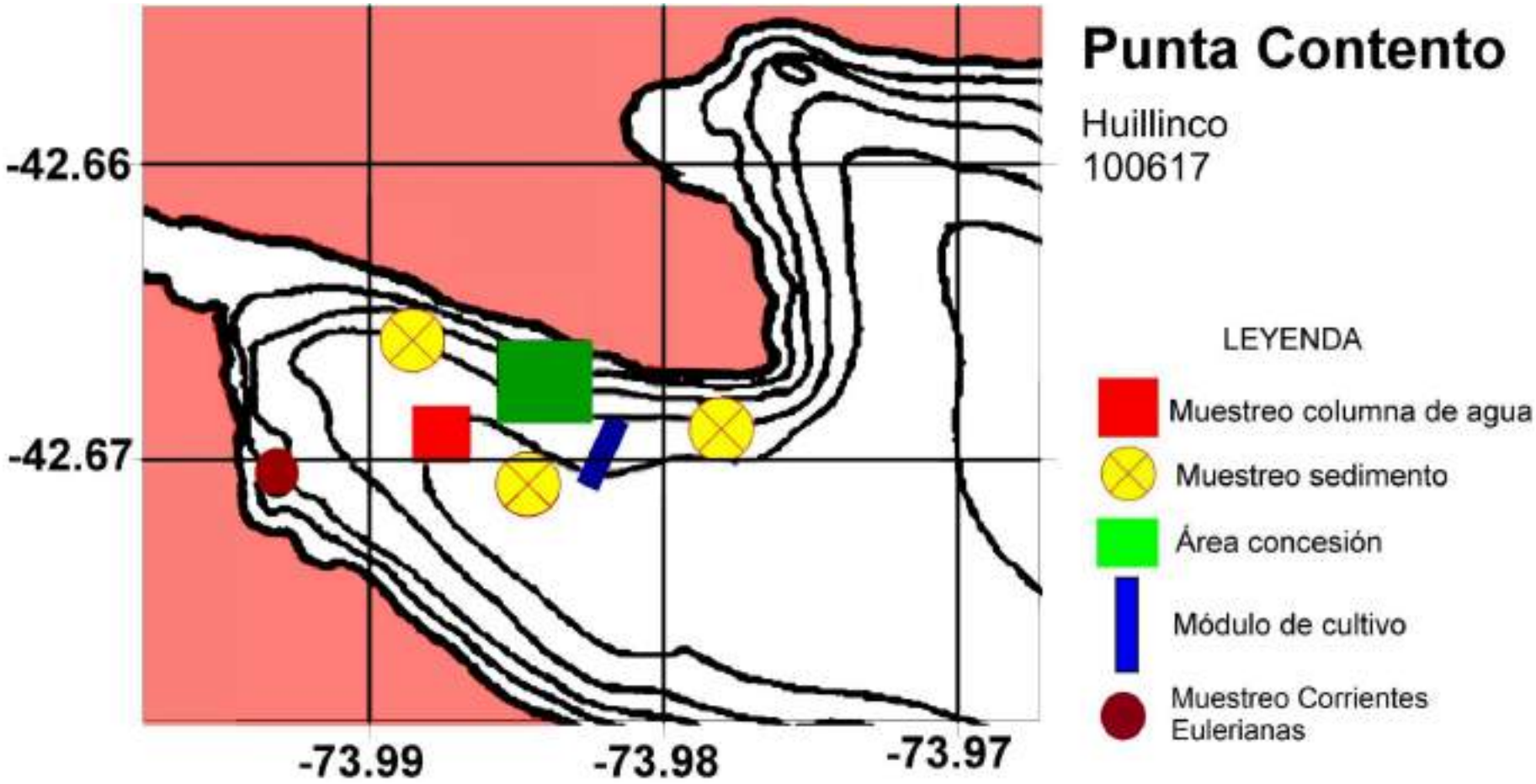
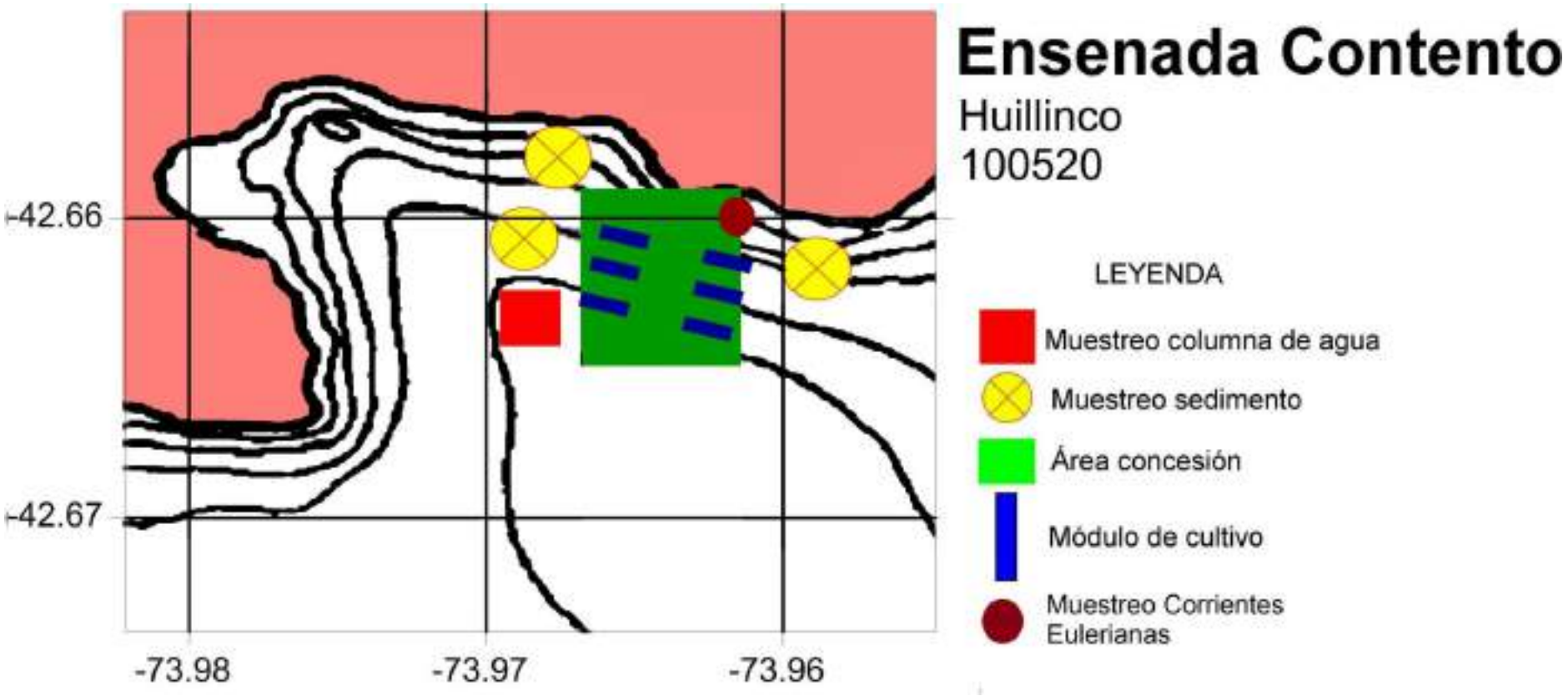
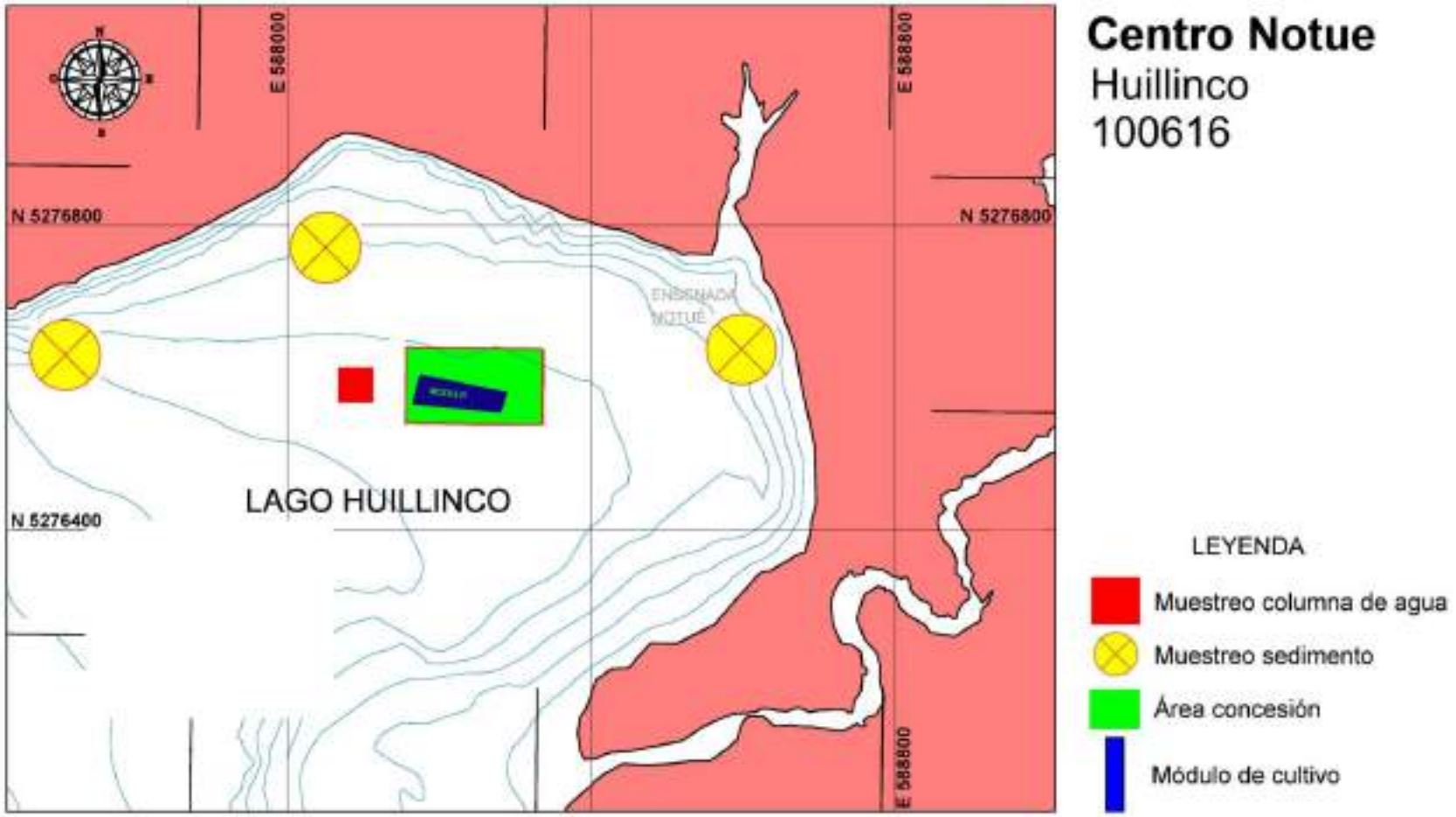


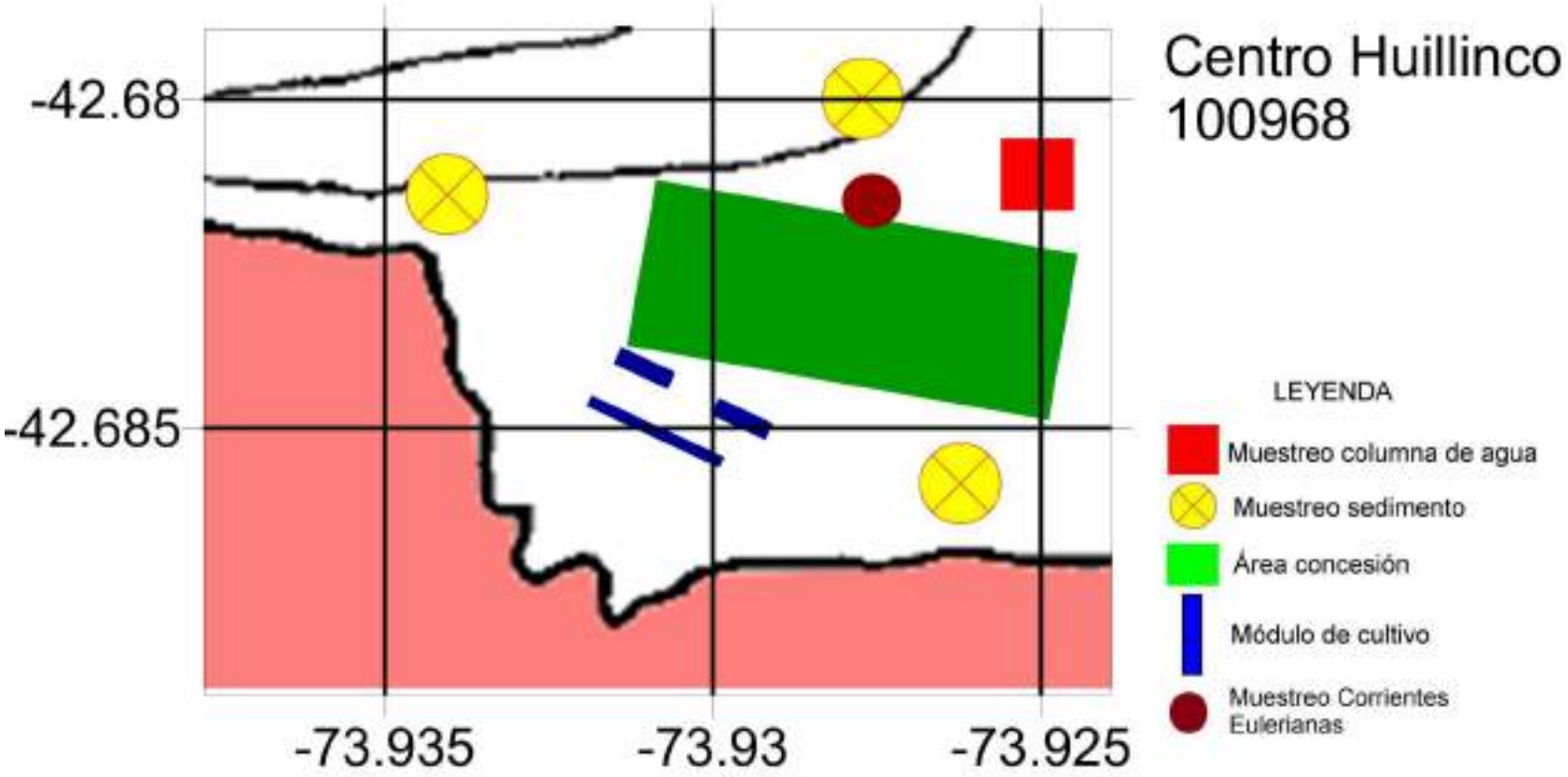
Fig. 19 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Huillinco.



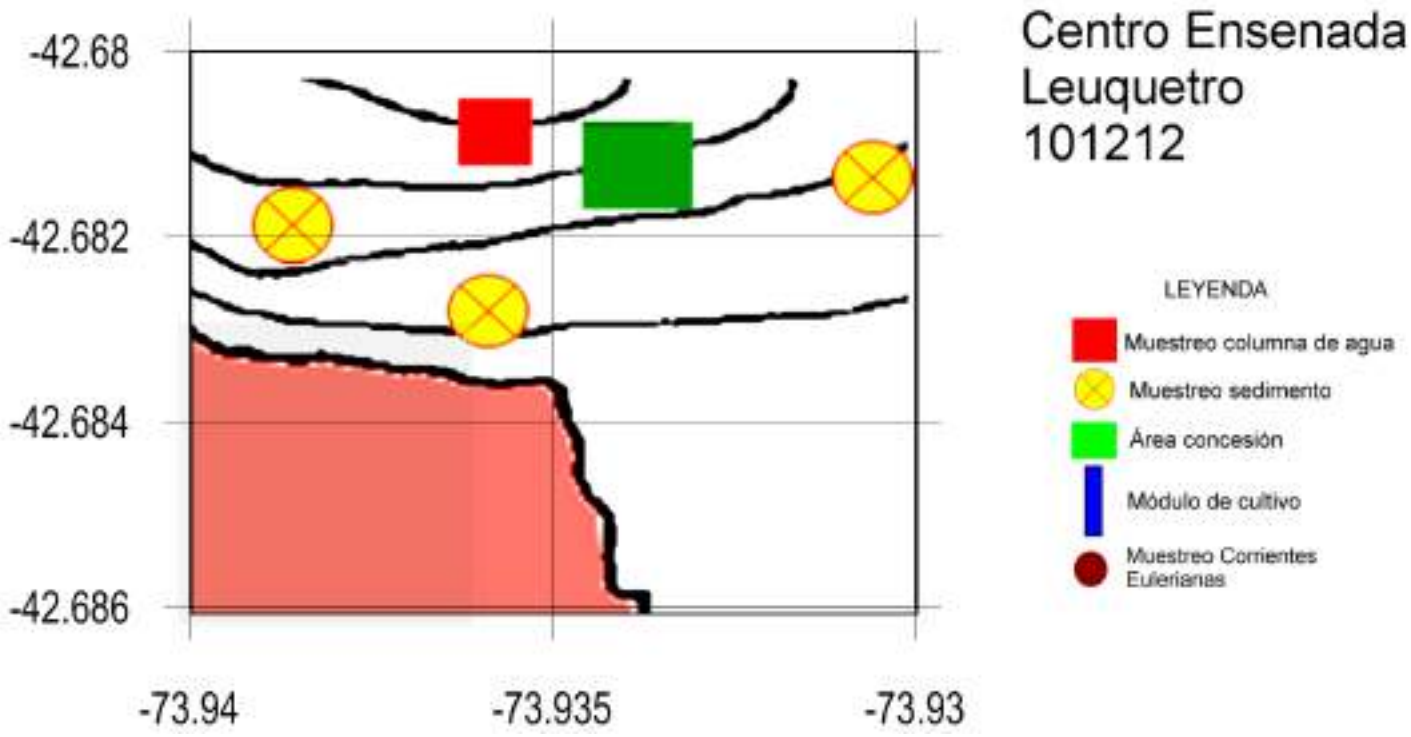
Continuación figura 19



Continuación figura 19



Continuación figura 19



Continuación figura 19

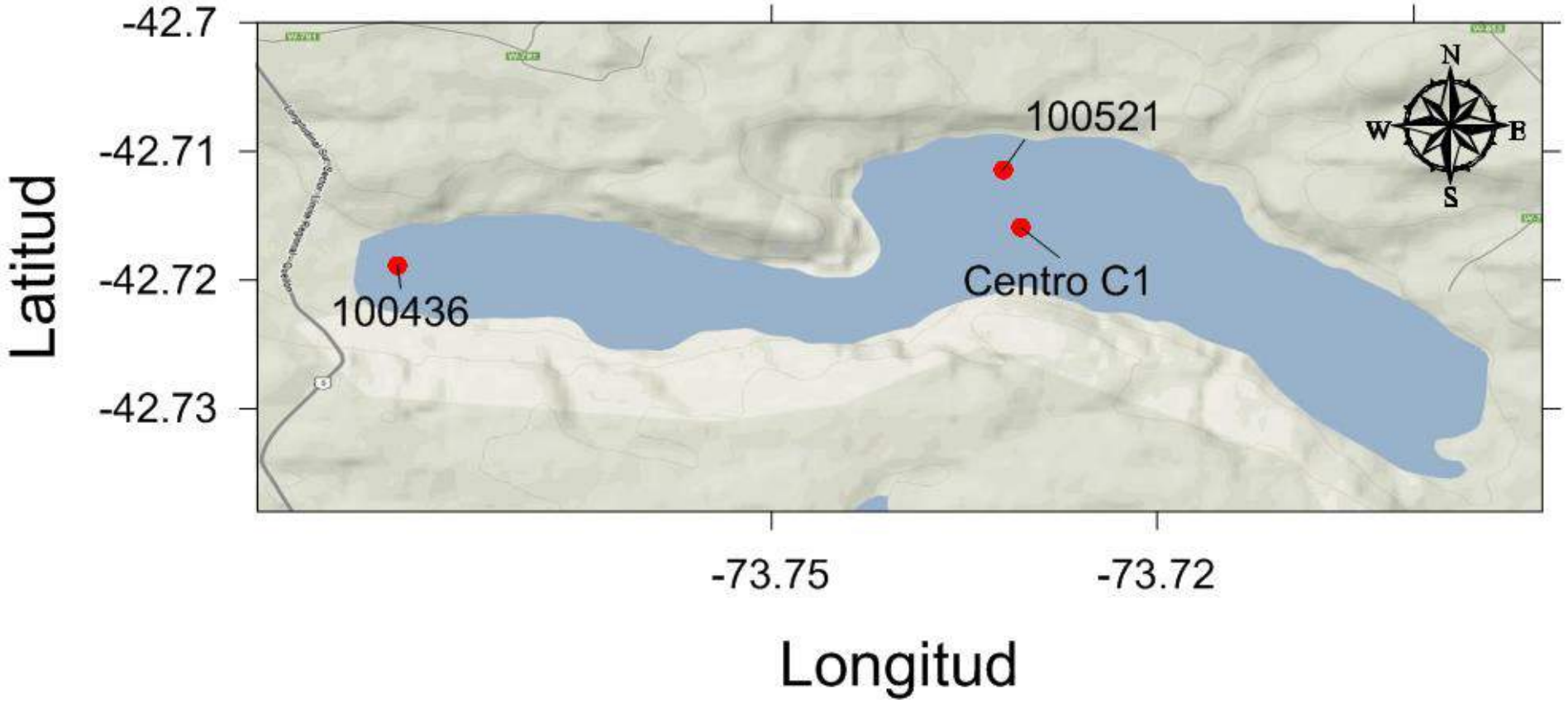


Fig. 20 Estaciones de muestreo de la columna de agua en el lago Tarahuin.

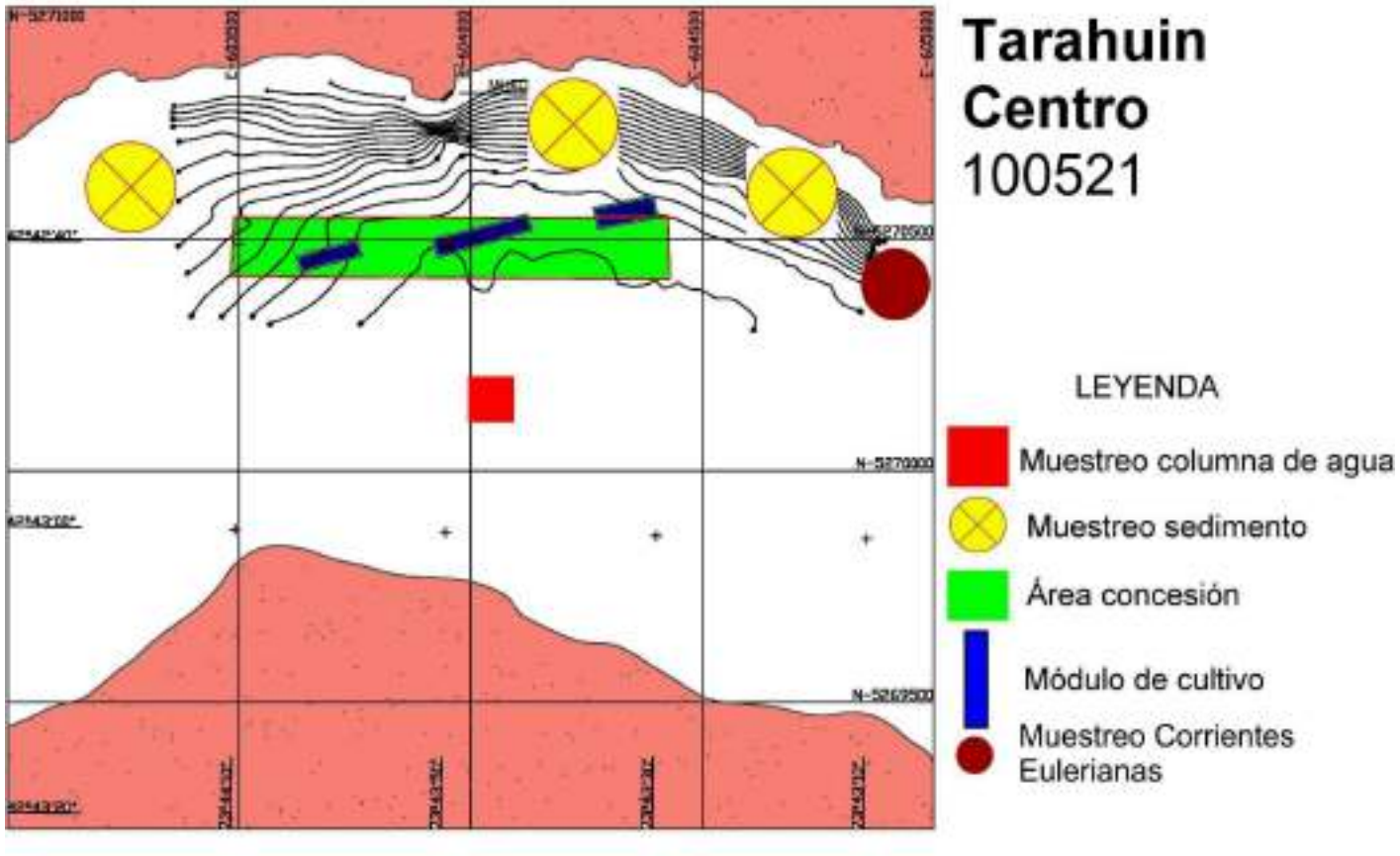
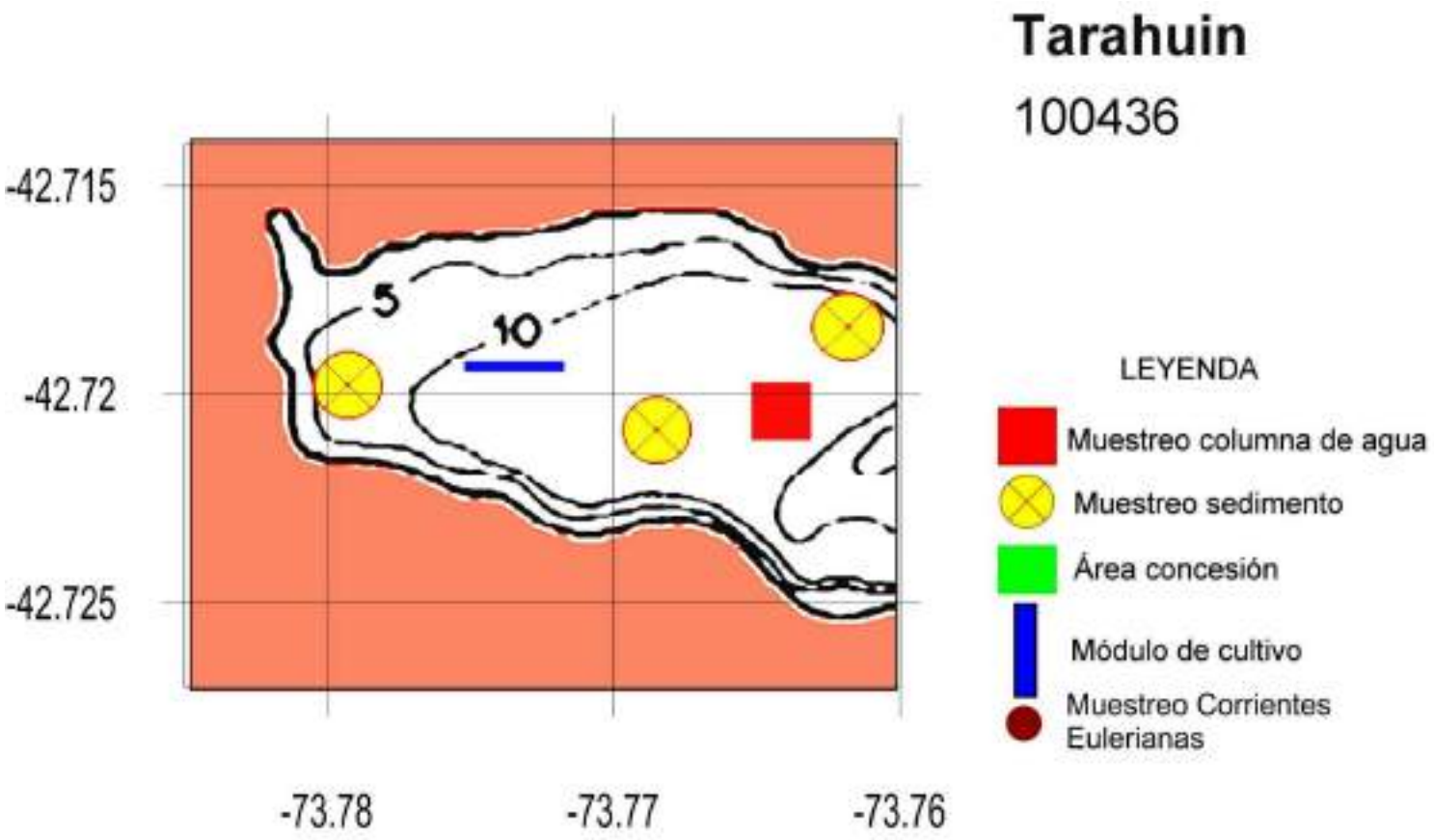


Fig. 21 Ubicación de estaciones de muestreo en los centros acuícolas en el lago Tarahuin.



Continuación figura 21

2.3.2 Toma de muestras y análisis de parametros físicos y químicos de agua

Parámetros físicos: Se registraron temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno y clorofila a con una sonda multiparametrica (Sea & Sun 90M, Sea & Sun Technology GmbH, Alemania, profundidad de medición: 0- 500 m) desde la superficie hasta la profundidad máxima en cada estación de muestreo (resolución vértical app. 0,3 m).

Luego se midió la transparencia usando el disco Secchi (∅ 30 cm) en cada estación de muestreo. Adicionalmente se midió la distribución vertical de la luz visible (PAR) en intervalos de 2 metros desde la superficie hasta máximo 50 m de profundidad en las estaciones pelágicas de referencia en cada uno de los 6 lagos.

Parámetros químicos: Las muestras de agua para el análisis de parámetros quimicos se tomaron en la cercanía de los centros de cultivo en tres profundidades (superficie – profundidad intermedia –fondo) y en las estaciones pelágicas en 10-13 profundidades (superficie – fondo) con una botella Friedinger (las profundidades exactas y las ubicaciones estan tabuladas en la Tabla 6). El agua se guardó en botellas de polietileno de 0,5 L volumen a una temperatura de 4-8°C para su transporte al laboratorio LIMNOLAB de la Universidad Austral de Chile y su análisis químico siguiendo la metodología descrita abajo.

Análisis de agua

La metodología utilizada para medir los factores físicos y químicos es la siguiente:

Temperatura: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,01 ºC

pH: Medición in situ con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) y corroboración de mediciones de pH de muestras de agua estratificadas de la zona pelagial de los lagos utilizando una sonda WTW.Precisión 0,1 unidad de pH

Conductividad: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M). Precisión: 0,3 µS/cm.

Transparencia: Medición con un disco Secchi (30 cm de diámetro). Precisión: 0,5 m.

Luz: Medición de luz visible (400-700 nm) con un medidor LI-COR desde la superficie hasta máximo 50 m de profundidad en las estaciónes centrales (referencia). Precisión: 0,3 µMol Fotones/s *m^2.

Oxígeno disuelto: Medición con sonda multiparamétrica (Sea & Sun 90M) Precisión: 0,2 mg/L

Nitrato: Método de Reducción con columna de cadmio y medición como nitrito según 4500-NO3 – E Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg $N\text{-}NO_3$/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Nitrito: Método colorimétrico diazonio según 4500-NO2 - B. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg $N\text{-}NO_2$/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Amonio: Método Indofenol, 4500-NH3 F Standard Methods Edición 2005. Límite de detección (MDL): 0,002 mg $N\text{-}NH_4$/L.

Fósforo soluble: Método azul del ácido ascórbico según 4500-P – E. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,002 mg $P\text{-}PO_4$/L.

Fósforo Total (PT): Método de digestión ácida y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-P B/5 Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,003 mg $P\text{-}PO_4$/L.

Nitrógeno Total: Método de digestión básica con Hidróxido de Sodio y Persulfato de Potasio según Koroleff (1983) y 4500-N/C y 4500-NO3 – E. Standard Methods APHA (2005). Límite de detección (MDL): 0,015 mg N/L. Segmented Flow Analysis Modul SKALAR (Holanda)

Nitrógeno orgánico: Norg. = NT –($N\text{-}NO_3$ + $N\text{-}NO_2$ + $N\text{-}NH_4$).

Clorofila a: Método 10200 H D Standard Methods" APHA (2005). Sin correción de feopigmentos. Límite de detección: 0,1 µg/L.

2.3.3 Muestreo y análisis de fitoplancton

TOMA Y ANALISIS DE FITOPLANCTON

Para el estudio del fitoplancton se siguió la siguiente metodología:

1) **Muestras cualitativas:** El objetivo de estas muestras es registrar la mayor diversidad florística, particularmente de aquellas especies de fitoplancton que presentan flotabilidad positiva (como por ejemplo *Botryococcus* o *Anabaena* sp), las cuales generalmente son sub-representadas con otras metodologías de muestreo. Para tal efecto se dejó descender una red de fitoplancton (tamaño malla de 55µm) hasta máximo los 40m de profundidad, seguido de avanzar en círculos con la embarcación sobre un punto marcado mediante localizador GPS por diez minutos.
2) **Muestras cuantitativas:** Las muestras cuantitativas están conformadas por muestras integradas de agua, desde la superficie hasta los 40 m de profundidad. Sub-volúmenes de cada estrato de la columna de agua, colectado a intervalos regulares de (0-5-10-15-20-25-30-35-40 m) se trasvasijaron a un contenedor de plástico de 5L. Una vez homogeneizada la muestra final (250 ml) se almacenó en botellas de vidrio color ámbar y fijada con lugol al 4% (v/v) para su posterior análisis cuantitativo en el laboratorio.

El análisis del fitoplancton se realizó de acuerdo a la metodología Mischke y col. (2009). El inventario de diversidad florístico se generó inicialmente en base al análisis de las muestras cualitativas de red 2 a 3 ml de muestra obtenida mediante el método descrito en el punto 1). Posteriormente se realizó los análisis cuantitativos de microalagas a partir de las muestras integradas obtenidas mediante el método descrito en el punto 2): consistentes en conteos de meso-fitoplancton en cámara completa a bajo aumento (10x) seguido de conteos en transectos completos con una magnificación mayor (32x), método Utermöhl). Se midieron las algas para contar con datos de bio-volumenes de las especies, y por ende caracterizar de mejor forma el fitoplancton. Las determinaciones taxonómicas fueron apoyadas por literatura relacionada a los diferentes grupos de fitoplancton descritos para las aguas continentales de Chile y del hemisferio norte (véase literatura en capítulo 2.1).

ANALISIS DE DIDYMO, *Didymosphenia geminata*

El análisis de muestras de fitoplancton con el fin de detectar la presencia de *Didymo* se basó en el protocolo de métodos estandarizados de acuerdo a

Díaz,C. et al. (en prensa) y se realizó en todas las estaciones (ver Tabla 6) para todos los lagos muestreados.

Cada muestra cualitativa fue llevada a 15 ml en un tubo de polipropileno (punta cónica, graduado, tapa rosca), previa centrifugación de 3 minutos x 4000 rpm. Se botó un sobrenadante y se procedió a digerir la muestra mediante tratamiento con ácido. para esto, se agregó 2 ml de ácido H_2SO_4 lentamente para evitar una reacción agresiva (reacción exotérmica). El tubo se tapó y se agitó en un vortex para homogenizar. A continuación la muestra se destapó y fue dejada en reposo aproximadamente 35 minutos, bajo campana extractora de gases. Después de este lapso de tiempo, se tapó y se llevó a centrífuga durante 3 minutos por 4000 rpm. Luego de esto se botó el sobrenadante y se aforó con agua destilada hasta 15 ml, se agitó en vortex y se llevó nuevamente a centrifuga 3 minutos por 4000 rpm, esto se repitió por 4 veces mínimo, hasta llevar a pH neutro, determinándose éste mediante papel pH (en algunos casos cuando el pH se mantuvo ácido, este se neutralizó con hidróxido de sodio).

La muestra fue agitada y con pipeta Pasteur se depositó un volumen de ella que cubriera la superficie un cubreobjetos de 18 x 18 mm, el cual posteriormente se dispuso en una placa calefactora a 50 -55 °C, para su secado. Una vez seca la muestra, a un portaobjetos previamente rotulado se le puso una gota de naphrax en ubicación central, y sobre ésta, se dispuso el cubreobjeto con el material tratado hacia abajo, observando que el naphrax no escurriera por los bordes del cubreobjetos. Luego la muestra fue puesta por aproximadamente 2 minutos sobre la placa calefactora y, al cabo de ellos se dejo enfriar y secar a temperatura ambiente.

Luego de la digestión y montaje de las muestras, estas fueron observadas al microscopio con luz normal y contraste de fase y, con aumento de 400x.

2.3.4 Muestreo y análisis de zooplancton

En cada punto de muestreo de la columna de agua en los lagos se colectaron microcrustáceos con una red de zooplancton de 80 µm (apertura: 29 cm) con flujómetro desde la superficie hasta 60 mo hasta el fondo si la profundidad del sitio fue menor que 60 m. Las muestras fueron almacenadas en frascos

plásticos con un volumen de 70 ml (Marca Nuclepore) y fijadas con formalina saturada con azúcar a 4% concentración final. Los organismos se cuantificaron en cámaras de Bogorov bajo una lupa Zeiss Jena Technival (aumento 25-80x), en una submuestra de 1-10 ml según la densidad de los microcrustáceos y hasta revisar por lo menos 200-400 individuos en total (máximo: 2000 ind). Los microcrustáceos, copépodos y cladóceros, se clasificaron a nivel de especie donde fue posible. Se distinguió entre machos, hembras, hembras con huevos y copepoditos usando la literatura citada en capítulo 2.1.

2.3.5 Muestreo y análisis del sedimento

El muestreo de los sedimentos tuvo como objetivo determinar las características texturales, granulométricas y contenido de materia orgánica total (combustibles totales) de los sedimentos del fondo de las bahías seleccionadas en los 6 lagos incorporados en la propuesta. Además de determinar el potencial redox en los 3 primeros centímetros de la superficie del sedimento.

Toma demuestras de sedimento

Para el muestreo en el lago Chapo se consideraron seis bahías, trece para el lago Llanquihue, cinco para el lago Huillinco, tres para el lago Natri, dos para el lago Tarahuín y siete para el lago Rupanco.En cada una de las 36 bahías, se delimitaron 3 estaciones, desde donde se obtuvieron muestras representativas, con 3 réplicas en cada caso (n total = 9 por bahía). Así se determinaron las características texturales del fondo y los contenidos de materia orgánica total, de acuerdo a lo señalado en la Resolución que fija las metodologías para la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la información ambiental (INFA), (RES.EXE.3612;12 de octubre de 2009). Paraello, se utilizó una draga de 225 cm^2 de abertura y cierre hermético, equipada con puertas abatibles en la parte superior para facilitar la toma de muestras y medición de potencial redox (Figura 22).

Fig. 22 Draga utilizada en los muestreos.
A la derecha se observa uno de los lados de la draga sin la tapa superior, lo que permite extraer la muestra.

De manera inmediata, en la embarcación se midió dicho parámetro desde los 3 primeros centímetros del sedimento, con el uso de un equipo previamente calibrado. Luego se obtuvo la muestra de sedimento desde los primeros 3 centímetros (cantidad aproximada de 150 cc) y se depositó en bolsas plásticas autosellantes, para realizar el análisis granulométrico. Para determinar el contenido de materia orgánica total (combustibles totales) presente en el sedimento se procedió a extraer desde la draga una muestra desde los primeros 3 centímetros de sedimento (aproximadamente 100g) (Fig.23). Todas las muestras fueron depositadas en cajas térmicas a menos de 4°C, debidamente etiquetadas según protocolo y trasladadas al laboratorio para su análisis.

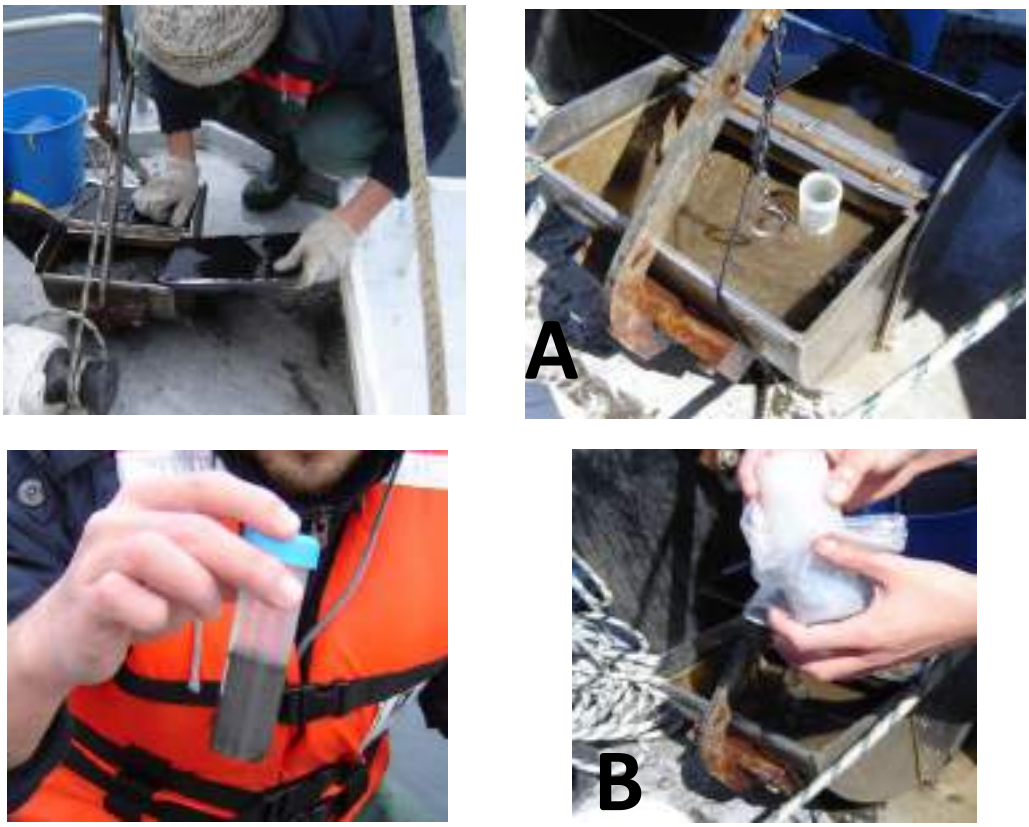


Fig. 23 Toma de muestra desde compartimento de la draga.
A. Obtención de muestra para determinación de materia orgánica. B. Obtención de muestra para el análisis granulométrico.

En cada estación se tomaron en tres puntos de muestreo tres réplicas (9 muestras en total). La ubicación de los puntos de muestreo están indicados (en amarillo) para cada estación de muestreo en los mapas ya presentados y en la siguiente tabla 7:

Tabla 7 Ubicación de las estaciones de sedimento.

Lago	Centro	Código	Nº Estación	Profundidad (m)	Coordenadas Geográficas
Llanquihue	Bahía Volcán	100390	1	55	41°11''49'S – 72°34''27,3'W
			2	27,5	41°10''51,2'S – 72°33''55'W
			3	24,3	41°11''08,7'S – 72°33''29,6'W
Llanquihue	Bahía Ensenada	100370	1	35	41°08''31,8'S – 72°35''25,7'W
			2	23	41°08''13,7'S – 72°35''47,9'W
			3	42	41°08''15,8'S – 72°35''54,1'W
Llanquihue	Bahía Cox	100628	1	28	41°01''10,8'S – 72°41''44,8'W
			2	17	41°01''00'S – 72°41''43,9'W
			3	34	41°01''04'S – 72°41''37,7'W

Continuación tabla **7**

Lago	Centro	Código	Nº	Profundidad (m)	Coordenadas Geográficas
Llanquihue	Montealegre	100627	1	10	41°00''25,4'S – 72°44''33,9'W
			2	22	41°00''36,6'S – 72°44''14,2'W
			3	10	41°00''23,6'S – 72°44''13,1'W
Llanquihue	Puerto Rosales	100070	1	12	41°08''15,8'S – 72°35''54,1'W
			2	5,5	41°17''02,6'S – 72°51''58,1'W
			3	11	41°16''53,3'S – 72°52''09,4'W
Llanquihue	Maitén A	100510	5	20	41°11''31,6'S – 73°01''00'W
			6	22	41°11''50,7'S – 73°00''38,2'W
Llanquihue	Maitén B	100511	2	60	41°11''57,9'S – 73°00''08,3'W
			3	28	41°11''25,6'S – 73°00''28,4'W
			4	21,5	41°11''24,8'S – 73°00''53,9'W
Llanquihue	Maitén C	100332	1	23	41°11''42,3'S – 73°00''57,8'W
Llanquihue	Phillipi 1	100100	1	23	41°12''40,3'S – 73°01''45,3'W
			2	28,3	41°12''46,4'S – 73°00''43,2'W
			3	25	41°13''18,8'S – 73°01''10'W
Llanquihue	Phillipi 2	101866	1	25	41°12''58,7'S – 73°01''44,6'W
			2	25	41°12''42,9'S – 73°01''06,9'W
			3	30	41°13''24,3'S – 73°00''31,1'W
Llanquihue	Playa Maqui	100507	1	40	41°05''41'S – 72°58''07,8'W
			2	28	41°05''34,2'S – 72°57''57,2'W
			3	24	41°05''34,1'S – 72°57''38,7'W
Llanquihue	Bahía Rincones	100204	1	16	41°00''47'S – 72°55''25,3'W
			2	45	41°00''47'S – 72°55''07,1'W
			3	40	41°08''21,8'S – 72°54''29,7'W
Llanquihue	Puerto Octay	100545	1	15	40°58''01,6'S – 72°52''35,2'W
			2	10	40°57''51,6'S – 72°52''27,1'W
			3	30	40°58''02,9'S – 72°52''17,2'W
Rupanco	Piedras Negras	100625	1	30	40°50''58'S – 72°30''24'W
			2	56	40°51''08,3'S – 72°30''10,2'W
			3	30	40°51''06,2'S – 72°29''56'W
Rupanco	Puerto Rico	100522	1	40	40°53''45,6'S – 72°19''39,9'W
			2	40	40°53''55,8'S – 72°19''30,9'W
			3	58	40°53''52,7'S – 72°19''02,4'W
Rupanco	Bahía El Encanto	100389	1	80	40°47''40,8'S – 72°27''59,6'W
			2	52	40°47''37,4'S – 72°28''05,1'W
			3	70	40°47''36,4'S – 72°28''26,3'W
Rupanco	Punta Negra	101707	1	82	40°47''53,1'S – 72°40''11,9'W
			2	30	40°48''06,1'S – 72°40''13,2'W
			3	82	40°47''57,3'S – 72°39''48,5'W
Rupanco	Río Bonito	101862	1	30	40°52''37'S – 72°27''17,9'W
			2	64	40°52''43,8'S – 72°26''39,3'W
			3	53	40°52''55,7'S – 72°27''20,8'W
Rupanco	Península Islote	101851	1	85	40°51''42,8'S – 72°28''28'W
			2	30	40°51''36,8'S – 72°28''01,1'W
			3	100	40°51''43,3'S – 72°27''23,8'W
Rupanco	Punta Adolfo	100081	1	30	40°46''0,39'S – 72°37''36,6'W
			2	60	40°46''0,32'S – 72°37''33,2'W
			3	30	40°45''58,1'S – 72°37''32,7'W
Chapo	Pto. La Peña	101332	1	40	41°24''59,2'S – 72°32''23,7'W
			2	90	41°24''58,2'S – 72°32''12,5'W
			3	80	41°24''54,45'S – 72°32''10'W

Continuación tabla **7**

Lago	Centro	Código	Nº	Profundidad (m)	Coordenadas Geográficas
Chapo	Centro Río Pitote	101051	1	35	41°28''39,2'S – 72°27''29,8'W
			2	15	41°28''33,6'S – 72°27''04,8'W
			3	40	41°28''41,5'S – 72°26''52,4'W
Chapo	Centro Coluli	100678	1	50	41°30''07,2'S – 72°25''28,4'W
			2	35	41°30''07,8'S – 72°25''20,7'W
			3	32	41°30''09,4'S – 72°25''11'W
Chapo	Centro Río Sur	101278	1	17	41°30''27'S – 72°28''07,2'W
			2	50	41°30''18'S – 72°27''33,3'W
			3	40	41°30''00'S – 72°28''16,5W
Chapo	Centro Desagüe 1	100394	1	15	41°26''14,9'S – 72°34''34,5'W
			2	26	41°26''15,7'S – 72°34''28,7'W
Chapo	Centro Desagüe 2	101291	1	30	41°26''29,9'S – 72°34''05,2'W
			2	46	41°26''21,9'S – 72°34''15,5'W
			3	6	41°26''11,7'S – 72°34''32,8'W
Natri	Centro Natri II	100437	1	15	42°47''42,1'S – 73°51''05,2'W
			2	35	42°47''44'S – 73°51''23,6'W
			3	20	42°47''24,6'S – 73°50''56,3'W
Natri	Centro Natri I	100600	1	43	42°48''02,5'S – 73°48''11,1'W
			2	20	42°48''14,1'S – 73°47''33,6'W
			3	22	42°47''43,2'S – 73°47''30,2'W
Natri	Centro Pitote I	100427	1	16	42°48''34,3'S – 73°46''51'W
			2	23	42°48''22,8'S – 73°46''47,6'W
			3	15	42°48''25,7'S – 73°47''06,8'W
Huillinco	Centro Notue	100616	1	55	42°39''27,4'S – 73°55''48,8'W
			2	3,6	42°39''23,4'S – 73°55''32,5'W
			3	4	42°39''30,8'S – 73°55''09,5'W
Huillinco	Centro Ensenada Contento	100520	1	36	42°39''26,9'S – 73°58''10,9'W
			2	20	42°39''21,3'S – 73°58''12,7'W
			3	23	42°39''23,5'S – 73°57''41,1'W
Huillinco	Centro Punta Contento	100617	1	30	42°40''0,19'S – 73°59''30,4'W
			2	38	42°40''06,1'S – 73°59''01,9'W
			3	32	42°39''59,2'S – 73°58''42,1'W
Huillinco	Centro Ensenada Leuquetro	101212	1	25	42°40''44,1'S – 73°56''42,9'W
			2	11,3	42°40''47,1'S – 73°56''26,4'W
			3	10	42°40''41,1'S – 73°55''58,6'W
Huillinco	Centro Río Bravo y Coipo	100968	1	9	42°40''44,5'S – 73°56''02,8'W
			2	7,5	42°40''49,2'S – 73°55''41,1'W
			3	5	42°41''02,9'S – 73°55''41,5'W
Tarahuín	Centro Río Tarahuín	100436	1	9	42°43''10,4'S – 73°46''53'W
			2	14	42°43''15,6'S – 73°46''32,8'W
			3	13,7	42°42''58,4'S – 73°45''49,3'W

Continuación tabla **7**

Lago	Centro	Código	Nº	Profundidad (m)	Coordenadas Geográficas
Tarahuín	Centro Norte Tarahuín	100521	1	19	42°42''37,6'S – 73°44''17,2'W
			2	27	42°42''30,9'S – 73°43''38'W
			3	16	42°42''36'S – 73°43''14,7'W

ANÁLISIS DE SEDIMENTO

El análisis de las muestras de sedimento se realizó en el Laboratorio Bentos, del Instituto de Ciencias Marinas y Limnológicas de la Universidad Austral de Chile. Para su análisis se tuvo la precaución de eliminar primero y en cada caso todo indicio de presencia de macrofauna. Luego se procedió a pesar 100 g de sedimento húmedo, el que se dejó reposar más de 30 minutos en 100mL de solución de hexametafosfato desodio 0,2 normal. Posteriormente se lavó cada muestra de sedimento sobre un tamiz de 4Ø (0,063mm), eliminando las fracciones limo y arcilla junto con el agua de lavado. El sedimento retenido en el tamiz de 4Ø se lavó con agua destilada para eliminar los residuos de hexametafosfato, se depositó en un vaso precipitado y secó en estufa por un período de 8h entre 100 a 105 °C, luego de lo cual se llevó a peso constante, el que fue registrado como peso pre-tamizado.

Luego se hizo pasar cada muestra a través de una serie de 6 tamices (-1 a 4 Ø) con ayuda de la agitación de un tamizador mecánico, por un tiempo de 20 minutos (Fig. 24). Posteriormente se pesó la fracción retenida en cada uno de los tamices en una balanza analítica digital (0,0001g de precisión). Los valores obtenidos se corrigieron de acuerdo al cálculo de humedad, según lo indicado en la metodología para elaborar la caracterización preliminar de sitio (CPS) y la información ambiental (INFA), (RES. EXE.3612;12 de octubre de 2009). Con los resultados de los pesos corregidos de cada tamiz se calculó para cada muestra las fracciones sedimentarias constituyentes, de acuerdo a la escala Wentworth. Finalmente se determinaron las variables sedimentológicas de diámetro medio de la partícula, selección, clasificación, curtosis y asimetría, con el porcentaje en peso de las distintas fracciones, utilizando el programa GRADISTAT para planilla Excel, calculando los parámetros en escala phi (phi = $-\log_2$ diámetro del grano en mm).

Para la determinación de la materia orgánica total seutilizó la muestra obtenida directamente desde la draga con un core, la que fue se cada entre 100 y 105°C por un período de 8h. El con tenido de materia orgánica (combustibles totales) se calculó por diferencia de peso, luego de su calcinación a 500 °C (4 h).

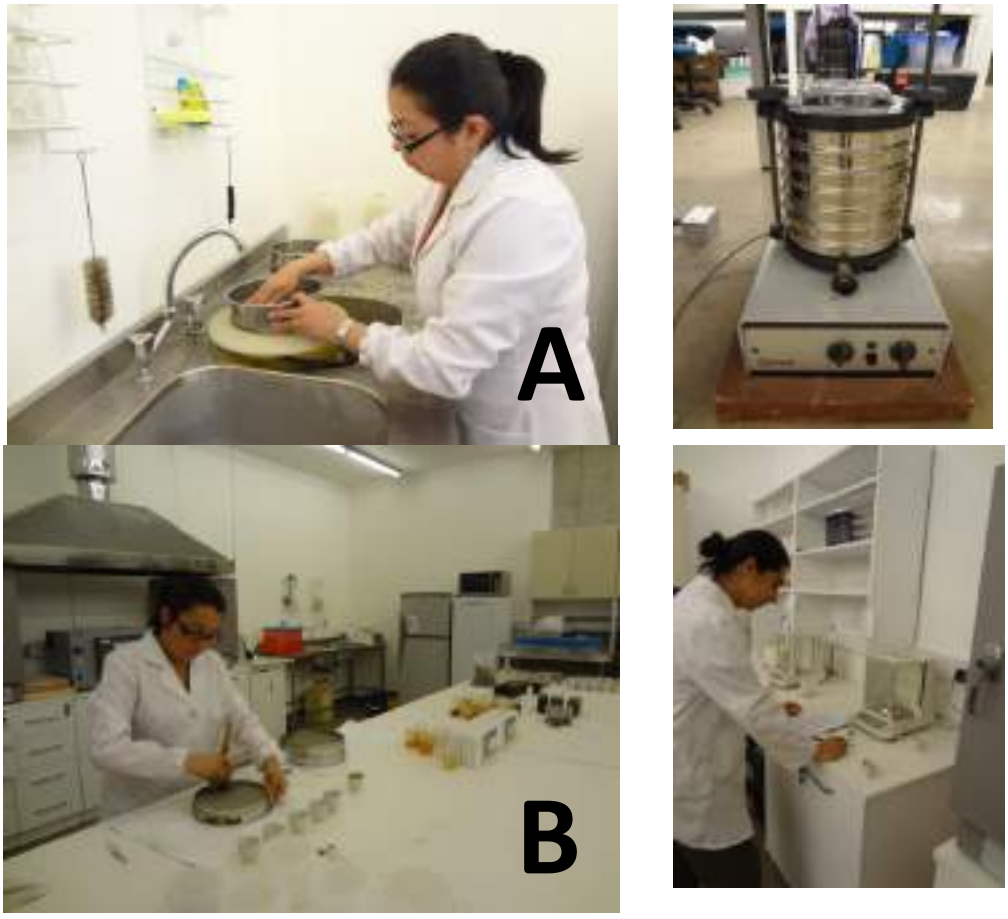


Fig. 24 Análisis granulométrico y determinación de materia orgánica.
A. Lavado de la muestra vía húmeda. B. Limpieza de tamices luego de su paso por el agitador mecánico.

2.3.6 Prospección del fondo mediante buceo científico

Adicionalmente se realizó el 13 de noviembre 2012 una prospección mediante buceo científico en lugares seleccionados del lago Llanquihue con el fin de visualizar el potencial grado de intervención de la actividad acuícola en relación a la flora y fauna bentónica como también al paisaje del fondo del lago (Pollack 2011).

Por medio de prospección del fondo mediante buceo científico se puede analizar el estado del fondo, especialmente del sedimento. La presencia o ausencia de organismos bentonicos característicos y su distribución a lo largo de un gradiente batimétrico puede indicarnos el estado eutrófico de una área específica.

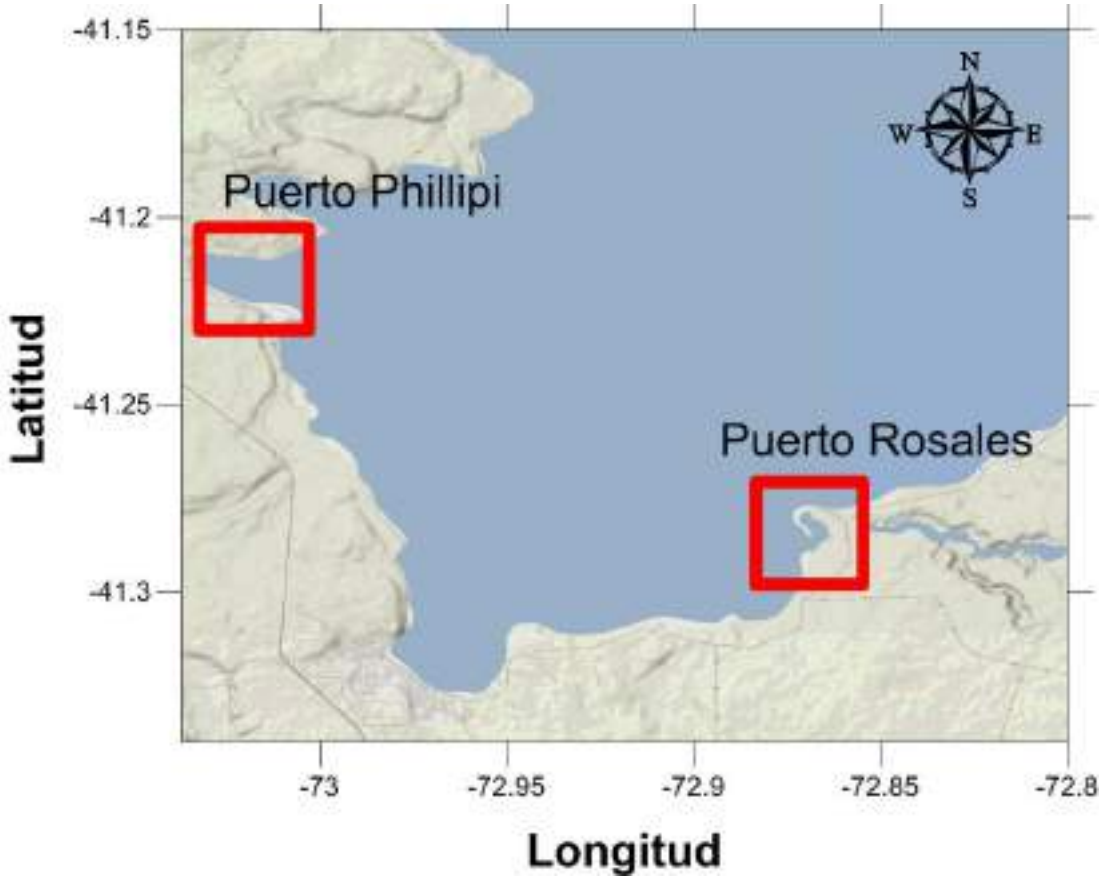


Fig. 25 Ubicación de los sitios para prospección del fondo

Específicamente macrofitos representan un indicador internacionalmente conocido, del estado de cuerpos de agua. Además la prospección de fondo

sirve para verificar la contaminación de áreas de centro de cultivos causado por ejemplo por residuos de contruccion o restos de alimentación (bolsas plásticos en el fondo).

La prospección de fondo se realizó en dos sitios, Puerto Rosales y Bahía Phillipi en el lago Llanquihue (Fig. 25)

2.3.6.1 Descripción de sitios

Puerto Rosales (Lago Llanquihue)

En Puerto Rosales los transectos de buceo fueron realizados desde la costa hasta el centro de la bahía, donde antiguamente las jaulas de los centros de acuicultura estuvieron instaladas. La profundidad máxima fue cercana a los 10 m. La bahía completa es muy poco profunda y está completamente protegida del lago abierto. La boca de la bahía esta en dirección Sureste y es de 290 m de ancho aproximadamente (Fig. 26). Debido a la información de personas que viven en los sitios aledaños al centro de acuicultura, la bahía fue limpiada algunos años atrás de los residuos de las instalaciones de los centros. Imagenes satelitales indicaron que por lo menos 3 centros fueron instalados en la bahía, dos de ellos contenían 20 jaulas y otro contenía 10 jaulas.

Los transectos de buceo comenzaron en los 41°16’58’’ W, 72°71’59’’S. El centro de la bahía fue alcanzado a una distancia de 130 m y siguiendo en dirección Noreste se encontraron estructuras en el fondo. Desde ahí los buzos comenzaron a volver hacia la costa y seguido de la línea de costa hasta su punto de entrada. La longitud total del transecto fue de 430 m (Fig. 26).

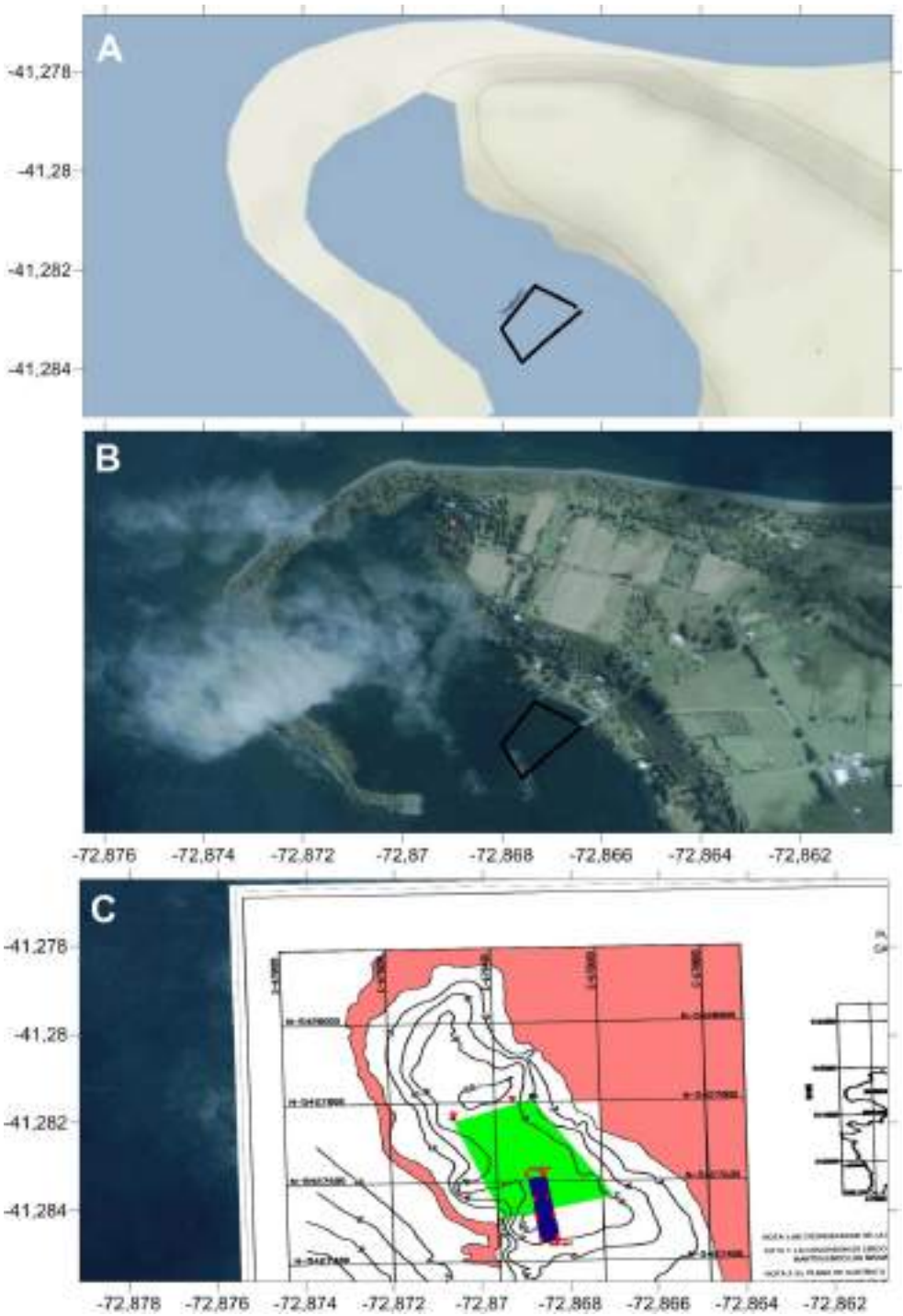


Fig. 26 Puerto Rosales.
A) Vista topográfica del área, B) imagen satelital, C) Plano de concesión solicitado por Mainstream Chile S.A. La línea negra en A y B indica el transecto de buceo.

Puerto Phillipi (Lago Lanquihue)

La bahía completa cubre un área de 3,9 km^2 aproximadamente y puede ser dividido en una parte interior y una exterior dibujando una línea desde los

41°13’20’’S 73°01’16’’W a los 41°12’42S 73°00’59’’W. La parte interior de la bahía cubre un área de 1.5 km^2 con un ancho de 1.2 Km en la dirección oeste (Fig. 27). Imágenes satelitales mostraron que el centro de acuicultura Phillipi I consiste en una única construcción con un total de 40 jaulas en 2 líneas, mientras que el centro Phillipi II consistió en dos construcciones con 40 jaulas cada una.

Comparando las áreas de las concesiones de Phillipi I y Phillipi II con las posiciones de los módulos de cultivo mostradas en las imágenes satelitales se puede decir que a lo menos dos de los tres módulos no estaban en su totalidad dentro de las áreas solicitadas.

Los transectos de buceo comenzaron con una posición 41°13’14’’ W 73°01’40’’S. De ese punto los buzos recorrieron mediante snorkelling una distancia de 210 m en dirección a las intalaciones más antiguas del centro Phillipi II. En la posición 41°13’19’’ W 73°01’33’’S los buzos fueron directamente hasta los 27 m de profundidad y continuaron en dirección Noroeste. Los buzos se detuvieron a los 32 m donde una de las estructuras de las jaulas fue encontrada. Luego los buzos continuaron el transecto por unos 325 m en dirección a la parte interior de la bahía. La longitud total del transecto fue de 1.06 Km aproximadamente. La profundidad de la bahía no permitió una inspección más detallada del centro Phillipi II en una distancia más cercana.

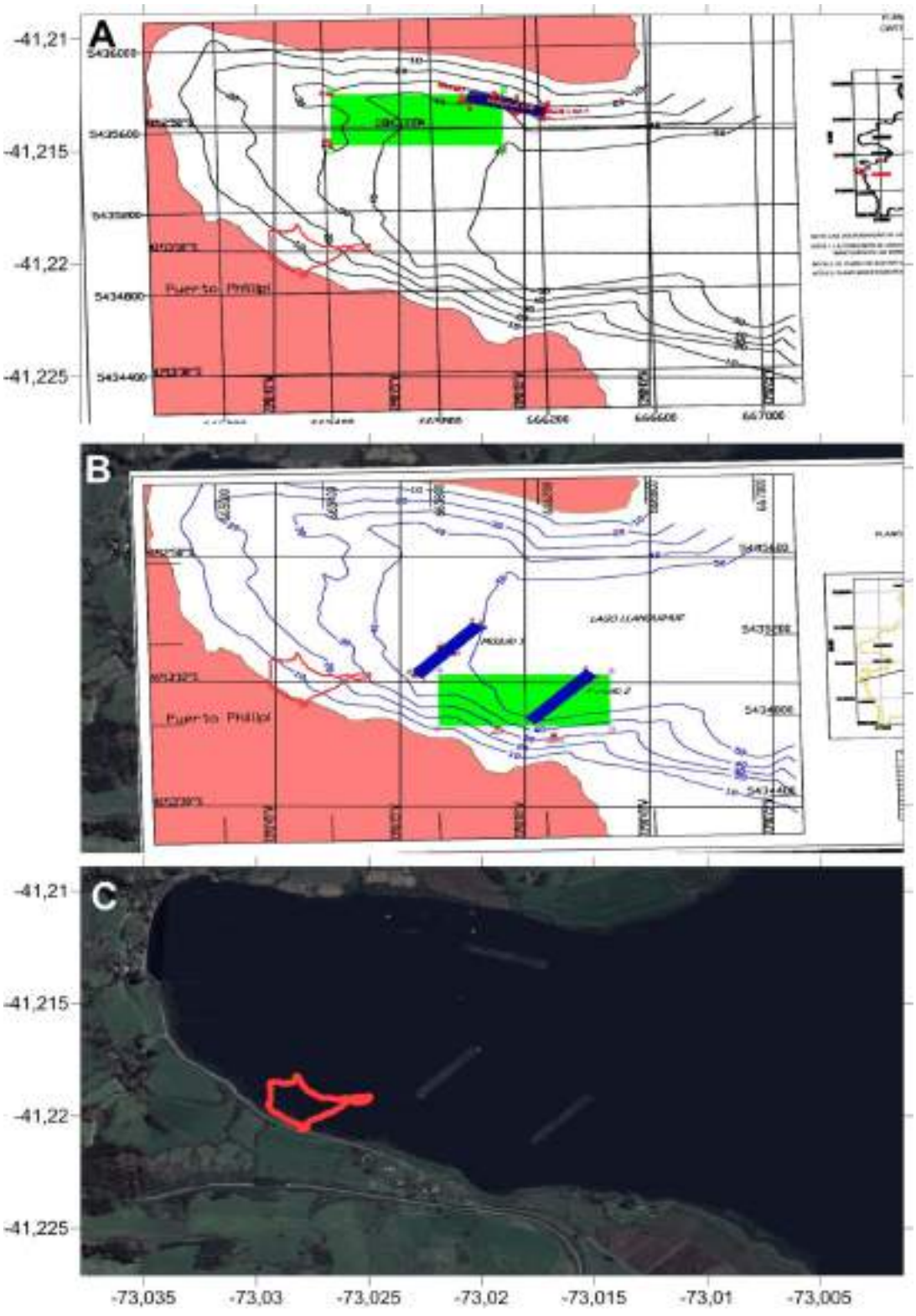


Fig. 27 Puerto Phillipi.
A, B) Planos de Concesiones solicitados por Aquacultivos S.A.. C) imagen satelital. Línea roja en A, B y C indica el transecto de buceo.

2.3.6.2 Análisis de datos

A lo largo de ambos transectos realizados el 13.11.2012 (Bahía Phillipi y Puerto Rosales) fueron filmadas secuencias de video y se tomaron imágenes fotográficas cualitativas y semicuantitativas. En ambos lugares, Puertos Rosales y Phillipi se ha utilizado un GPS submarino transportado a lo largo de los transectos, como fue descrito por Schories y Niedzwiedz (2012). Se han tomado foto cuadrantes cuando fue observado algunos cambios virtuales en la fauna y flora del fondo. Para estimar la cobertura del fondo con el macrobentos se utilizó el software CPCe 4.1 (Fig.28).

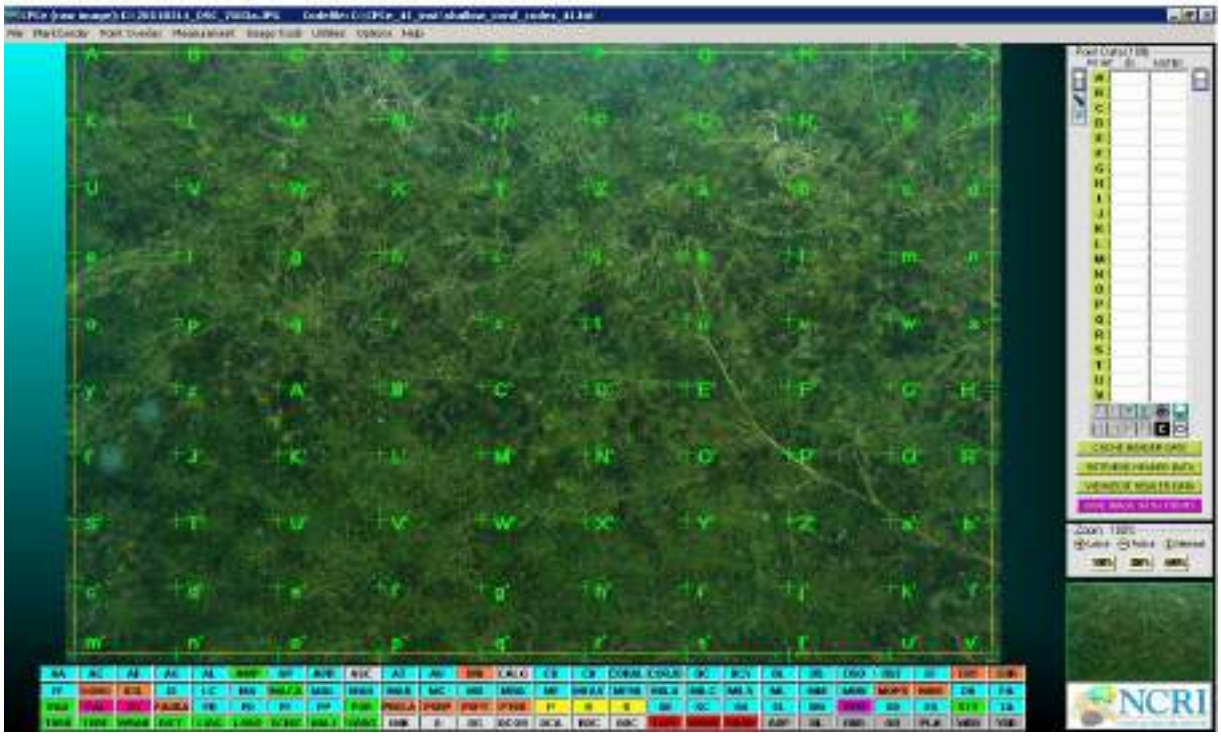


Fig. 28 Análisis de imágenes sobre la composición del bentos.
Según la metodología descrita por Braun-Blanquet (1965).

Se fotografiaron cuadrantes perpendiculares al sustrato. Esta técnica fotogramétrica no destructiva es comúnmente utilizada para monitorear cambios de hábitats marinos debido a factores antropogénicos durante largos períodos de tiempo, pero requiere verificación en terreno de la identificación de las especies. Por lo tanto, muestras adicionales del bentos fueron tomadas por los buzos.

Se analizó la información cuantitativa sobre la cobertura de especies, densidad y frecuencia. Para la Bahía Phillipi se utilizó la distribución vertical máxima de las plantas acuáticas como un indicador biológico de la calidad del agua (Schories, Pehlke y Selig, 2009).

2.3.7 Determinación de la correntometria

2.3.7.1 Introducción en la correntometria

ASPECTOS GENERALES

Los lagos son cuerpos de agua dinámicos que reciben la influencia de los fenómenos que ocurren en su entorno inmediato, como los que ocurren en el territorio de su cuenca. La influencia antrópica se manifiesta con elevada intensidad en cuanto esta modifica el entorno del lago y al lago mismo. Además hace llegar al lago una serie de elementos de distinta índole que contribuyen a la eutrofización del cuerpo de agua.

El conocimiento de la hidrodinámica del lago ayuda a cuantificar y explicar los impactos que la actividad humana, y fenómenos naturales, causan en el lago.

Los movimientos de la masa de agua están estrechamente relacionados con el **Clima** imperante en la zona.

Los vientos que soplan sobre su superficie son los responsables de movimientos periódicos, a saber olas y seiches superficiales e internos, como de movimientos no periódicos que son las corrientes.

Las temperaturas y sus variaciones estacionales determinan el clima térmico del lago. Las variaciones de temperatura, y por consiguiente de la densidad del agua son generadores de corrientes de convección además son agentes que favorecen o impiden la mezcla de aguas de temperaturas distintas.

Las precipitaciones, tanto las que ocurren sobre la cuenca, parte de las cuales llegan al lago encauzadas por sus ríos afluentes como las precipitaciones directas sobre la superficie del lago, son también agentes generadores de movimientos en las aguas de lago. Los ríos que ingresan

al lago producen una zona de turbulencias en su acceso al lago que estará condicionado a su caudal y a las diferencias de temperatura que tenga con el cuerpo del lago. También en el caso de las precipitaciones, las diferencias de temperatura entre las aguas del lago y las de la lluvia, se pueden traducir en movimientos convectivos. Especial mención de este fenómeno afecta al lago Llanquihue, que tiene una cuenca con una superficie de 1.600 km^2 de los cuales más de la mitad corresponden a la superficie del lago. Por esta razón el agua que el lago recibe anualmente de sus tributarios es equivalente a la que recibe por precipitación directa sobre su superficie.

Los vientos locales que soplan sobre la superficie del lago son los agentes principales en la mezcla de las aguas del lago. No obstante hay que considerar que la influencia de un mismo viento de igual intensidad y dirección generará movimientos distintos dependiendo de la estructura térmica del lago.

2.3.7.2 Metodología de la medición correntometrica

En la actualidad existen variados métodos de caracterización de la dinámica de los cuerpos de agua. Dentro de estos métodos destaca el aprovechamiento de la capacidad de transporte que poseen las corrientes y que generan una deriva de un elemento flotante o sumergido; es la llamada medición de corrientes Lagrangeanas. Otra forma de estimar estos movimientos correntométricos de masas de agua son las mediciones (Eulerianas) en un determinado punto fijo, posibilitando determinar las variaciones de la intensidad de corrientes en diferentes periodos de tiempo, las cuales son respuesta a los principales agentes forzantes del dinamismo del agua.

El objetivo que se plantea en relación a la correntometría de los lagos, Rupanco, Llanquihue, Chapo, Huillinco, Tarahuín y Natri es la determinación de la dirección e intensidad de las corrientes generadas por el viento. El diseño muestreal de los derivadores consideró dos profundidades 1m. y 15m. Sólo en los lagos Huillinco y Tarahuín y en las cercanías de sus extremos se utilizó, para los derivadores de profundidad, derivadores a 7,5m, esto debido a que en

esos lugares las profundidades son menores a los 15m. En los lagos menores la permanencia de los derivadores en el agua fue variable, en el caso del lago Chapo la mayoría de los instrumentos permanecieron por alrededor de 16 horas, similar tiempo se dejaron en el lago Natri. Distinto fué el caso del lago Huillinco en el que los derivadores permanecieron entre 4 a 6 horas dependiendo desus trayectorias y a condiciones de alta intensidad del viento. En los lagos mayores la permanencia de los derivadoresse restrigió con mínimos de permanencia de lapsos de tres horas condicionado a los tiempos empleados por los instrumentos en llegar a las cercanías de las costas o los fondos de las bahías.Factor determinante fué tambien las condiciones meteorlógicas rigurosas que condicionaron la permanencia de los derivadores por períodos mas prolongados

Su ubicación en los cuerpos de agua mayores, Rupanco y Llanquihue, coincidó con la boca de las bahías principales, en donde se realizaron actividades de cultivo de salmónidos, esto con el fin de detectar patrones de movimiento del agua en el interior de las bahías. Además, y de acuerdo a los movimientos que se registren en los derivadores, se mantuvieron en el agua aquellos derivadores que se internen en la zona limnética del lago para verificar las direcciones en que se mueven, como también las variaciones en la intensidad de las corrientes que ocurren en las aguas libres del lago. En los lagos menores, Chapo, Huillínco; Tarahuín y Natri el seguimiento de los derivadores se hizo cubriendo toda la superficie del lago.

MEDICIONES EULERIANAS

En forma complementaria a las mediciones de corrientes Lagrangeanas se efectuaron mediciones puntuales de la intensidad y dirección de las corrientes asociadas directamente a los centros de cultivos de salmónidos, para lo cual se empleó un correntómetro digital marca VALEPORT MK/308, (sistema Euleriano).

Para efectuar las mediciones se procedió a fijar la embarcación a las boyas que delimitan las concesiones de los centros de cultivo. Una vez que la embarcación quedó inmovilizada, se procedió a realizar los registros en los

niveles descritos más adelante, durante un período de al menos 5 minutos (en cada nivel); en paralelo con las mediciones de corrientes mediante derivadores.

En el cuadro adjunto se indican en detalle los antecedentes relacionados con los puntos de medición Euleriana asociados a los centros de cultivo, localizados en los lagos Chapo, Huillinco, Tarahuín y Natri (Tabla 8).

Tabla 8 Mediciones de corrientes (Eulerianas).
Detalle de lugares, fecha y hora en que se efectuaron, asociadas a los centros de cultivos.

Lago	Fecha	Hora	Código Centro	Latitud	Longitud
Rupanco	06/12/12	10:15	100081	40°46’07.0”S	72°37’22.8”W
	06/12/12	14:30	100522	40°53’21.8”S	72°19’41.19”W
	06/12/12	11:45	100625	40°51’02.8”S	72°30’00.0”W
Llanquihue	19/12/12	10:40	100507	41°13´07,5" S	73°01´15,7" W
	21/12/12	9:50	100204	41°00´57,2" S	72°54´44,1" W
	21/12/12	16:30	100545	40°58´02,4" S	72°52´21,5" W
	20/12/12	12:45	100627	41°00´31,2" S	72°44´15,2" W
	20/12/12	10:20	100628	41°01´04,4" S	72°41´48,9" W
	09/01/12	15:40	100370	41°08'28,3" S	72°35'30,0"W
Chapo	24/10/12	11:20	101051	41°28’39.9”S	72°27’00.6”W
	24/10/12	15:57	101332	41°25’02.5”S	72°32’17.5”W
	25/10/12	16:05	101291	41°26’28.7”S	72°33’47.1”W
	25/10/12	17:18	101332	41°25’02,5”S	72°32’17,6”W
Huillinco	20/11/12	10:30	101212	42°40’38.0”S	73°56’21.2”W
	20/11/12	14:45	100968	42°41’53.3”S	73°55’46.9”W
	20/11/12	17:40	100617	42°40’16.5”S	73°59’32.0”W
	21/11/12	09:10	100520	42°39’24.7”S	73°57’41.1”W
Tarahuín	22/11/12	09:40	100521	42°42’37.3”S	73°43’29.1”W
Natri	04/12/12	10:20	100437	42°47’30.5”S	73°51’15.0”W
	04/12/12	17:05	100600	42°48’04.4”S	73°48’07.6”W
	05/12/12	09:30	100427	42°48’27.1”S	73°47’00.6”W

El equipo registró la intensidad y dirección de la corriente cada 15 segundos, Por un período de 5 minutos para cada profundidad. Los niveles de profundidad considerados fueron 1,0;- 5,0;- 10,0;- 15,0;- 20,0 y 25,0 m. Por lo tanto, se obtuvo una cantidad de al menos de 100 datos por punto de muestreo, exceptuando aquellos lugares en que la profundidad fue menor a 25 m.

Los datos registrados por el equipo fueron analizados mediante técnicas estadísticas convencionales considerando preliminarmente la totalidad de las mediciones,sin separar estratos. Entre los análisis realizados se contempló básicamente la intensidad de la corriente y la frecuencia de dirección en toda la columna asociada a los centros de cultivo.-

DISEÑO GENERAL CORRIENTES LAGRANGEANAS

De acuerdo a estas consideraciones el diseño muestral considera un primer objetivo relacionado con las corrientes que afectan las bahías del lago. Para eso se han definido perfiles que cierran la bahía en la boca que las comunica con el sector central, limnético del lago. Los derivadores en grupos de dos fueron liberados en los lugares señalados en los mapas en perfiles identificados con una letra mayúscula. En cada perfil y en forma gráfica se muestran los puntos donde se dejaron los derivadores con la figura de una boya con banderín. De los derivadores liberados se seleccionaron algunos que en su trayecto se trasladaban hacia el interior del lago controlando su desplazamiento de acuerdo a las condiciones meteorológicas imperantes cumpliendo de esta manera un segundo objetivo dirigido a conocer en forma preliminar el movimiento superficial de la masa de agua del lago y su relación con el viento.

Para la mejor comprensión de los antecedentes de la Correntometría de los seis lagos objetos de este estudio es necesario separarlos en dos grupos: dos lagos mayores, Llanquihue y Rupanco y cuatro lagos pequeños, Chapo, Huillinco, Natri y Tarahuin. Si utilizamos como patrón el lago Llanquihue dándole a su área y a su volumen valores del 100%, los lagos restantes al

expresarlos como porcentaje del lago mayor, se aprecia con claridad las diferencias de magnitud entre ellos (Tabla 9).

Tabla 9 Agrupación de lagos según relación superficie - volumen.

LAGO	Area sup. km^2	% área	Volumen km^3	% volumen
LLANQUIHUE	870	100	158.6	100
RUPANCO	236	27	40.3	25.4
CHAPO	45.4	5.2	6.9	4.3
HUILLINCO	19.1	2.2	0.395	0.25
NATRI	7.8	0.9	0.273	0.17
TARAHUIN	7.7	0.9	0.170	0.11

Para los lagos pequeños el esfuerzo del viento representa un agente de mezcla muy efectivo. En primer lugar porque en latitud se encuentran en una zona de alta intensidad y frecuencia de vientos provenientes del océano Pacífico. En segundo lugar, porque su pequeño tamaño, menguado volumen y regularidad en su morfometría permiten que en poco tiempo la totalidad de sus aguas recorran la extensión total del lago. Esto ocurre en los períodos invernales y de primavera, cuando la homogeneidad térmica del lago lo permite. Durante el verano y parte del otoño, cuando se produce la estratificación térmica el esfuerzo del viento se concentrará principalmente sobre el estrato superficial cálido haciendo aún más efectiva la acción del viento. Los lagos mayores aun cuando reciben la influencia del viento en forma similar muestran una marcada diferencia en su morfometría con los lagos pequeños. Si observamos la fisiografía de los lagos Llanquihue y Rupanco, llama la atención la cantidad de bahías que se encuentran en sus riveras, por ejemplo el Llanquihue en su costa occidental y en un recorrido de N a S encontramos, en primer término la bahía de puerto Octay, luego Bahía Rincones, bahía Frutillar, bahía Domeyko, bahía Phillippi y finalmente hacia el sur, la bahía de Puerto Varas; más alguna otras ubicadas en la costa N, como Puerto Fonck y otras. En el Lago Rupanco y en su costa N se encuentran la bahía del Puerto Chalupa y bahía El Encanto, por la costa S la bahía Piedras Negras El Islote, bahía Isla de los Ciervos y bahía de Puerto Rico.

La acción del viento sobre los lagos grandes se manifestará con diferencias tratándose de la zona limnéticas (aguas abiertas) de la zona litoral en la que se encuentran las bahías. La influencia del viento en estas estará condicionada a la dirección del viento y a la orientación de la bahía, por otra parte suele ocurrir que ciertos vientos ejerzan su influencia solo en parte del lago, como ocurre por ejemplo con los vientos del SE que suelen soplar sólo en los extremos orientales de los lagos. Las diferencias señaladas entre los lagos pequeños y los mayores hacen más difícil la interpretación de las corrientes detectadas en estos últimos, no sólo por su tamaño y particular fisiografía sino por la influencia de fenómenos metereológicas superpuestos.

Desde el punto de vista de los efectos que producen la intervención antrópica a través de los procesos de piscicultura podemos espera respuestas muy rápidas en los lagos pequeños, en los que rápidamente la influencia se manifestará en la totalidad del cuerpo de agua, en cambio los lagos mayores, con u n mayor volumen de agua podrán enmascarar las alteraciones que genera la intervención gracias a los grandes volúmenes de agua que poseen. Sin embargo es necesario tener en cuenta que el lago Llanquihue tiene un periodo de renovación de sus aguas cercano a los 70 años, lo que le confiere un grado de fragilidad importante.

La descripción de las bahías se resume en la siguiente tabla (Tabla 10):

Tabla 10 Descripción de las bahías en los lagos Rupanco y Llanquihue.

Lago	Bahía	Orientación del eje	Ancho de la boca en km	Longitud del eje en km
Rupanco	Rahue	090-270	4,4	4,1
	Piedras negras	105-285	2,6	12,5
	Puerto Rico	110-290	3,4	1,7
	Encanto	111-291	1,2	1,4
Llanquihue	Rincones	127-307	4,4	3,2
	Frutillar	090-270	4,9	4,6
	Phillipi	102-282	3,1	3,4
	Domeyko	122-302	1,5	3,2
	Cox	041-221	5,3	3,8
	Maitén	010-190	3,8	2,0
	Octay	172-352	5,2	4,0
	Ensenada	106-286	5,2	4,7
	Volcán	067-247	6,3	1,7

LAGO RUPANCO

Por tratarse de un cuerpo de agua donde predomina claramente su longitud y porque su eje mayor es coincidente con la dirección de los vientos predominantes que proceden del océano Pacifico y ocasionalmente del SE, se han definido seis perfiles A, B, C, D, E, F pensando en determinar la influencia de los vientos provenientes del océano y dos perfiles mas G y H para, si se da el caso, verificar el efecto del viento SE en los sectores señalados (Fig. 29).

El perfil A, por su ubicación, será clave para el registro de las corrientes de la zona limnética del lago Rupanco.Los perfiles B y C requerirán una vigilancia más estrecha dado que serán liberados en el interior de las bahías donde se encuentran los sitios de cultivo de salmónidos. El perfil D tiene como objetivo verificar el grado de comunicación que tiene la bahía con el cuerpo del lago.

El trabajo a desarrollar en el extremo oriental del lago con los perfiles E, F y, eventualmente con el perfil H, se hará en forma similar al trabajo desarrollado con el perfil A y B.

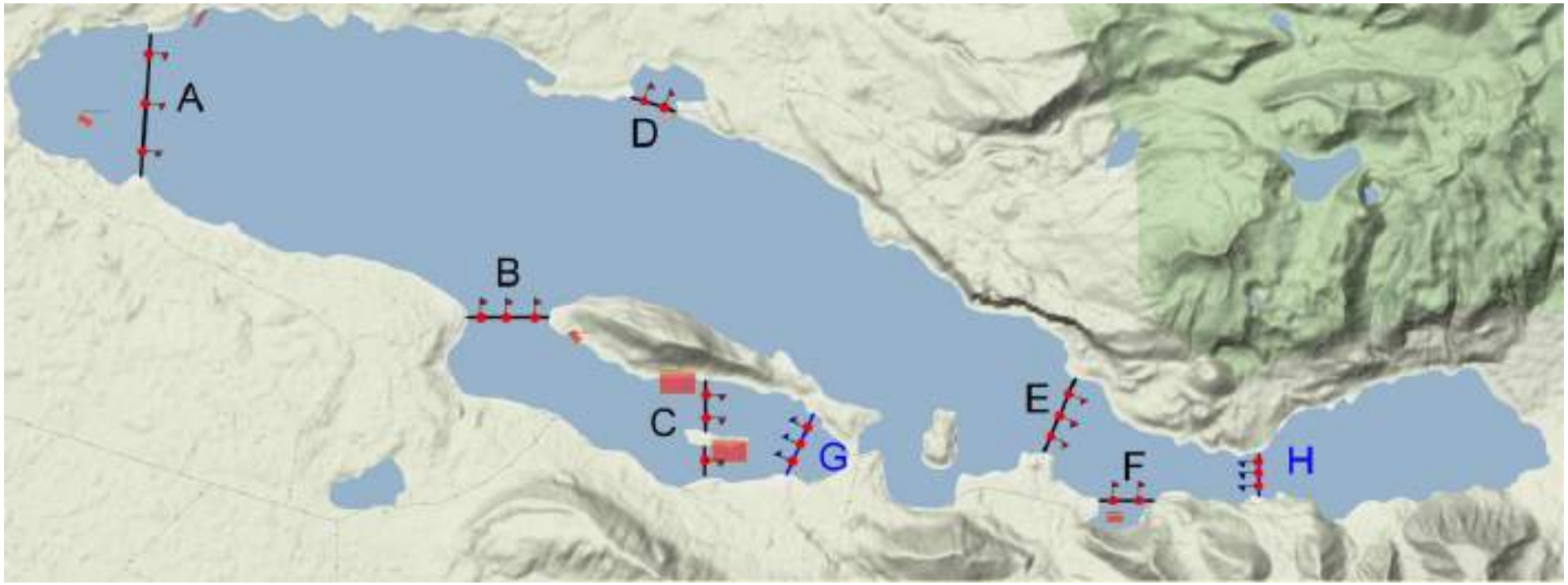


Fig. 29 Diseño de correntometría en el lago Rupanco.

LAGO LLANQUIHUE

Metodología

En este lago se han definido 8 perfiles que cierran las bahías señaladas con las letras de la A a la H.En cada uno de los perfiles A, B, C, D y E se liberaron seis derivadores en cada uno de los tres puntos señalados en ellos (Fig. 30). En cada estación se liberó un derivador de superficie y otro a 15 metros de profundidad, de estos 6 derivadores se definirá 2 a los que se les hará un seguimiento en la zona limnética del lago de acuerdo a las condiciones meteorológicas.

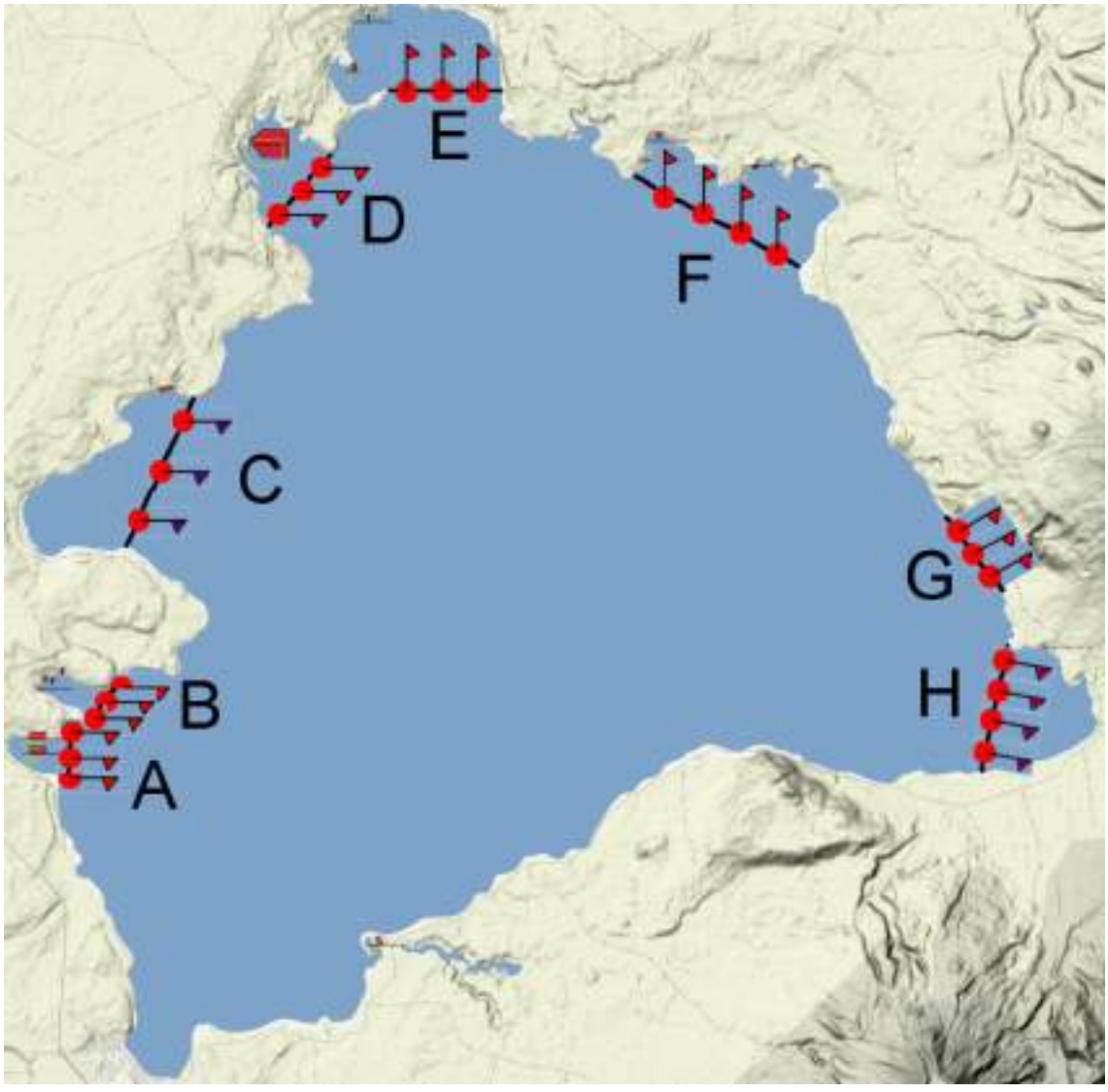


Fig. 30 Diseño de correntometría en el lago Llanquihue.

Se estima que en la bahía de Frutillar, perfil C, se pueden seleccionar un par de derivadores a los que se les hará un seguimiento de mayor duración.
Los perfiles D y E serán sometidos a procedimientos similares al perfil anterior.
El perfil F tiene como objetivo principal verificar el movimiento en el interior de la bahía y el intercambio de agua que ocurre con la zona limnética del lago.
Finalmente los sitios G y H se trabajarían en una jornada buscando coincidencia con la ocurrencia de viento del SE y con la idea de determinar el desplazamiento del agua que genera este viento.

LAGO CHAPO

Por tratarse de un lago de menor tamaño que los dos anteriores el plan de trabajo se basó en tres perfiles (Fig. 31).

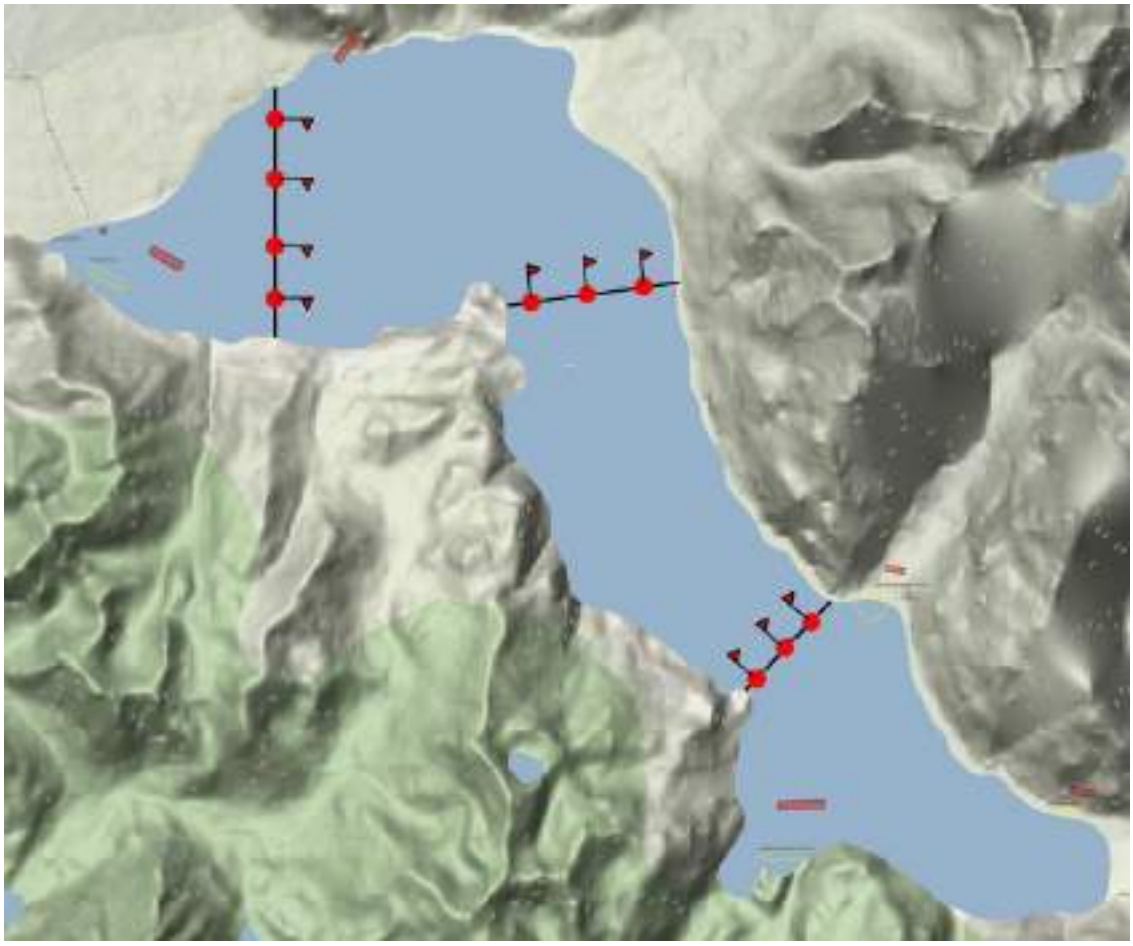


Fig. 31 Diseño de correntometría en el lago Chapo.

En el perfil A se consideraron 4 ubicaciones por tratarse del sector de más anchura del lago. La idea fue verificar el comportamiento de los derivadores al

llegar a la zona en que el lago cambia la dirección de su eje. El perfil B fue de continuidad. Los derivadores del perfil C se esperaron que indiquen las variaciones en la dirección de las corrientes superficiales al producirse el ensanchamiento del lago

LAGO HUILLINCO

Se señalan en este lago cuatro perfiles (Fig. 32). El perfil A que tiene un solo punto de liberación de derivadores esta destinado a definir la corriente que ocasiona el viento en el canal de comunicación con el lago Cucao. Los otros tres perfiles completan el esquema para la determinación de la dirección e intensidad de las corrientes del agua del lago generadas por el viento del oeste o eventualmente de la influencia de vientos del SE.

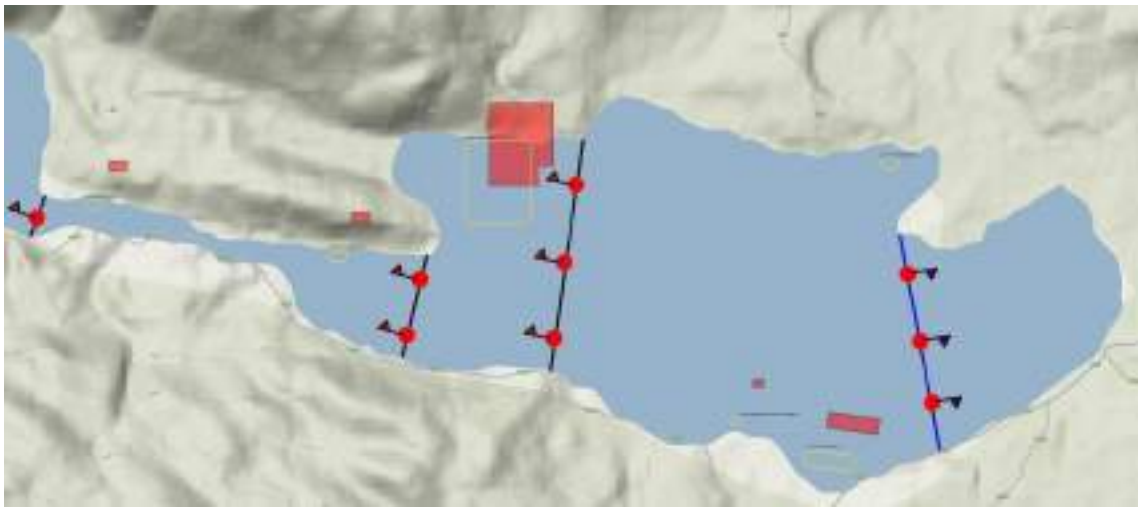


Fig. 32 Diseño de correntometría en el lago Huillinco.

LAGO NATRI

Con una forma alargada, regular y orientada en el eje de los vientos predominantes el lago Natri tuvo tres perfiles con tres estaciones cada uno (Fig. 33).

Fig. 33 Diseño de correntometría en el lago Natri.

LAGO TARAHUÍN

Se trabajó en forma similar al plan establecido para el lago Natri en tres perfiles transversales al eje principal del lago destacándose el perfil central de la angostura que separa dos sectores del lago de mayor anchura y de distinta dirección (Fig. 34). En cada perfil se liberaron dos derivadores en cada una de las tres estaciones señaladas.

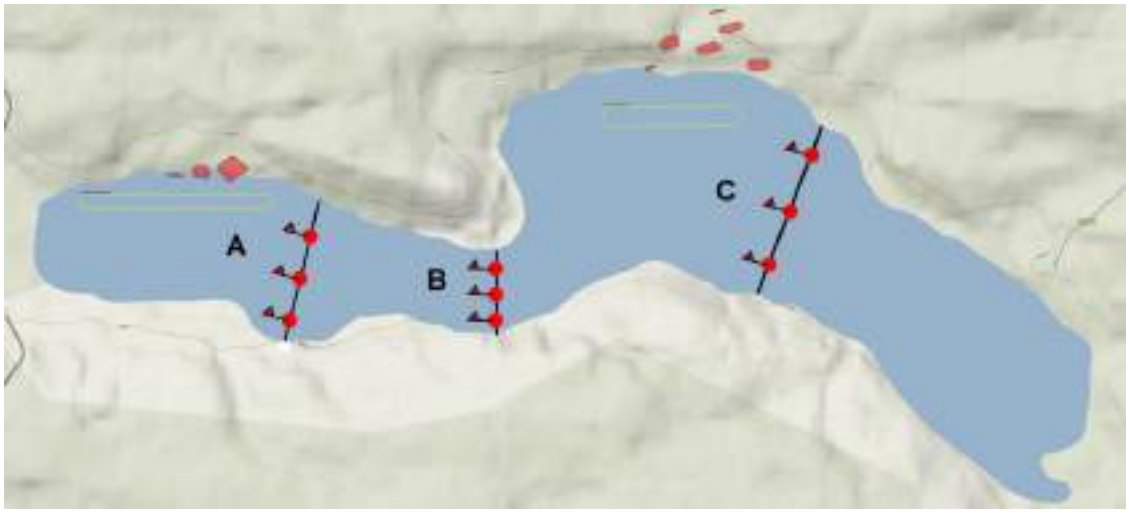


Fig. 34 Diseño de correntometría en el lago Tarahuin.

MEDICIONES METEROLÓGICAS

Para apoyar el monitoreo de derivadores, se instaló una estación meteorológica portátil HOBO en el borde de los lagos durante el tiempo de las mediciones.

Esta estación estuvo equipada con sensores que medían: radiación solar, precipitación, dirección y velocidad del viento, velocidad peak del viento, temperatura y humedad relativa del aire. La estación se programó para que realizara mediciones cada una hora. Los datos también se utilizaron para realizar una estimación de la evaporación de los lagos considerados en el estudio.

La estación se instaló en los lagos Llanquihue, Rupanco, Chapo y Natri. La instalación en el lago Natri sirvió también como referencia para las mediciones del lago Huillinco, debido a su cercanía.

La ubicación y tiempo de medición de la estación meterológica estan presentados en la siguiente tabla (Tabla 11):

Tabla 11 Localización de la estación meteorológica durante los períodos de medición

Lago	**Coordenadas geográficas**		**Tiempo de medición**	
	Latitud	Longitud	Desde	Hasta
Llanquihue	5443009	666255	17-12-2012 09:00PM	26-12-2012 10:00AM
Chapo	5406000	708000	21-10-2012 02:47PM	09-11-2012 17:47PM
Rupanco	5778000	702000	06-12-2012 09:00AM	16-12-2012 11:00PM
Natri	5260000	600000	10-11-2012 09:00AM	25-11-2012 13:00PM

2.4 BALANCE ESTIMATIVO DE NUTRIENTES Y CAPACIDAD DE CARGA PARA EL LAGO LLANQUIHUE (objetivo 4)

El diseño general para estimar el balance de nutrientes y la capacidad de carga para el Lago Llanquihue fue el siguiente:

1. Las entradas de agua provenientes de las laderas y pequeños esteros al lago Llanquihue se estimaron con el método de la Curva Numero (Soil

Conservation Service 1975). Las características de los suelos seobtuvieron de las series de suelo y los usos y/o cobertura del suelo se obtendrán de imágenes satelitales con verificación de terreno.

2. Las precipitaciones se obtuvieron de estaciones meteorológicas (Dirección General de Aguas, Dirección Meteorológica de Chile) cercanas al lago.
3. Para el cálculo de las cargas externas de nutrientes según el uso de suelo se usó principalmente información de la literatura (publicaciones de Roberto Godoy y Carlos Oyarzun - ambos Universidad Austral de Chile) que reportan índices de exportación de N y P para los distintos usos de suelos y precipitaciones en el centro-sur de Chile.
4. Con la combinación de la estimación del agua ingresada al lago y los índices de exportación de nutrientes para los diversos usos del suelo se obtuvieron las cargas de nutrientes ingresadas al lago. Los egresos se obtuvieron combinando la información de los caudales de salida del lago y las concentraciones en el desagüe.
5. Las demás cargas de P se obtuvieron con las estimaciones presentes en la información recopilada recientemente (pisciculturas, balsas jaulas, planta tratamiento, RILES etc.).
6. Las mediciones de P en la columna de agua se utilizon para estimar la cantidad total de P en el lago.
7. Se usó modelos predictivas de la literatura para comparar nuestras estimaciones con las cargas/contenido de P en los lagos calculados. Se realizó también una estimación de sensibilidad de los modelos con diferentes escenarios de calidad de datos disponibles.

A continuación se presenta la metodología mas detallada empleada:

2.4.1 Balance hidrologico anual lago Llanquihue

Se realizó una estimación del balance hidrológico anual del lago Llanquihue, utilizando la ecuación de continuidad:

$$R + P = S + Ev + D \pm \Delta L \quad (1)$$

Donde:
R = entradas ríos y/o esteros
P = precipitaciones
S = salidas río Maullin
Ev = evaporación lago
D = drenaje profundo lago
ΔL = variación de la reserva del lago

Las entradas vía ríos y/o esteros (R) se estimaron con el método de la Curva Numero (Soil Conservation Service 1975). Este método fue desarrollado a partir de datos de lluvia y escorrentía en pequeñas cuencas en Estados Unidos y ha llegado a ser un método ampliamente usado para predecir la escorrentía en cuencas con un amplio rango de superficies desde 0,25 ha hasta 1000 km^2 (Segovia y Hang 1996; Chagas et al. 2008). Este método ha sido especialmente diseñado para estimar escorrentías promedio de largo plazo.

La Curva Numero (CN) refleja la reacción de una superficie con un cierto uso de la tierra, suelo y vegetación en términos de la escorrentía, según las condiciones antecedentes de humedad del suelo. En otras palabras, la CN es el porcentaje de la lluvia incidente que llega a ser escorrentía.

La relación entre CN, almacenaje de agua y escorrentía es:

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

Donde Q = escorrentía (mm)
P = precipitación (mm)
S = parámetro de retención

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

$$S = (25400 - 254\ CN)/ CN \quad (3)$$

Donde CN = curva número (0 < CN > 100)

Para suelos impermeables CN = 100
Para suelos naturales CN < 100

Se definió la CN para cada tipo de cobertura y/o uso de suelo presente en las 16 subcuencas que componen la cuenca del lago Llanquihue, considerando un ajuste según la pendiente media de cada subcuenca. Luego, se aplicó la CN a las subcuencas definidas considerando el grupo hidrológico del suelo. La metodología de la CN considera 4 grupos hidrológicos que poseen distintas capacidades de infiltración (Ward y Trimble 2003). En el caso de las subcuencas del lago Llanquihue se consideraron suelos de clase A (con alta capacidad de infiltración) y suelos de clase B (con moderada capacidad de infiltración).

La determinación del volumen de escorrentía para las diferentes subcuencas con distintos usos de suelo se obtuvieron calculando una curva numero ponderada para cada subcuenca y luego usando las ecuaciones (2) y (3).

Las precipitaciones fueron obtenidas de estaciones meteorológicas (Dirección General de Aguas, Dirección Meteorológica de Chile) situadas en la cuenca del lago Llanquihue (Puerto Octay, Ensenada, Puerto Varas y Frutillar). Para las subcuencas con mayor altitud (subcuenca 10) se utilizó una estimación que relaciona precipitación-altitud realizada con datos de terreno citada en el trabajo de Campos et al. (1993). Las características de los suelos fueron obtenidas de las series de suelo y los usos y/o cobertura del suelo se obtuvieronde la actualización de la cobertura del catastro de bosque nativo (CONAF).

Las salidas por el río Maullin (S) se calcularon según datos corregidos de la estación hidrométrica de la DGA (río Maullin en Las Quemas) de acuerdo al informe del Ministerio del Medio Ambiente 40820-112-1120588 (2010), donde se calculó un caudal promedio de 71,7 m^3/s del río Maullin en la desembocadura del lago Llanquihue.

Las salidas por evaporación del lago (Ev) se estimaron con la ecuación de Meyer (1915), en Harrold et al. (1986) utilizando datos de una estación meteorológica instalada en la ribera del lago Llanquihue.

$$\mathbf{Ev = C(e_s – e_a) [1 + W/16]} \qquad \mathbf{(4)}$$

Donde:
C = coeficiente 0,36 para grandes lagos
e_s = presión de saturación del vapor de agua (mm Hg)
e_a = presión parcial del vapor de agua (mm Hg)
W = velocidad promedio del viento (km hr^{-1})

Las pérdidas debido al drenaje profundo (D) se estimaron por diferencia con la ecuación de continuidad (1) y las variaciones de la reserva del lago (ΔL) se consideraron igual a cero en un balance hidrológico anual.

2.4.2 Determinación del uso de suelo

Se realizó una actualización del uso del suelo está en base a la cobertura del catastro de bosque nativo (CONAF). El catastro para algunos sectores del área de estudio está en base a los años 1998-2006, por lo cual fue necesario re digitalizar la forma de los polígonos y verificar el atributo de éstos, estandarizándolos en la proyección y datum (WGS84 Huso 18S) y usando como imagen la cobertura Google Earth.

En esta etapa se re digitalizaron los polígonos, ajustándolos a la forma de la imagen sobre la cual se está trabajando, además se revisaron los atributos de cada uno de éstos, verificando si éstos corresponden al uso que se describe en el catastro o en la imagen se aprecia que el uso es distinto, con lo cual se procede a cambiar el atributo de acuerdo a la imagen.

Con este proceso queda el catastro actualizado a la imagen ej.Cobertura (Fig. 35, 36).

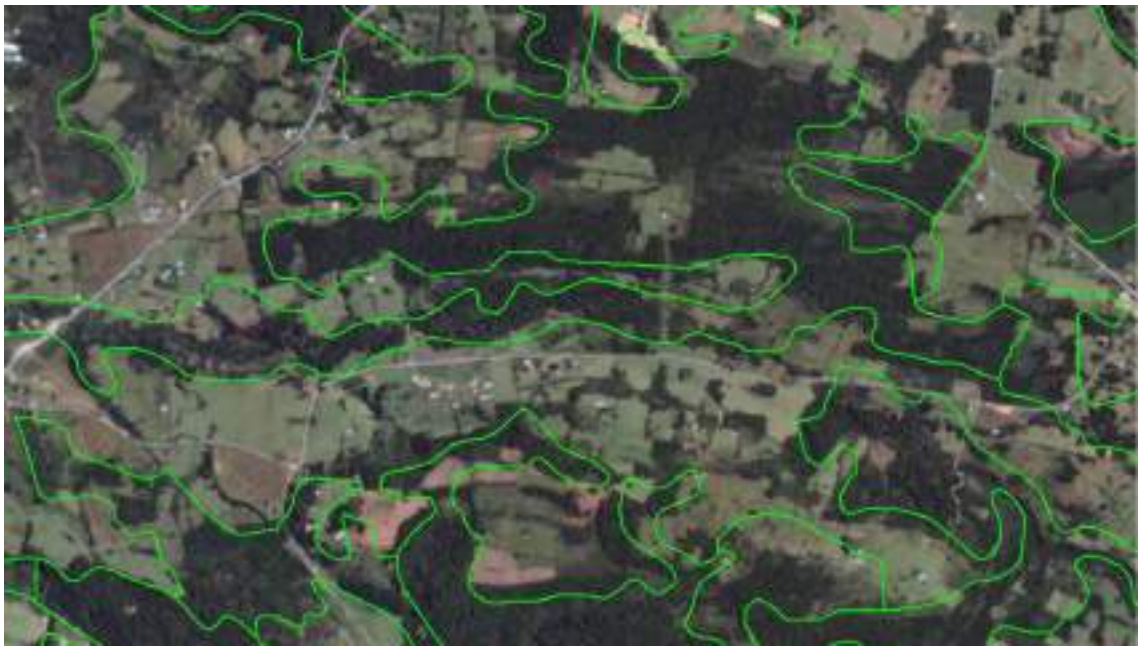


Fig. 35 Imagen satelital Catastro Original.

Fig. 36 Imagen satelital Catastro Ajustado.

DELIMITACIÓN DE SUB CUENCAS

A través de un modelo de elevación de terreno (DEM) se extrajeron las curvas de nivel cada 25 m, usando para esto el software ArcGIS 9.3. Este software tiene una aplicación Arc Hydro Tools9, la cual permite a través del modelo de elevación, generar en forma automática la delimitación de cuencas y

subcuencas, considerando algunos parámetros de entrada (área o número de pixel) y a través de este proceso se genera en forma automática, la delimitación de la cuenca y sub cuencas del área de estudio.

Esta cobertura de cuencas y sub cuencas generadas en la aplicación anterior, se revisaron en base a las curvas de nivel en un modelo 3D, en el cual se corrige, si fuese necesario, la delimitación de cuencas y sub cuencas generadas en la etapa anterior.

2.4.3 Determinación de exportación de nutrientes por uso de suelo

La Tabla 12 muestra los índices de exportación de nutrientes que se utilizaron para estimar la carga de nutrientes que ingresan al lago Llanquihue según los diversos usos del suelo. Los índices considerados provienen principalmente de diversos estudios realizados en pequeñas y medianas cuencas situadas en la cordillera de los Andes, centro-sur de Chile. En el caso del bosque nativo adulto, se han realizado bastantes estudios para diferentes tipos de bosques en ambas cordilleras. En este caso, seleccionamos aquellos índices que representaran de mejor forma la vegetación de bosque adulto presente en la cuenca del lago Llanquihue. En el caso de las precipitaciones, también hay diversos estudios realizados en ambas cordilleras, y para nuestro caso seleccionamos índices que fueran representativos de los sitios de la cordillera de los Andes cercanos a la cuenca del lago Llanquihue. En el caso de los índices que representan usos de suelo agrícola, praderas y matorrales se recurrió a un trabajo realizado en la cuenca del lago Rupanco (Oyarzún et al. 1997). Para praderas se consideró un índice que representaran las praderas ganaderas, uso de suelo muy frecuente en las subcuencas del lago Llanquihue. En el caso de los usos de suelo nieve y suelo desnudo se utilizó una aproximación a partir de los estudios realizados en el sitio experimental de San Pablo de Tregua, situado cerca del lago Panguipulli y en el Parque Nacional Puyehue (Godoy et al. 2001). Esta aproximación posee una gran incerteza, ya que no existen estudios donde ambos usos de suelo se hayan medido por separado. Se debe considerar que especialmente para los usos de suelo agrícola y matorrales, los índices provienen de estudios realizados en

pequeñas y medianas cuencas donde cada uso de suelo es predominante, coexistiendo con otros usos menores. Para plantaciones se utilizaron índices que provienen de pequeñas cuencas de la cordillera de la costa, cerca de Valdivia (datos no publicados). En el caso del uso de suelo urbano, se recurrió a la literatura (Steinberg et al. 2010), ya que no existen datos de exportación de nutrientes en cuencas urbanas en el centro-sur de Chile.

Tabla 12 Índices de exportación de nutrientes según la literatura.

Usos de suelo	**N-tot** µg/L	**P-tot** µg/L
Agricultura	314,7	28,7
Bosque nativo	67,3	4,9
Cuerpos de agua	95,6	8,6
humedales	95,6	8,6
Matorral	180,0	15,1
Nieve	67,8	67,3
Plantacion	225,8	12,0
Praderas	318,6	27,4
Suelo desnudo	67,8	67,3
Urbano	452,0	

2.4.4 Balance de nutrientes

Los egresos de nutrientes se obtuvieron combinando la información de los caudales estimados de la salida del lago (río Maullin) y las concentraciones de nutrientes en el desagüe.

Las demás cargas de P se obtuvieron con las estimaciones presentes en la información recopilada recientemente sobre las pisciculturas, otros RILES, balsas jaulas SISS etc..

Las mediciones de P en la columna de agua se utilizaron para estimar la cantidad total de P en el lago usando la metodología mencionada en 2.2.1.1.

Para estimar la carga de P y la capacidad de carga del Lago Llanquihue y para comparar nuestras estimaciones con las cargas/contenido de P en el lago

calculado se usó el modelo predictivo de la literatura (eq.6). Para estimar la sensibilidad del modelo se calcularon para dos diferentes escenarios la variación de los resultados obtenidos con el modelo predictivo. En detalle se calculó la variación del contenido de P en el lago Llanquihue variando el tiempo de renovación hidrológica y la carga de nutrientes correspondientes al tiempo de renovación.

3 RESULTADOS

3.1 LAGO PUYEHUE

3.1.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Puyehue tiene una superficie de 165 km^2 y una cuenca hidrográfica nueve veces mayor (Tabla 13). Su profundidad máxima y media es solamente 123 m y 76 m. Su tiempo de renovación es ~ 3,4 años (Campos et al., 1989).

Tabla 13 Características básicas del lago Puyehue.

Superficie (km^2)	165
Cuenca (km^2)	1510
Relación cuenca/lago	9,2
Volumen (km^3)	12,6
Profundidad máxima (m)	123
Profundidad media (m)	76
Tiempo de renovación (años)	3,4

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 14 resume la información recopilada sobre de lago Puyehue. Existen principalmente el estudio base de Campos y col. (1989), el proyecto FIP de la Universidad Austral de Chile (1992), el estudio de Soto (2002) durante los años 1992-1999 y el estudio estacional de Woelfl (2007) sobre el epilimnion del lago Puyehue. Además existe información acerca del uso de suelo presentado en el trabajo de León et al. (2007). En general se nota que la información disponible es relativamente escasa en comparación con otros lagos (p.e. lagos Chapo y Llanquihue) donde existen programas de monitoreo de calidad de agua durante varias décadas. Respecto a la información necesaria para realizar un balance

de nutrientes falta información, principalmente sobre las cargas de precipitación, centros acuícolas (en 1991) y otras cargas.

Tabla 14 Resumen de los datos disponibles para el lago Puyehue.
Chl a: clorofila a; PP: Producción primaria,
1.Campos et al.. (1989); 2: Universidad Austral de Chile (1992) Informe FIP; 3: León et al. (2007); 4: datos entregados por SubPesca; 5: Soto (2002); 6: Woelfl (2007)

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1980		primer mapa	1
Balance hídrico	1991/92			2
Tiempo renovación	1980/81		datos de ENDESA	1
Calidad química agua lago y efluente	1980/81 1991/92 1992-1999 2004		0-15-40-60-100m,una estación, mensual 0-20-85-115 (100)m, 2 estaciones, Estacional 2 estaciones, 2 muestras anuales Epilimnion, 4 muestras (no midió PT)	1 2 5 6
Calidad química agua afluentes	1980/81 1991/92		2 afluentes 15 afluentes	1 2
Cuantificación cargas centros		1991/92	no se realizó en 1991, solamente 1995-2012	2
Cuantificación carga otras fuentes		1991/92	no se realizó	2
Balance de nutrientes	1991/92			2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1998		catastro bosque	3
Biología	1980/81		Fito- (0-1-2-5-10-15-30m), zooplancton (0-100m), Chl a, PP (0-15 m); mensual	1
Infas			Datos no disponibles	
Producción peces	1995-2012			4
Régimen térmico	1980/81 1991/92		0-120 m, mensual 2 estaciones, 0-140m, estacional	1 2

El único estudio sobre el balance de nutrientes se realizó en el proyecto financiado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura durante 1991/92,

ejecutado por la Universidad Austral de Chile (investigador responsable: Dr. H. Campos).

A continuación se analiza los alcances y limitaciones de este estudio.

3.1.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

Campos y colaboradores realizaron 1991/92 el primer estudio sobre el balance de nutrientes y la capacidad de carga en un lago en Chile. Se muestrearon bimensualmente 15 afluentes, el efluente y dos estaciones pelágicas (centro y balsas Lever) a tres profundidades para determinar la concentración y cargas/descargas de nutrientes. Estos datos sirvieron finalmente para calcular el balance de nutrientes y la carga actual en comparación con la carga crítica calculada previamente con modelos predictivos.

APORTE DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES

Metodología - Se muestrearon bimensualmente (abril 1991 – marzo 1992) los 15 afluentes importantes del lago Puyehue midiendo entre otros parámetros básicos todas las fracciones de P (fósforo soluble, fósforo total[3]) y N (nitrato, nitrito, amonio, N orgánico). Simultáneamente se midieron la velocidad de la corriente con un correntómetro portátil (marca Stoppani) y contador mecánico, la profundidad (mínimo tres mediciones en la sección del río) y el ancho (con huincha metálica) de los ríos. Finalmente se calculó el caudal de los ríos. Para los principales ríos se obtuvieron datos sobre el caudal de la DGA. En otros casos se utilizó un promedio de caudal conocido.

Resultados – Como muestra la tabla 15, hay grandes diferencias en la importancia relativa de los 15 afluentes estudiados.

[3] PT – el parámetro que más nos interesa aquí – fue medido con el método del molibdato de tungsteno (Ambühl & Schmidt 1965).

Tabla 15 Caudal, concentraciones y cargas de P total (PT) de los 15 afluentes muestreados en la cuenca del lago Puyehue.

Río	caudal (L/s)	PT µg/L	Carga (ton P/año)	Carga (mgP/m^2/año)	%
Lican I	410	16,0	0,13	0,8	0,2
Piscicultura	244	11,0	0,08	0,5	0,1
Toique	806	9,7	0,19	1,2	0,3
Balsas	1	18,3	0,00	0,0017	0,0
Ne final playa	335	10,8	0,12	0,7	0,1
Gol-Gol	38587	32,3	33,88	205,3	44,0
Chanleufu	12680	19,6	6,93	42	9,0
Pescadero Chico	3358	41,1	2,62	15,9	3,4
Pescadero	6469	26,7	4,75	28,8	6,2
Nilque	5287	38,0	5,23	31,7	6,8
Futacullin	313	57,8	0,68	4,1	0,9
Lican	8378	23,5	5,41	32,8	7,0
Mantilhue	2340	62,7	4,31	26,1	5,6
Cardal	3585	74,6	7,57	45,9	9,8
Pichilafquen	s.d.	s.d.	5,14	31,12	6,7
Suma			**77,0**	**466,9**	**100**

El río Gol-Gol aportó con 44% a la carga total lejos la mayor parte, seguido por los río Cardal, Chanleufu y Lican. En total los afluentes aportaron 77,0 ton P durante un año al lago Puyehue.

Evaluación

Para verificar los cálculos de los caudales y de las cargas presentados en el informe se digitalizaron los datos (caudal, PT) y se repitieron los cálculos. Se confirma que los cálculos acerca de las cargas (pag. 79 en el estudio) son matemáticamente correctos, mientras las respectivas cargas de todos los ríos son completamente erróneos[4] (lo que no influyo en el balance de nutrientes donde se uso los datos correctos) Lo que no se puede validar, es la calidad de las mediciones de los caudales y de las mediciones de PT. En el informe no se puede identificar los caudales supuestamente entregados por la DGA, por lo cual no se puede validar esta información. Sin embargo, cabe mencionar que

[4]P.e. la carga por área y mes varía para el río Gol-Gol entre 1200 y 5000 mgPT/m^2/mes (pag. 38) cuando la carga total **por año** solamente fue en total 205,3 mgPT/m^2/año (tabla 6).

Campos et al. (1989) en su estudio línea base en 1980 entrega caudales considerablemente mayores para el río Gol-Gol (73.000 – 274.000 L/s versus 12000-68000 L/s en el estudio 1991/92) y el río Chanleufu (11.000 – 50.000 L/s versus 1520-28600 L/s en el estudio 1991/92). Por otro lado, la sumatoria de los caudales de todos los afluentes resulta en un aporte total de ~ 3,0 km^3/año, al cual habría que sumar las precipitaciones sobre el lago mismo (~0,5-0,6 km^3/año). Esta cantidad es casi la misma que en promedio salen del lago a través de su efluente (promedio: 1981-1991: ~ 3,78 km^3/año), lo que confirmaría que los caudales estimados para los afluentes parecen en el rango esperado.

Respecto a la calidad de las mediciones de PT en los afluentes, se nota grandes variaciones entre mediciones consecutivas, lo que es posible según otros estudios en esta zona[5]. Actualmente es imposible verificar la calidad de estas mediciones por falta de suficientes datos comparables. Sin embargo,cabe mencionar que las concentraciones de PT en los afluentes están dentro de los valores reportados por Campos et al. (1989) en su estudio línea base en 1980, donde se midió para el río Gol-Gol en promedio 53,5 µg P/L (rango: 6,2 – 236 µg P/L) y para el río Chanleufu en promedio 13,1 µg P/L (rango: 0,8 – 48,5 µg P/L).

Se concluye que hasta ahora no existe suficiente evidencia para dudar en las cargas de P provenientes de los afluentes.

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO PUYEHUE

Metodología - Se midió bimensualmente (Abril 1991-Marzo 1992) la concentración de nutrientes en dos estaciones pelágicas (centro y balsas Lever) a tres profundidades:

- estación centro: 0,1 – 20 -115 m
- estación balsas Lever: 0,1 – 20 – 85 m.

[5]UACH (2010) Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Ranco, cuenca del río bueno.Informe DGA S.I.T. Nº 239

UACH (2011) Antecedentes para evaluar el impacto económico y social de una norma secundaria de calidad de aguas en el lago Maihue, cuenca del río bueno" Informe DGA S.I.T.Nº 262

Ambos estaciones pelágicas están ubicados en el sector este, entre la Isla Fresia y la orilla oriental (Fig. 37). La estación Balsas Lever está ubicada cerca de las balsas jaulas de la empresa Lever. Sin embargo no se presenta más datos detalladas acerca de las balsas jaulas, como cantidad y volumen de producción durante el estudio etc..

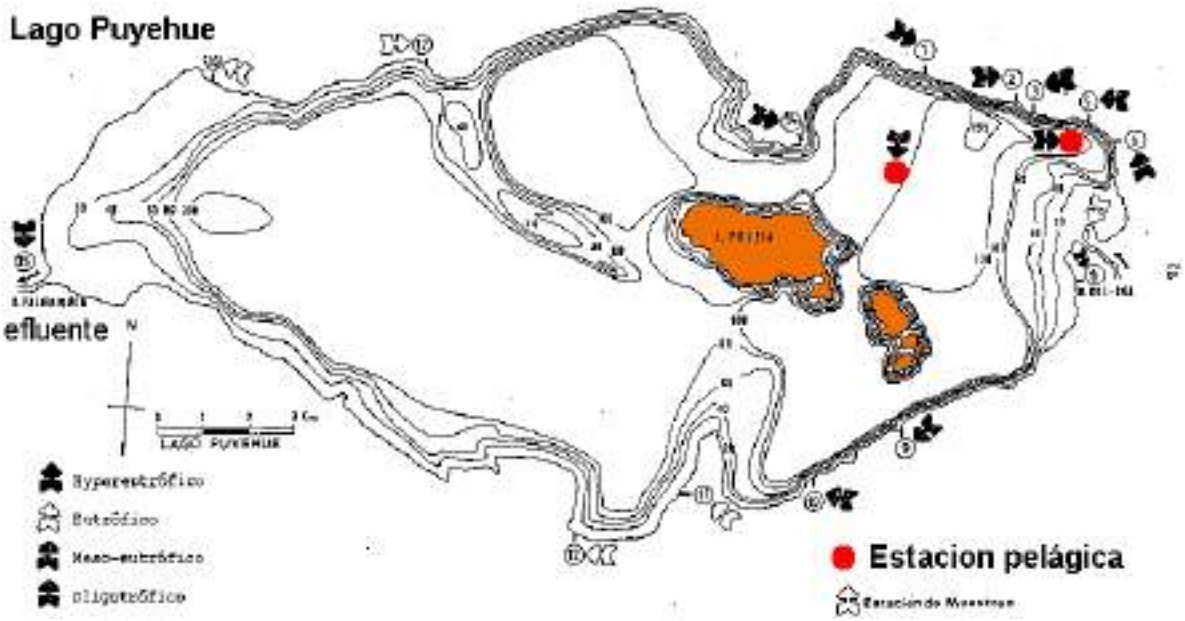


Fig. 37 Ubicación de las estaciones de muestreo en el lago Puyehue (fuente: UACH 1992, original levemente modificado).

Resultados – La tabla 16 muestra los valores de PT (y otros parámetros de interés como nitrógeno y DQO) para ambas estaciones pelágicas. En la figura 38 se presenta además el PT de las 2 estaciones. Se nota grandes variaciones en las concentraciones de PT con valores mínimos-máximos de 3,4 – 57,6 µgP/L reportado para la estación Balsas Lever y 2,7 – 44,5 µgP/L en la estación Centro. Las concentraciones promedias fueron 16,9 µgP/L (estación Balsas Lever) y 11,6 µgP/L (estación Centro).

Tabla 16 Datos sobre DQO y nutrientes en el lago Puyehue durante 1991/92 (fuente: UACH 1992, original levemente modificado).
Marcas rojas: valores altos, marcas azules: valores bajos

Balsas Lever

	1991 ABR	JUN	AGO	OCT	DIC	1992 MAR	Prom. total	Valor max.	Prom. total
DQO mg/l (0.1 m)	20.7	5.2	15.9	1.3	1.7	2.6	7.9	20.7	9.3
(20 m)	35.9	5.2	1.3	1.7	8.2	2.6	9.2	35.9	
(85 m)	49.7	0.9	0.9	3.9	0.9	9.0	10.9	49.7	
PO4-P µg/l (0.1 m)	1.4	2.0	2.5	0.3	1.0	1.5	1.6	2.5	1.7
(20 m)		2.0	2.2	0.3	0.7	1.3	1.3	2.2	
(85 m)	3.0	2.7	2.0	0.5	1.3	2.1	2.1	3.0	
P tot.(µg/l)(0.1m)	6.5	15.4	30.5	7.0	15.2	7.0	15.2	30.5	16.9
(20 m)	9.0	15.4	39.9	3.4	13.7	4.5	14.5	39.9	
(85 m)	57.5	10.0	36.6	5.2	9.9	5.1	20.9	57.6	
NO3-N µg/l (0.1 m)	29.6	63.4	01.0	25.6	25.6	185.6	68.6	185.6	65.6
(20 m)		63.4	117.4	31.5	25.6	15.4	50.7	117.4	
(85 m)	133.2	100.0	93.7	70.9	114.4	252.0	131.0	262.0	
NH4-N (ug/l)(0.1m)	33.2	6.7	1.7	1.7	0.0	1.0	7.5	33.2	6.3
(20 m)	0.0	6.7	1.7	0.0	7.1	6.3	3.0	7.1	
(85 m)	23.9	0.7	1.7	6.0	0.0	4.5	7.6	23.9	
N organico µg/l(0.1m	95.5	42.0	39.9	0.4	11.6	3.7	32.3	95.5	35.3
(20 m)	126.3	42.0	57.9	4.6	1.6	9.7	40.5	126.3	
(85 m)	25.7	17.5	65.0	50.9	20.0	19.5	33.1	65.0	

Lago Centro

	1991 ABR	JUN	AGO	OCT	DIC	1992 MAR	Prom. total	Valor max.	Prom. total
DQO mg/l (0.1m)	13.0	0.0	3.9	6.5	2.2	3.5	5.0	13.0	6.1
(20 m)	12.4	0.2	3.9	6.0	1.3	1.3	4.2	12.4	
(115 m)	9.7	31.0	4.7	9.0	0.0	1.3	9.3	31.0	
PO4-P µg/l (0.1m)	2.7	1.6	2.2	0.5	1.2	1.0	1.7	2.7	1.0
(20 m)	1.7	1.5	2.5	0.3	1.6	1.6	1.5	2.5	
(115 m)	2.0	2.3	2.5	2.6	1.4	1.4	2.2	2.0	
P total (µg/l)(0.1m)	15.6	0.3	9.9	9.3	0.1	17.5	11.5	17.5	11.5
(20 m)	10.0	20.1	44.5	6.4	13.2	4.1	16.4	44.5	
(115 m)	3.7	17.3	9.5	2.7	4.4	4.0	7.1	17.3	
NO3-N µg/l (0.1m)	11.7	56.0	87.0	25.6	31.5	44.7	42.9	87.0	55.7
(20 m)	9.7	63.4	99.6	25.6	52.2	15.4	44.3	99.6	
(115 m)	95.4	115.4	87.0	75.9	7.0	97.9	80.0	115.4	
NH4-N (ug/l)(0.1m)	7.3	5.7	4.1	6.0	0.0	0.0	4.0	7.3	5.9
(20 m)	4.6	9.6	2.3	7.6	1.0	9.0	5.9	9.6	
(115 m)	0.2	0.0	4.1	33.1	0.9	0.0	7.7	33.1	
N organico µg/l (0.1	100.0	5.7	65.0	99.3	35.7	13.6	54.9	100.0	33.0
(20 m)	82.6	1.6	32.7	0.0	15.0	10.6	26.9	82.6	
(115 m)	25.7	0.7	43.5	32.9	9.0	5.7	19.6	43.5	

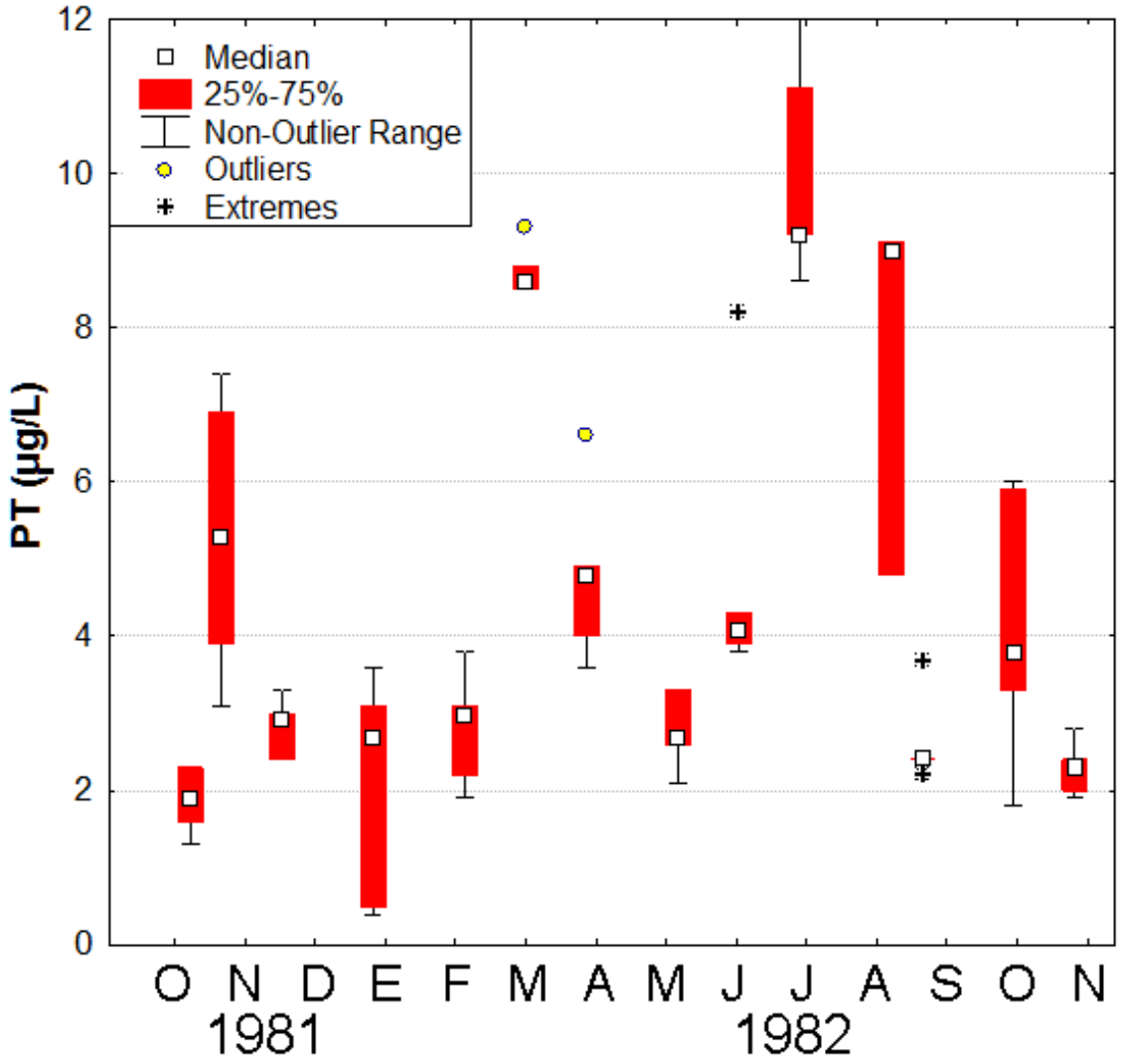


Fig. 38 PT en la estación central del lago Puyehue

Evaluación

Ubicación de las estaciones pelágicas

Ambos estaciones están ubicados en la bahía oriental del lago entre las dos islas del lago y la orilla este.

Además están relativamente ubicados en el sector del afluente principal (río Gol-Gol) y de las balsas jaulas de la empresa Lever, lo que quizás podría haber aumentado un poco las concentraciones de PT en la columna de agua. Hubiera sido mejor ubicar una tercera estación pelágica en el sector occidental del lago entre el efluente y las dos islas para cubrir así más equitativamente la superficie del lago, lo que por ende hubiera resultado en una estimación más

robusta del contenido total de nutrientes en el lago, necesario para realizar un confiable balance de nutrientes.

Profundidades muestreadas

En ambas estaciones se eligieron solamente tres profundidades, una superficial, una en 20 m (corresponde aproximadamente al termoclina) y una sobre el fondo. Según recomendaciones internacionales (Nueva Zelandia: Burns et al. 2000) se debería tomar por lo menos 4 muestras (2 en el epilimnion, 2 en el hipolimnion). En los estudios sobre el balance de nutrientes de la UACH en los lagos Villarrica, Ranco y Maihue (véase detalles mas abajo) se muestrearon incluso 10-13 profundidades, lo que es aconsejable para lagos con profundidades máximas sobre 100 m.

Se concluye que el número de profundidades muestreadas (tres) por cada estación de monitoreo es más bajo que la generalmente recomendada, lo que aumenta naturalmente la incertidumbre en la estimación del contenido total de nutrientes en el lago, especialmente si existen datos dudosos (véase abajo).

Validación de los datos

Los valores de PT reportados son en parte (25% en la estación Balsas Lever, 33% en la estación centro) altos (PT > 10 µg/L) – incluso en una ocasión 44,5 µgP/L (Tabla 16). Otros estudios en este mismo lago (Campos et al. 1989, Soto 2002) han reportado valores generalmente más bajos como muestran la tabla 14 y la figura 45. Aunque se observa en el año 1980/81 también ciertas incoherencias (valores altos en marzo y julio) en los valores de PT medidos, destaca que en promedió los valores de PT fueron mucho más bajos (4,4 ± 2,8 µgP/L) que en 1991/92 y que ningún valor fue mayor de 12 µgP/L (Tabla 17).

Tabla 17 Datos sobre nutrientes en el lago Puyehue durante 1980/81 (fuente: Campos et al. 1989, original levemente modificado). Marcas rojas: valores altos, marcas azules: valores bajos

CUADRO 3.

Variación estacional de nitrato y fosfatos del lago Puyehue (– = no medidos).

	1980 Prof.	Oct.	Nov.	Dic	1981 Ene.	Febr.	Marzo	Abr.	May.	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
NO_3^- -N ug/l	0.1	50	60	180	310	80	130	210	100	250	240	240	90	110	110
	5.0	70	100	280	160	70	*230	180	90	310	290	250	80	80	100
	15.0	80	160	210	230	100	260	190	130	190	260	280	50	120	110
	60.0	70	80	140	340	60	460	780	190	450	290	–	50	200	120
	100.0	110	70	230	350	90	560	1030	720	560	340	–	90	190	140
PO_4 - P ug/l	0.1	1.2	2.7	0.7	0.2	2.2	6.5	1.0	2.3	2.1	2.1	3.4	1.5	0.7	0.7
	5.0	1.9	4.2	2.3	0.2	1.6	2.3	0.9	0.6	2.1	2.0	2.5	1.0	0.3	1.0
	15.0	0.2	2.3	2.4	3.2	2.6	2.8	2.1	2.6	2.1	2.1	2.6	0.7	0.3	1.5
	60.0	1.2	3.7	2.5	2.6	1.4	4.6	3.9	2.0	3.1	2.5	–	1.1	3.0	1.4
	100.0	2.0	5.3	3.1	2.8	3.4	4.9	2.3	2.6	7.9	2.2	–	0.6	4.9	1.1
P total ug/l	0.1	1.6	3.1	2.4	0.4	3.0	8.5	3.6	2.7	3.9	8.6	4.8	3.7	1.8	2.0
	5.0	2.3	5.1	2.4	0.5	2.2	8.6	4.0	3.3	4.1	11.1	9.1	2.4	3.3	2.3
	15.0	1.3	7.4	3.0	3.6	3.1	9.3	4.9	2.6	3.8	12.1	9.0	2.4	5.9	1.9
	60.0	1.9	3.9	2.9	2.7	1.9	8.8	6.6	2.1	4.3	9.2	–	2.4	3.8	2.8
	100.0	2.3	6.9	3.3	3.1	3.8	8.5	4.8	3.3	8.2	9.2	–	2.2	6.0	2.4

43

En el estudio de Soto (2002) se reporta para 8 años valores bastante variables, desde 16 µgP/L en 1992 hasta 2 µgP/L en 1994 (lo que debería ser analizado también críticamente desde el punto de vista metodológico). Sin embargo, en promedio se midió solamente 8,1 µgP/L (1992 – 1999) y la mayoría de los valores fue <9 µgP/L (Fig. 39).

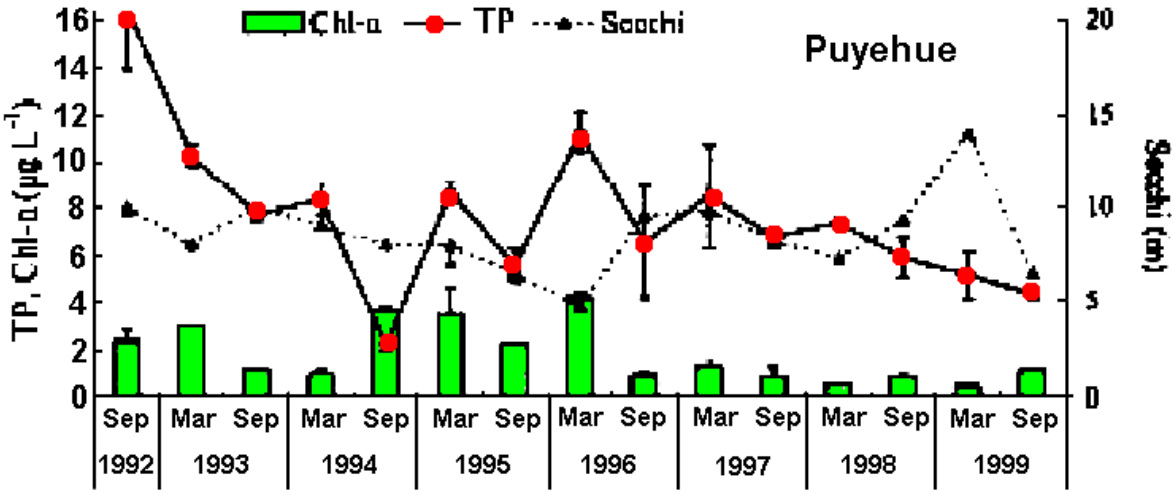


Fig. 39 Datos sobre PT en el lago Puyehue (promedio ± error de estándar) durante 1992-1999 (fuente: Soto 2002; original levemente modificado).

Volviendo a los datos de 1991/92 se puede constatar que estos valores – especialmente los de la estación centro - no son coherentes con lo que se deberíaesperar para un lago araucano con similares características según estudios de este consultor durante los últimos cinco años[6]. Estos estudios se muestrearon en los lagos Villarrica, Ranco y Maihue mensualmente en 10-13 profundidades (superficie – fondo) en una a cuatro estaciones pelágicas los nutrientes. Las tendencias generales fueron similares en los tres lagos estudiados:

- *los perfiles verticales de PT son bastante homogéneos (DS: desviación estándar < 20% del promedio de la columna de agua), también durante el verano*

[6]Véase Informes DGA S.I.T. Nº 239, Nº 262 y Nº278 y Informe FNDR Región de la Araucanía 2009: Diagnostico de la calidad de las aguas del lago Villarrica

- *el contenido total de P varía entre meses no más que 10-20% (DS) del promedio anual*
- *solamente sobre el sedimento se puede esperar un leve aumento de PT*

Estas tendencias reportadas concuerdan también con el régimen térmico y especialmente hídrico de estos lagos. Tienen una renovación teórica de sus aguas que no supera el 5% de su volumen por mes, por lo cual no se puede esperar aumentos o disminuciones muy drásticos en un lago araucano, salvo por algún proceso natural (erupción volcánica, ingreso de aguas termales, incendios grandes etc.) o humano de magnitud muy considerable y brusca.

En este sentido se puede concluir que los valores muy variabales de PT, tanto entre meses como en profundidad, no se ajustan a las tendencias generales esperadas para un lago araucano. Por esta razón este consultor estima que por lo menos los altos valores reportados (> 10 µg P/L) son cuantificaciones muy dudosas o erróneas, probablemente causadas por problemas analíticos similares a los que reportó Woelfl et al. (2003)[7] para el set de datos del lago Riñihue.

EGRESO DE NUTRIENTES POR EL EFLUENTE

Metodología – Se muestreó el efluente (río Pilmaiquen) bimensulamente en 0,1 y 6 m de profundidad.Como caudal promedio se tomaron datos promedios de los últimos 10 años (120 m^3/s), datos facilitados por la DGA.

Resultados – Los valores de PT en el efluente están en el mismo rango que los valores superficiales en la estación centro, con valores entre 10 y 15,5 µg P/L en 8 de 12 casos (Tabla 18). También se registra en 2 ocasiones grandes diferencias (factor 3-5) entre la superficie y 6 m de profundidad. En los restantes 4 fechas las concentraciones de PT en el efluente son prácticamente homogéneas como se debería esperar en un efluente. El promedio anual fue 9,6 µg P/L. Asumiendo un caudal promedio de 120 m^2/s, por el efluente saldrían por año 36,3 ton fósforo.

[7]Woelfl, S., Villalobos, L, Parra, O. & Campos H. 2003. Trophic parameters and method validation in Lake Riñihue (North Patagonia: Chile) from 1978 through 1997. *Revista Chilena História Natural* 76: 459-474

Tabla 18 Datos sobre DQO y nutrientes en el efluente del lago Puyehue durante 1991/92.
(fuente: UACH 1992, original levemente modificado).
Marcas rojas: valores altos, marcas azules: valores bajos

Rio Pilmaiquen

	1991 ABR	JUN	AGO	OCT	DIC	1992 MAR	Prom. total	Valor max.	Prom. total	Valor min.
DQO mg/l (0.1 m)	1.4	7.3	22.8	5.2	3.0	2.6	7.1	22.8	6.0	1.4
(6 m)	0.0	3.9	15.1	6.9	0.4	3.9	5.8	15.1		0.0
PO4-P µg/l (0.1m)	2.0	1.4	2.3	1.1	1.2	1.5	1.6	2.3	1.5	1.1
(6 m)	2.0	1.0	1.9	0.9	1.6	1.4	1.5	2.0		0.9
P total (µg/l)(0.1m)	12.1	11.0	3.7	4.7	2.5	15.5	8.3	15.5	9.6	2.5
(6 m)	13.0	11.0	10.9	4.9	12.3	12.9	11.0	13.8		4.9
NO3-N µg/l (0.1m)	1.0	36.2	01.0	07.0	25.6	46.7	46.7	07.0	42.7	1.0
(6 m)	1.0	1.6	100.5	70.0	37.4	12.0	30.7	100.5		1.6
NH4-N (ug/l)(0.1m)	10.2	1.9	3.3	4.2	0.0	0.9	3.4	10.2	4.7	0.0
(6 m)	11.1	1.0	2.5	17.0	2.7	0.9	6.0	17.0		0.9
N org. (µg/l)(0.1m)	50.0	1.9	29.2	57.2	53.4	71.0	45.3	71.0	36.3	1.9
(6 m)	45.7	13.3	22.0	17.7	53.4	11.6	27.3	53.4		11.6

Evaluación

Similar a las observaciones realizadas acerca de las parcialmente altas concentraciones de PT en las estaciones pelágicas, también los valores de PT en el efluente sobrepasan (incluso en 60%) los valores máximos generalmente usados para clasificar un lago oligotrófico (10 µg P/L). Desafortunadamente no existen otros datos sobre la concentración de PT en el efluente del lago Puyehue, por lo cual se hace difícil validar los datos presentados. Extraño es que en dos de 6 ocasiones se encontraron grandes diferencias entre la superficie (bajos concentraciones) y 6 m de profundidad (altas concentraciones).

Se concluye que las concentraciones de PT medido en el efluente están en el rango previamente reportado para las estaciones pelágicas, sin mostrar valores tan extremos (altas). Los cálculos de la descarga son matemáticamente correctos.

BALANCE DE FOSFORO TOTAL

Metodología y resultados – Los cálculos del balance de nutrientes está desarrollada - siguiendo el orden aplicado en el informe (cap. 2.4) – de la siguiente forma:

1) Primero se calcula la carga de PT de los afluentes sumando las cargas individuales anuales de cada afluente (ver arriba).

   Resultado - 466,9 mgP/m^2/año o **77,0 ton** de P por año aportan los afluentes al lago Puyehue durante un año

2) Después se calcula la concentración promedio de PT que debería tener el lago con esta carga recibida por los afluentes usando un modelo predictivo (similar al procedimiento explicado en el capítulo 2.2.1.1.).

$$P = \frac{L_N * (1 - R)}{\bar{Z} * \rho}$$

$$R = \frac{1}{1 + 1/\tau_w}$$

L_N = 466.2 mg/m²/año
τ_w = 3.4 años
$\bar{Z}$ = 76.3 m
ρ = 0.29

donde: R = 0.64

El valor resultante fue **7,58 µg P/L**, es decir la columna del lago Puyehue debería tener esta concentración promedio anual considerando únicamente la carga de los afluentes. Multiplicado con el volumen del lago (12,6 km^3) el lago debería contener consecuentemente **95,5 ton** de PT.

Sin embargo, se constata aquí que el lago tiene en promedio **14,3 µg P/L**según las mediciones realizadas correspondiendo a **180,2** ton de P. De allí se concluye que el lago tiene "un superávit" de 180,2 – 95,5 = **84,7 ton** de P, es decir el lago contiene prácticamente el doble de P que debería tener de acuerdo al modelo predictivo aplicado considerando en este escenario la carga de los afluentes como **único ingreso** de P al lago.

3) Luego usando el mismo modelo predictivo, pero ahora reajustándolo para calcular la supuesta carga que debería tener el lago para producir el promedio de P medido en el lago o sea los **14,3 µg P/L**.

Resultado - la carga debía haber sido **878,9** mgP/m^2/año o **180,2** ton P. Se constata aquí que hay una diferencia de **68 ton P**, lo que significa que debería existir un carga extra, no cuantificada de **68 ton P** para explicar la concentración medida en el lago (14,3 µg P/L)**.**

Después se calcula la carga crítica según la fórmula de Vollenweider (1974)

$$L_c = 17 \cdot \left(\frac{\bar{z}}{T_w}\right)^{0,6} \cdot \bar{z}^{0,4}$$

Donde L_c (= carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (z) y el tiempo de renovación teórica (T_w) del lago (= 3,4 años,).

Resultado - La carga crítica para el lago Puyehue es **622,4 mg P/m^2/año** o **102 ton P/año**.

Finalmente se realiza un resumen del balance de nutrientes, que se presenta a continuación en una copia del texto original por ser relativamente difícil de entender:

Resúmen:

a) En el volúmen del lago: = cantidad de P en el lago

- calculado : 95.5 ton. segun carga afluentes
- medido : 180.2 ton. medido en columna
- superavit : 84.7 ton.

mejor "diferencia"

Efluente río Pilmiquén saca del lago 36.3 toneladas al año, es decir:

- salida : 36.2 ton.
- superavit : 84.2 ton. debe ser 84,7 ton ?
- extra : 48.0 ton. = 84,2-36,2 ton

b) en el área:

Carga

- calculado de los afluentes : 466.2 mg*m²/año
- calculado en el lago : 878.9 "
- según concentración actual : 412.7 " debe decir: carga extra no considerado ?

En el área de 165.4 km² el superavit es de 68.3 toneladas.

c) La carga medida del lago fue de 878.9 mg*m²/año menos su concentración para mantener al lago en condiciones de oligotrofia nos da: 256.5 mg*m²/año. (878.9 - 622.4 = 256.5 mg/m$_{\text{sl}}$).

Este valor nos indica que el lago no alcanza un valor de eutroficación pero, está sobrepasado del nivel mínimo.

Evaluación

En primer lugar hay que afirmar que todos los cálculos realizados son matemáticamente correctos[8]. Sin embargo el desarrollo del balance de nutrientes en general es en su esencia conceptualmente erróneo y presentado en forma poco clara (véase abajo).

Respecto a la estimación de la carga crítica -como se explicó ya en el capítulo 4.2 – la ecuación usada es similar a la más utilizada a nivel mundial, incluso entrega prácticamente el mismo resultado. Por lo tanto se concluye que la carga crítica esta satisfactoriamente calculada.

Una gran limitación del estudio fue que se consideró exclusivamente cargas provenientes de los afluentes. Otras posibles fuentes de nutrientes como por ejemplo las precipitaciones directas sobre la superficie del lago, las mismas balsas jaulas en el lago y otras actividades humanas (asentamientos etc.) no se consideraron. Obviamente hubieran disminuido un poco la diferencia

[8] *hay un error de tipeo en la página 82, arriba, donde dice "56,5 mg/m^3. Debe decir "256,5 mg/m^3*

(denominado extrañamente como "superavit") entre la carga medida en los afluentes y la supuesta carga calculada – en el informe esta denominación es al revés – como para explicar las (altas) concentraciones de P medidas en la columna del lago. Este aspecto no se menciona ni se discute en el informe.

Respecto al uso del modelo predictivo, se vuelve a reiterar (véase 2.2.1.1) que se debería usar este modelo mas para corroborar la precisión de la estimación de las propias mediciones, es decir de las cargas que generalmente puede ser difíciles de estimar y en segunda lugar la cuantificación del contenido de P en el lago (que depende de las cargas y descargas incluyendo sedimentación).
Si se hubiera usado el modelo predictivo en este estudio de esta manera, se debería haber interpretado las grandes diferencias entre la carga medida y la supuesta carga existente (calculado con el modelo) para explicar el contenido de P en el lago (en este estudio la relación entre las cargas fue: 180,2/77 = ***2,34*** *veces) de otro modo, tratando de responder las siguientes preguntas:*

- *¿Se consideró todas las cargas?*
- *¿Las cargas están bien medidas/calculadas?*
- *¿Las concentraciones de P en el lago están bien medidas?*
- *¿Hay errores analíticos y otros tipos errores?*

Sin embargo, en el estudio de la UACH no se discuten posibles problemas en el balance de nutrientes (virtualmente faltan según sus cálculos aprox. 65% de la carga), probablemente porque no se consideran posibles problemas e incoherencias.
Un cierto error en la determinación del contenido de P en la columna de agua se produjo también por haber utilizado simplemente el promedio (total) de las tres mediciones de P realizadas en tres diferentes profundidades sin considerar su peso relativo respecto al volumen de lago que representan las diferentes profundidadas. Además promediaron los valores de P de las 2 estaciones (Balsas Lever: 16,9 µgP/L) y centro (11,6 µgP/L) lo que muy probablemente resultó en una sobreestimación del contenido de P en la columna de agua del lago Puyehue.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye que este estudio sobre el balance de nutrientes para el lago Puyehue es en su resultado final dudoso principalmente porque

- *hay incoherencias en las mediciones de P total en la columna de agua del lago*
- *no se considerá otras cargas salvo los aportes de los afluentes*
- *lo que resulta en una incoherencia entre las cargas medidas y calculadas siendo prácticamente 2 veces mayores que las medidas*

La tabla 19 resume esta evaluación de la siguiente forma:

Tabla 19 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Puyehue (1991/92).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	Coherente con línea base		
Cuantificación cargas afluentes	Parecen coherentes, no se pudo validar los datos		
Cuantificación carga precipitación	No se realizó		
Cuantificación carga centros acuícolas	No se realizó		
Cuantificación otras cargas	No se realizó		
Contenido P lago	Incoherencias de datos,sobreestimación de valores		
Descarga efluentes	Incoherencias, datos muy variables		
Modelos utilizados	Apropiados		
Balance de P	incoherencia de datos, Alta diferencia entre P medido y calculado discrepancia entre cargas medidas y calculadas		

3.1.3 Producción de peces

El lago Puyehue presenta 2 concesiones otorgadas, con una producción activa que alcanza en promedio 736 (ton/año) en el periodo 1995 -2012 (Fig. 40, Tabla 20). En este periodo se observa un aumento en el volumen de producción, la cual se acentúa a partir del año 2007, cuando los registros indican montos sobre las 900 (ton/año), llegando incluso en el 2008 y 2009 a un peak de casi 1600 (ton/año).

La concesión de mayor volumen de producción total de salmones en las aguas del Puyehue, corresponde a la concesión 100578, la cual representa el 67% de los registros informados, con una producción promedio para el periodo en estudio de 338 ton/año (1995-2004) y 779 ton/año (2005-2012) (Fig. 41). Esta concesión presento sus mayores volúmenes de producción entre los años 2007 y 2010 donde se alcanzan rangos de producción entre los 2000 y 4000 (ton/año).

Le sigue la concesión N° 100578, la cual representa un 33% de la producción, con montos que alcanzan las 836 (ton/año). Aunque en menor porcentaje que el centro 100205, esta concesión también presenta un marcado aumentode su producción entre los años 2008 y 2011, donde se informan los mayores aportes que oscilan entre las app. 336-836 (ton/año).

Tabla 20 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Puyehue durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**1995-2004**	**2005-2012**
Sin nombre	100205	338	734
Sin nombre	100578	113	357
	TOTAL	**452**	**1090**

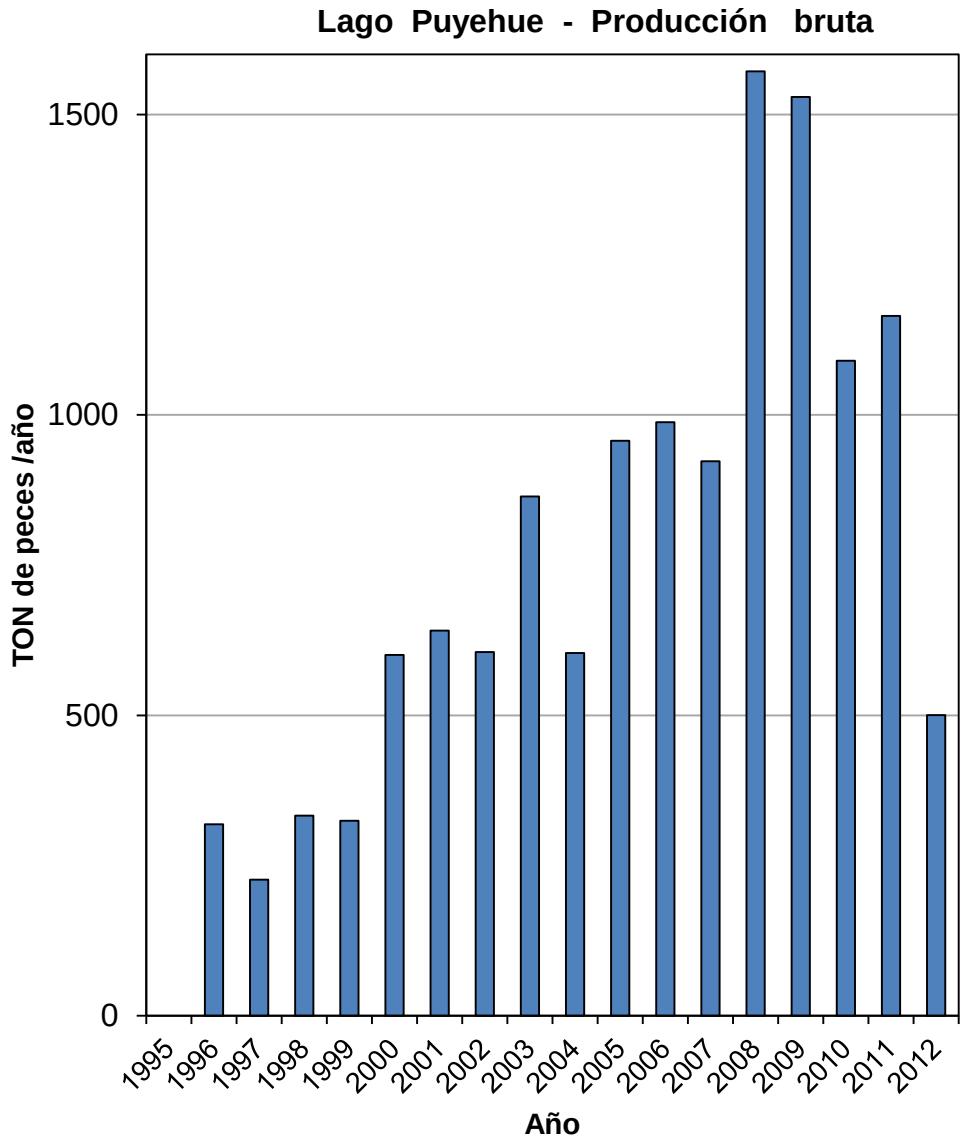


Fig. 40 Producción bruta total de salmones (ton/año) en el Lago Puyehue durante el periodo 1995-2012.

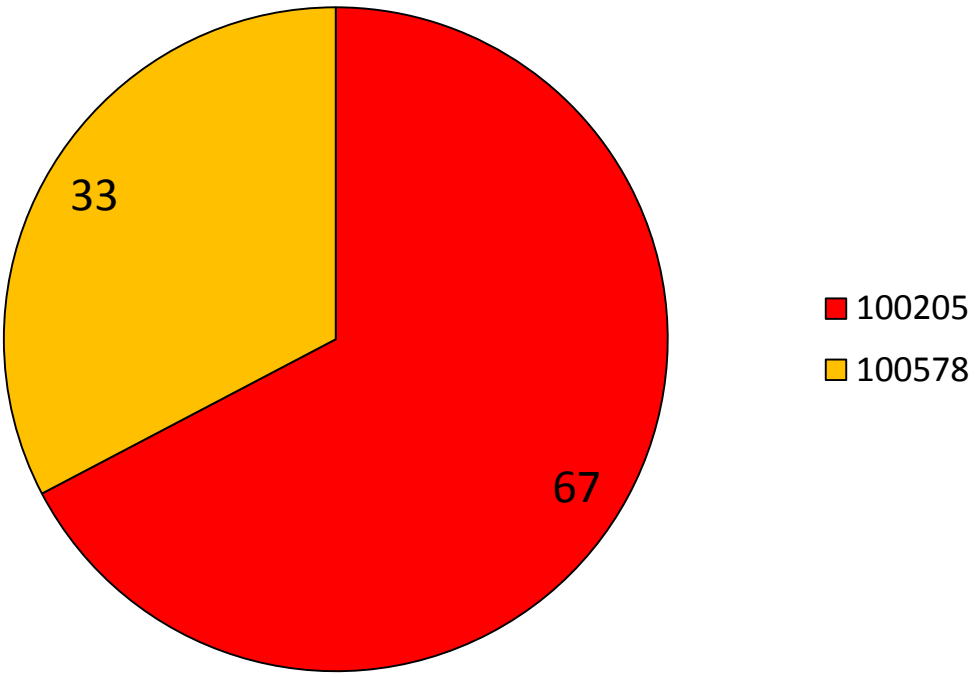


Fig. 41 Producción de salmones (porcentaje) por centro acuícola en el Lago Puyehue durante el periodo 2005-2012.

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.1.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Fig. 42, Tabla 21).

Los 2 centros de producción existentes en el lago Puyehue aportaron con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre 1,8- 14,0 ton/año. En general, se observa un incremento continuo desde el año 1996 (2,3-3,0 ton/año) hasta alcanzar valores entre 11,4-14,0 ton P/año en 2007/2008. Posteriormente disminuye la carga en 2010/ 2011 (7,7 – 10,4 ton/año) y 2012 (3,1-3,6 ton/año).

El porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P fue el mismo que a la producción de peces, es decir el centro 100205 aportó

con app. 2/3 de la carga total, mientras que el aporte del centro 100578 solo aportó app. 1/3 de la carga de P asociada a la producción de salmones en el lago Puyehue.

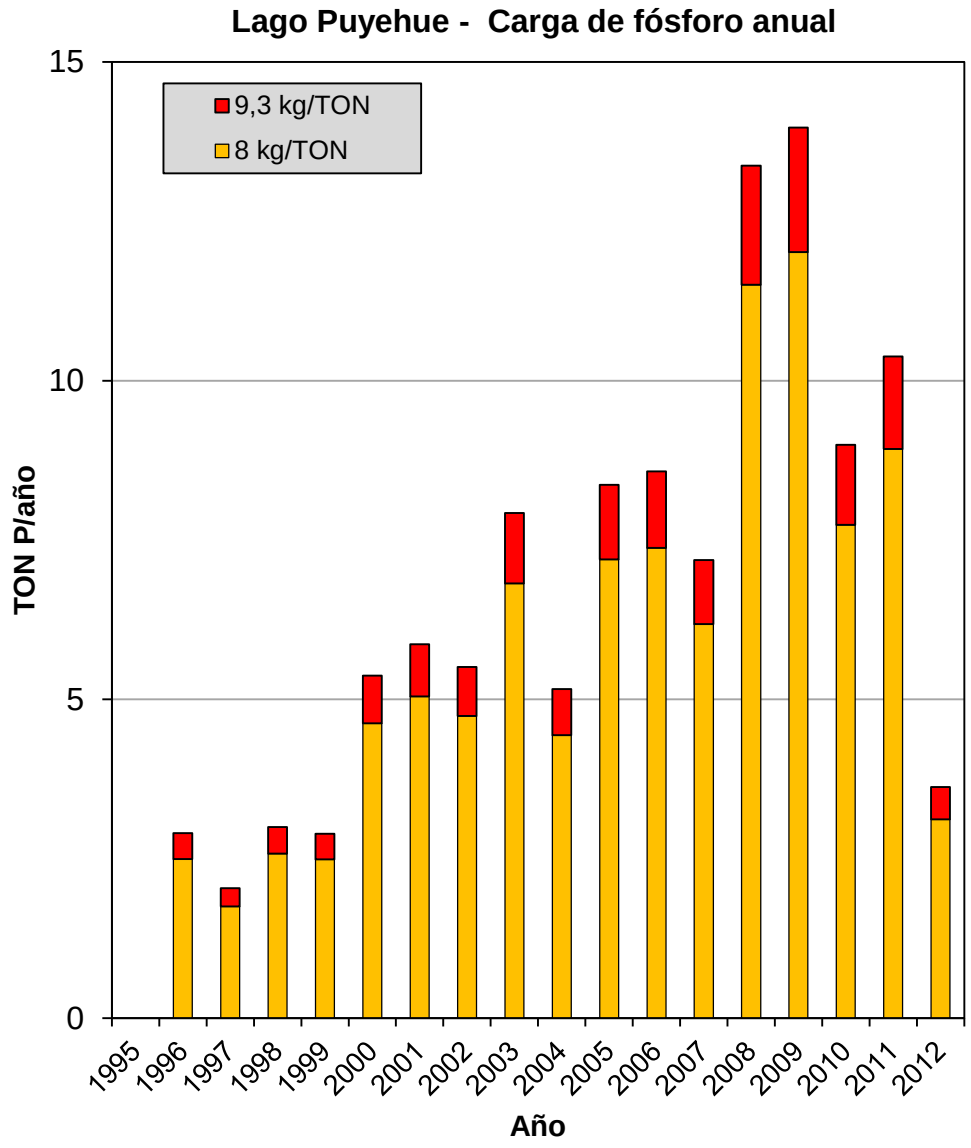


Fig. 42 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Puyehue.

Tabla 21 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Puyehue durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	100205		100578		**Total**	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	**MIN**	**MAX**
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	**0,0**	**0,0**
1996	0,3	0,3	2,2	2,6	**2,5**	**2,9**
1997	0,6	0,7	1,2	1,4	**1,8**	**2,0**
1998	1,3	1,5	1,3	1,5	**2,6**	**3,0**
1999	1,5	1,7	1,0	1,2	**2,5**	**2,9**
2000	3,0	3,5	1,6	1,9	**4,6**	**5,4**
2001	4,7	5,4	0,4	0,4	**5,0**	**5,9**
2002	4,7	5,5	0,0	0,0	**4,7**	**5,5**
2003	6,2	7,2	0,6	0,7	**6,8**	**7,9**
2004	4,0	4,7	0,4	0,5	**4,4**	**5,2**
2005	6,7	7,8	0,5	0,5	**7,2**	**8,4**
2006	7,0	8,2	0,4	0,4	**7,4**	**8,6**
2007	5,5	6,4	0,6	0,8	**6,2**	**7,2**
2008	6,2	7,2	5,3	6,2	**11,5**	**13,4**
2009	5,4	6,3	6,6	7,7	**12,0**	**14,0**
2010	3,1	3,6	4,6	5,4	**7,7**	**9,0**
2011	6,3	7,3	2,6	3,1	**8,9**	**10,4**
2012	2,7	3,2	0,4	0,5	**3,1**	**3,6**
TOTAL	**69**	**81**	**30**	**35**	**99**	**115**

3.1.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas del lago Puyehue.

3.1.6 Evaluación del estado trófico del lago Puyehue

Para el lago Puyehue existen solamente datos históricos disponibles de los años 1981/82, 1991/92, 1992-1999, 2004 y un dato no publicado para el año 2011.

3.1.6.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos

1981/82 (UACH: Campos 1989): Es el primer estudio del lago Puyehue. Las muestras se tomaron en la estación central en cinco profundidades (0-5-15-60-100 m). La variación de las concentraciones de PT en la columna de agua es muy alta con valores muy bajos (< 3 µg P/L) y altos (> 8 µg P/L). Hay incoherencias en varios perfiles verticales (noviembre 1981, enero, agosto, octubre 1982) y entre fechas en general. En un lago araucano como el lago Puyehue se debería esperar variaciones de PT muy pequeñas (< 10-20%) tanto en el perfil vertical y especialmente durante el transcurso de un año (Fig. 43).

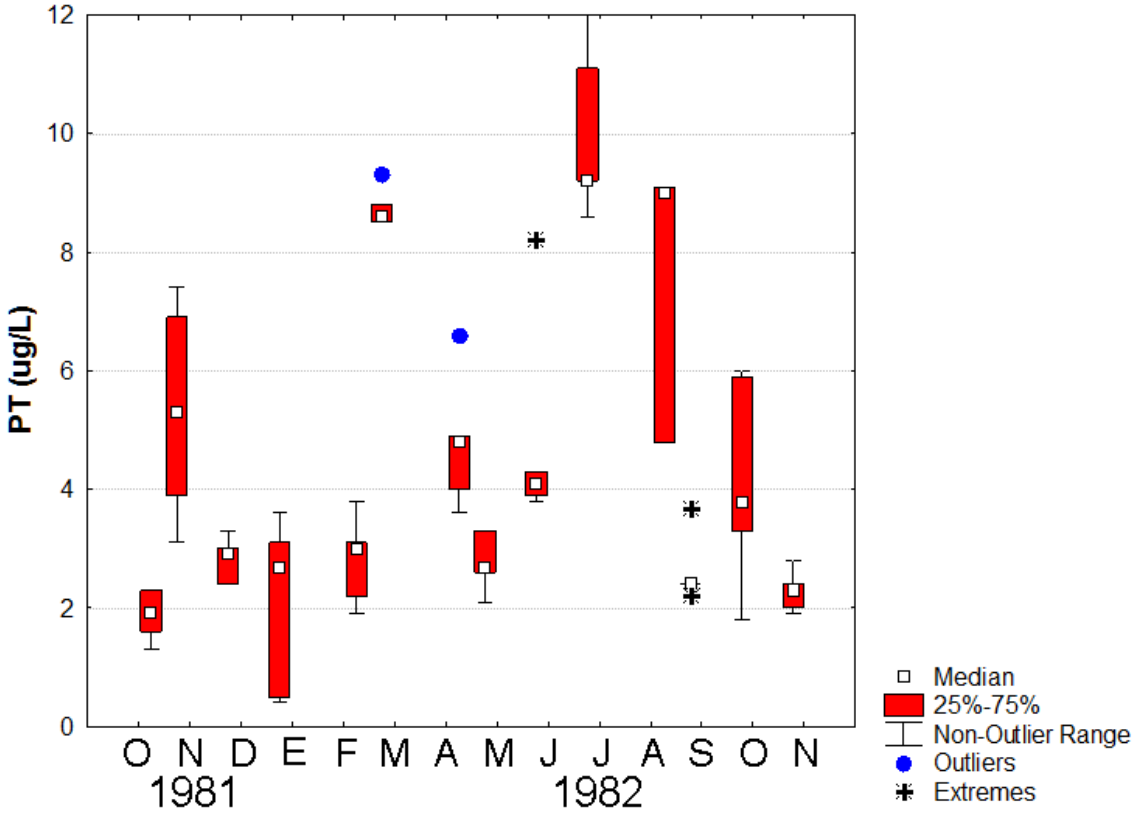


Fig. 43 PT en la estación central del lago Puyehue (datos de Campos et al. 1989, elaboración propia).

Se concluye, que los datos de PT de este estudio son dudosos.

Los datos de la profundidad de Secchi son confiables, mientras los datos de clorofila a no son confiables, porque se midió con el método tricolórico

(medición de Clorofila a, b y c simultaneamente) que subestima las concentraciones de clorofila a (Woelfl et a. 2003).

1991/92 (UACH: Campos et al. 1992): La problemática de los datos de PT de este estudio ya ha sido discutido ampliamente en el capítulo 3.1.2. Estos datos presentan problemas respecto a su coherencia y calidad analítica. Se consideran muy dudosos.
Datos sobre la profundidad de Secchi y clorofila a no se reportan en este estudio.

1992-1999 (UACH: Soto 2002): No esta claro en que lugar exactamente se tomaron las muestras, pero una estación estuvo cerca de un centro de salmonicultura y la otra estación de referencia estuvo a 3000 m de distancia de la primera estación. No se encontraron diferencias significativas entre las dos estaciones. Llama la atención la alta variabilidad de PT con fluctaciones entre 2 y 16 µg P/L (Fig. 44). Estas variaciones no son esperables en un lago araucano, donde las variaciones deberían ser mucho menores, aúnque si se podría esperar ciertas variaciones de fósforo cerca de los centros de cultivo (lo que no explicaría valores muy bajos). Si embargo, los valores muy altos (> 10 µg P/L) y muy bajos (<5 µg P/L) se consideran dudosos.
Los valores de clorofila a y Secchi se consideran confiables. Sin embargo, llama la atención las bajas visibilidades.

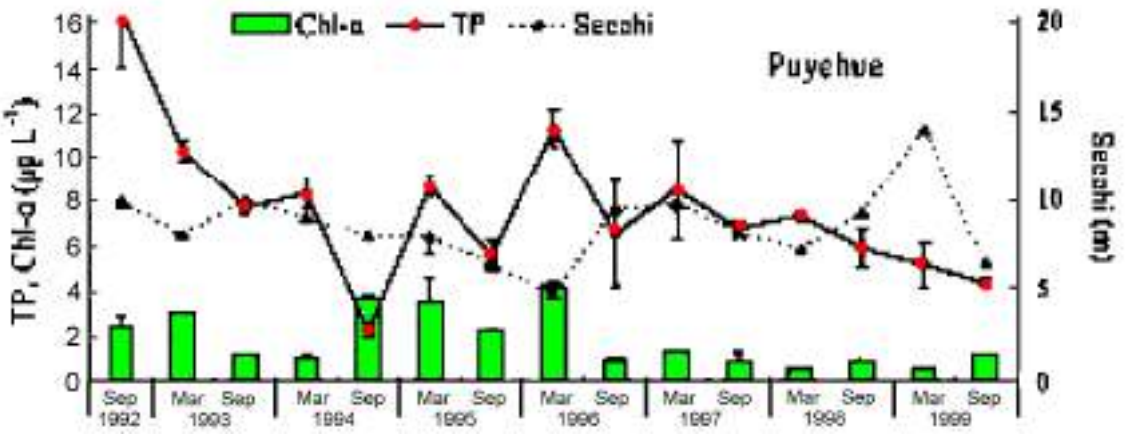


Fig. 44 Clorofila a, fósforo total (TP) y Secchi en el lago Puyehue (fuente: Soto 2002, figura original levemente modificada).

2004 (UACH: Woelfl, 2007): Solamente se reportan valores de Secchi y clorofila a, que se consideran confiables.

2011 (UACH: Luciano Caputo): Solo se reportan datos de un muestreo. Se considera los valores como confiables.

3.1.6.2 Evaluación del estado trófico

La tabla 22 presenta los valores de los indicadores tróficos transparencia (Secchi), fósforo total (PT) y clorofila a y su evaluación trófica.

Tabla 22 Evaluación del estado trófico histórico del lago Puyehue (promedio ± desviación estándar).
1: Campos et al.. (1989); 2: Universidad Austral de Chile (1992) Informe FIP; 3: Soto (2002); 4: Woelfl (2007); 5: Caputo L. Proyecto FONDECYT 3110163. N: número de mediciones (fechas); s.d.: sin datos;
* datos dudosos

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1981/82 (N=14)	10,6 ± 2,0	0,004* ± 0,003	0,14* ± 0,1	1
1991/92 (N=6)	s.d.	0,012* ± 0,010	s.d.	2
1992-1999 (N=14)	8,3 ± 1,5	0,008* ±0,003	1,9 ± 1,1	3
2004 (N=4)	14,3 ± 2,7	s.d.	0,8 ± 0,4	4
2011 (N=1)	13	0,008	1,3	5

Se nota que PT muestra una gran variación (desviación estándar) debido a los problemas metodológicos ya discutidos. Los datos de PT se consideran en buena parte dudosos, especialmente los datos de 1992/92, que indicarían un estado de mesotrofía.

La transparencia y clorofila a indican oligotrofía, con excepción de 1992-1999 cuando Soto (2002) reporta bajos valores de Secchi que indicarían condiciones mesotróficas. Sin embargo, los resultados de la clorofila a fueron características para condiciones oligotróficos para este período.

3.1.7 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la información recopilada, especialmente respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respecto a la interrogante de si el lago Puyehue es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.1.7.1 Evaluación de la información ambiental disponible

EVALUACIÓN BIBLIOGRAFÍA - Sobre el lago Puyehue existen pocos estudios aparte del estudio base de Campos et al. (1989). Solamente se puede nombrar el estudio de balance de nutrientes – es el primero que se realizó en Chile – en 1991/92 y posteriormente el estudio de Soto durante 1992-1999 (Soto 2002). En los mencionados estudios se encontraron varios problemas importantes, que limitan finalmente la validez del balance de nutrientes (1991/92) y la evaluación de la calidad del agua del lago Puyehue:

- hay datos muy dudosos (altos) sobre el fósforo total
- no se considerá otras cargas salvo los aportes de los afluentes

- hay incoherencias en las mediciones de P total en la columna de agua del lago
- Hay una incoherencia entre las cargas medidas y calculadas siendo prácticamente 2 veces mayores que las medidas

ACTIVIDAD ACUÍCOLA - También se recopiló datos sobre la actividad de la salmonicultura, que se cuadruplicó a partir entre 1995 y 2008/9. Posteriormente dismuyó la producción. En general, se observa un incremento continuo desde el año 1996 (2,3-3,0 ton/año) hasta alcanzar valores entre 11,4-14,0 ton P/año en 2007/2008. Posteriormente disminuye la carga en 2010/ 2011 (7,7 – 10,4 ton/año) y 2012 (3,1-3,6 ton/año).
Se considera este aporte como una estimación mas bien conservadora. Esta dentro del rango reportado por otros autores para el lago Puyehue (León 2011).

SEDIMENTOS - Sobre la cálidad de los sedimentos, este consultor no puede pronunciarse, porque no se obtuvo informacion al respecto.

EVALUACIÓN AMBIENTAL – Solamente se puede referir al estado trófico del lago Puyehue pues no se dispone de datos sobre la cálidad de los sedimentos (INFAS). Se evaluó el estado trófico del lago Puyehue en base de los parámetro tróficos para lo cual se analizó previamente la cálidad de los datos históricos. Este análisis concluye que la mayoría de los datos históricos de PT son dudosos, mientras los datos sobre la profundidad de Secchi y la clorofila a son confiables.
Se carece de datos recientes, pero en base de los pocos datos existentes se puede suponer que el lago Puyehue se encuentra en un estado oligotrófico con valores de PT cercano a 0,008 mg P/L. Los valores de clorofila a y Secchi indicarían la misma tendencia.
Sin embargo, hay que considerar que en junio 2011 la erupción del cordón Caulle probablemente aportó algo de fósforo (aparte de la gran cantidad de ceniza que disminuyó la transparencia), que eventualmente aumenta un poco la biomasa de las algas y por ende la trofía, probablemente sin todavía

sobrepasar niveles oligotróficos. Faltan datos recientes mas acabados para precisar una evaluación trófica mas detallada.

3.1.7.2 Conclusiones y recomendaciónes

Respecto a la pregunta, si en el futuro se va a mantener el estado todavía oligotrófico o cuan grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Puyehue, se debería disponer de datos mas recientes sobre los ingresos de nutrientes al lago y sobre el balance de nutrientes que no existen.

Sin embargo, es posible realizar una estimación muy tentativa sobre la magnitud de las cargas actuales de fósforo en la cuenca del lago Puyehue en comparación con la carga de los centros de cultivos y la carga crítica estimada con el modelo presentado en el capítulo 2.4. A continuación se plantea el siguiente escenario:

Uso de suelo: De acuerdo al estudio de León (2011) el uso de suelo cambió en las últimas décadas, especialmente en relación a la cobertura de praderas y terrenos agrícolas (desde 18 a 25%), mientras la superficie de bosque nativo prácitamente se mantuvo (50-53%). Respecto al estudio de la UACH en 1991/92, se podría suponer que la carga de los afluentes (77 ton P/año) se podría haber incrementado. Sin embargo, no se puede estimar con precisión este incremento.

Precipitación: La carga por precipitación sobre el lago Puyehue se podría estimar en aprox. 2,7 ton P/año, valor basado en la precipitación sobre el lago Ranco (UACH 2011)[9].

Centros de cultivo: La carga de los centros acuícolas en el lago Puyehue se calculó en el capítulo 3.1.4. Fluctuó en los últimos 5 años entre 7,4 y 14,6 ton P/año.

[9]UACH (2011) ANTECEDENTES PARA EVALUAR EL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE UNA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DE AGUAS EN EL LAGO RANCO, CUENCA DEL RÍO BUENO. Informe DGA S.T.I. 239. Aporte de P en el lago Ranco fue 7,5 ton P/a (2010). Aporte estimado en el lago Puyehue es 165 km^2/442 km^2 * 7,5 ton P/a = 2,7 ton P/año.

Otras cargas: Otras cargas como actividades turísticas etc. se estiman de menor importancia (~ 1- 3 ton P/año).

Hay 2 pisciculturas instaladas en la cuenca del lago Puyehue, que podrían aportar alrededor de ~ 1-3 ton P/año como máximo.

En suma las cargas estimadas en el lago Puyehue podrían alcanzar en total ~ alrededor de 105 – 140 ton P/año (Tabla 23).

Tabla 23 Cargas anuales estimadas para el lago Puyehue (2008-2011).

	Carga P (ton/año)	%
Affluentes	77	77-86
Precipitacion	2,7	3
Centros	7,4 – 14,6	8-15
otros	2-6	2-6
Total	**89-100**	**100**

La carga crítica para el lago Puyehue es approximadamente ~ 102-5 ton P/año (Campos 1992 y propios cálculos). Esto significa que la carga actual estimada para el lago Puyehue es similar a la carga crítica. La actividad acuícola en el lago Puyehue aportaría **~8 – 15 %** de la carga total, dependiendo de su producción anual de peces. En 2012 el aporte de P fue menor.

Se concluye lo siguiente:

Respecto a la actividad acuícola en el lago Puyehue, se recomienda **no** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar la capacidad de carga del lago Puyehue. Para evaluar mejor el riesgo de un aumento de trofía, y en consideración de la reciente erupción del cordón Caulle y el aumento de las actividades humanas (piscicultura, turismo) es recomendable realizar un balance actual de los nutrientes de la cuenca del lago Puyehue. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación mas robusta.

3.2 LAGO RUPANCO

3.2.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Rupanco tiene una superficie de 235 km^2 y una cuenca hidrográfica 4,2 veces mayor según Campos et al. 1992 (Tabla 24). Su profundidad máxima y media es solamente 274 m y 162 m. Su tiempo de renovación es ~ 8,5 años según FIP-IT/93-27.

Tabla 24 Características básicas del lago Rupanco (Campos et al. 1992 y FIP-IT/93-27).

Superficie (km^2)	235
Cuenca (km^2)	994
Relación cuenca/lago	4,2
Volumen (km^3)	38,0
Profundidad máxima (m)	274
Profundidad media (m)	163
Tiempo de renovación (años)	8,5

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 25 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Rupanco. Existen principalmente el estudio línea base en el año 1981/82 (Campos et al. (1992) y después en 1994/95, el estudio FIP-IT/93-27 (1995) sobre el balance de nutrientes, el estudio de Soto (2002) sobre monitoreo durante 1992-1999 y finalmente los estudios de Woelfl (2007) y León (2011) sobre el epilimnion del lago Rupanco . Respecto a la información necesaria para realizar un balance de nutrientes la información disponible fue completa .

Tabla 25 Resumen de los tipos de datos disponibles para el lago Rupanco.
1: Campos et al. (1992); 2. IFOP-UACH (1986) 3: UACH, proyecto FIP-IT/93-27 (1995); 4: León et al. (2008); 5: datos entregados por Subsecretaria de Pesca y Acuicultura; 6: Soto (2002); 7: Woelfl (2007); 8: León (2011);

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1980		Primer mapa	1
Balance hídrico	1980			1
	1994		muy detallada	3
Calidad química agua lago	1980		0-15-40-60-100m, una estación, mensual	1
	1984/5		11 profundidades	2
	1994		0-(5)-15-(30)-50-100m, tres estaciones, mensual	3
	1992-1999		2 mediciones anuales	6
	2004		4 mediciones epilimnion, sin PT	7
	2008		Bimensual, epilimnion	8
Calidad química agua efluente	1994/5			3
Calidad química agua afluentes	1994/5		Mediciones mensuales en 48 afluentes	3
	2008		3 afluentes, bimensual	8
Producción peces	1995-2012			5
Cuantificación carga centros	1994		Estimada, falto información	3
	2008		Para tres centros	8
Cuantificación carga otras fuentes	1994			3
Balance de nutrientes	1994			3
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1994			3
	1998		catastro bosque	4
Biología	1980		Fito-, zooplancton, producción primaria	2
	1994		Fito-, zooplancton	3
Calidad sedimentos	1994		Tres muestreos de 6 centros de cultivos	3
Correntometría	1994/5		mensual	3
Infas	2010-2012			5
Régimen térmico	1980		0-140m, mensual	1
	1994		0-90 m	3

El único estudio sobre un balance de nutrientes se realizó en el proyecto FIP-IT/93-27y fue ejecutado por la Universidad Austral de Chile (investigador responsable: Dr. H. Campos).

A continuación se analiza los alcances y limitaciones de este estudio.

3.2.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

Este estudio de la Universidad Austral de Chile (Investigador responsable: Dr. Hugo Campos) se realizó durante marzo de 1994 a febrero de 1995. Consiste en un intenso muestreo mensual de 58 afluentes, del efluente y de la columna de agua (3 estaciones) del lago Rupanco con el fin de establecer un balance de nitrógeno y fósforo para la cuenca del lago Rupanco. La ubicación de estas estaciones de muestreo se presenta en la figura 45. Se realizó además un análisis de uso de suelo de cada subcuenca y se determinaron además los aportes de otras fuentes de nutrientes como p.e. balsas jaulas, precipitación y piscicultura.

DETERMINACIÓN DE SUBCUENCAS Y USOS DE SUELO (capítulo 4)

Metodología – Se elaboró una carta de usos del suelo analizando imágenes satelitales donde se delimitaron las 58 subcuencas de los ríos muestreados.

Resultados –Los usos de suelos de todas las subcuencas del lago serían los siguientes:

Bosque nativo 335.9 km^2, pradera 128.3 km^2, matorral y quila 17.4 km^2, lava 137.7 km^2, agua 5.4 km^2 (Fig. 45).

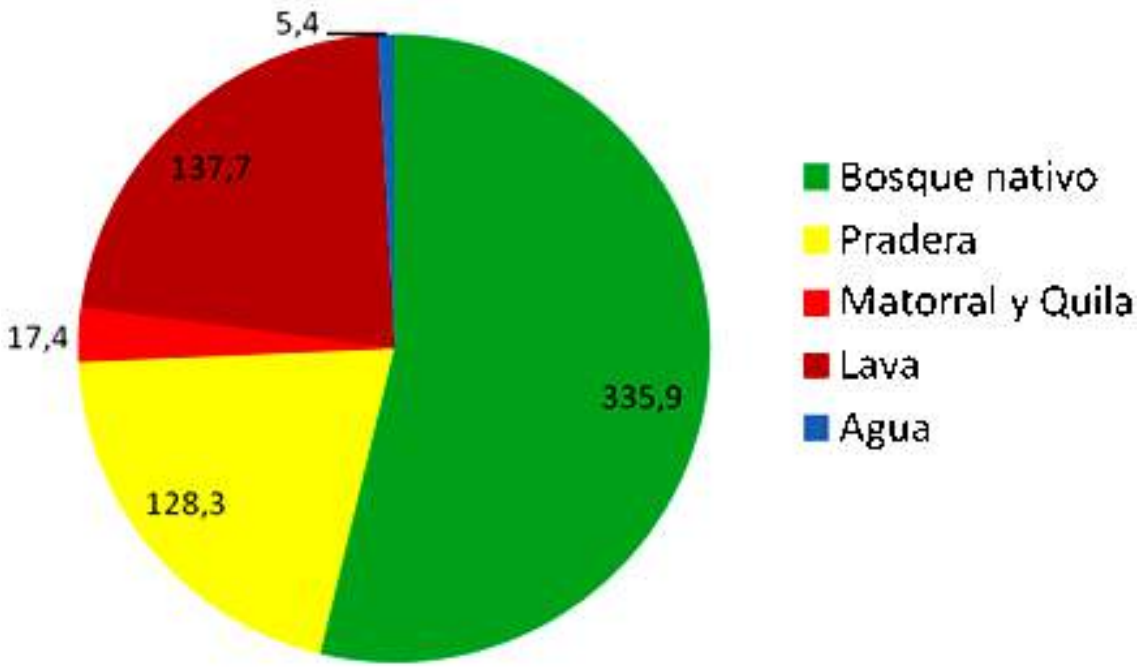


Fig. 45 Uso de suelo en la cuenca del lago Rupanco.

Evaluación uso de suelo

No hay observación acerca de la metodología y de los resultados. Se considera la metodología y los resultados confiables.

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES (capítulo 4, 5, 6)

Metodología – Mensualmente se muestrearon 58 ríos/esteros que llegan al lago Rupanco, lo que combinado con las mediciones directas del caudal, permitió calcular la carga anual de N y P que ingresa al lago. (Fig. 46). Se registraron los caudales en forma continua con dataloggers y se midieron mensualmente las concentraciones de N y P en cada río, con los cuales finalemente se calcularon los aportes de nutrientes anuales para cada estero.

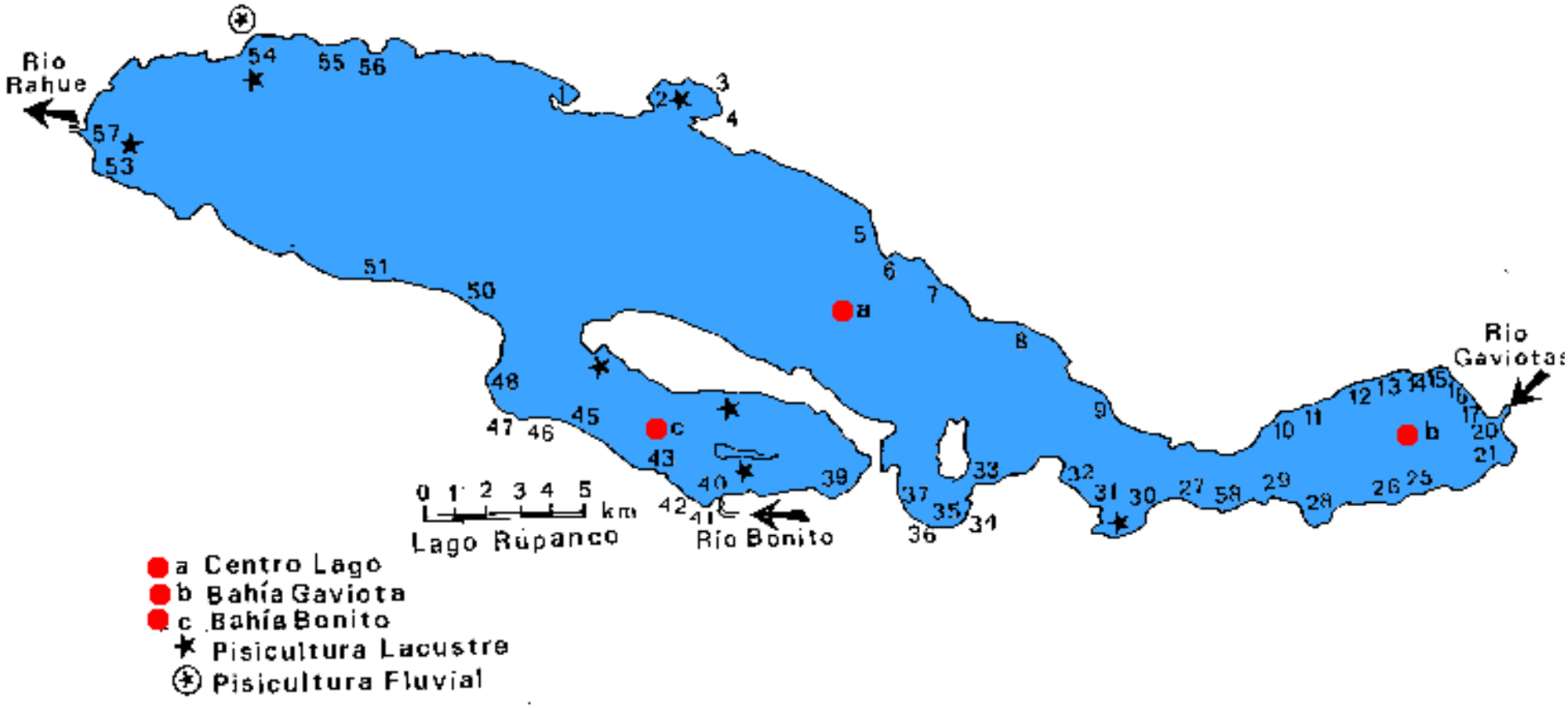


Fig. 46 Estaciones de muestreo del lago Rupanco en 1994/95.

Resultados –Las concentraciones de PT en los afluentes varían durante el año bastante dependiendo de la época y el caudal. La media anual (de los promedios) de PT en los 58 afluentes fue ~ 25 µg P/L (Fig. 47) mientras la media de los promedios anuales de los caudales fue ~ 1 m^3/s.En total los aportes anuales de P por los afluentes fueron **66,78** ton P/año (informe Tabla 125).

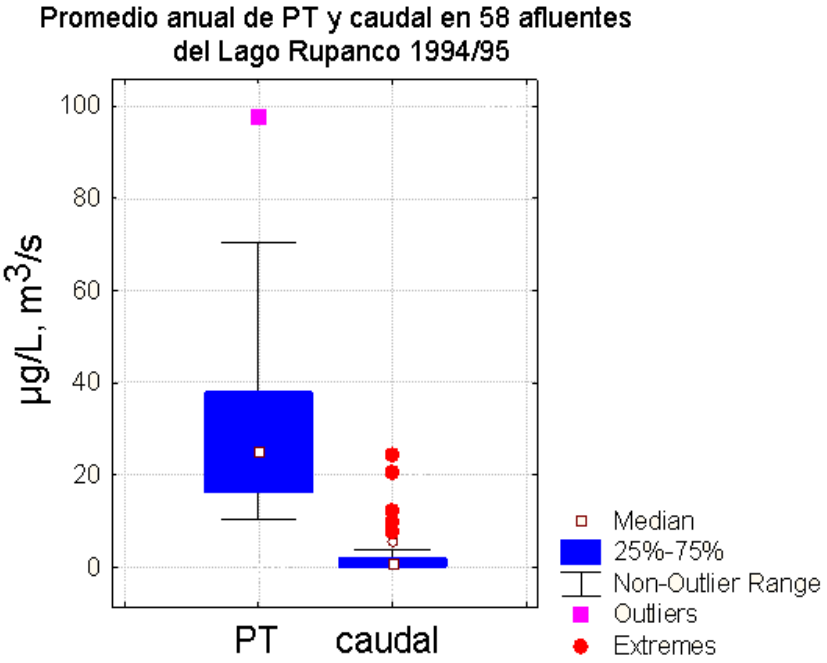


Fig. 47 Box-Wiskers plot del promedio anual de P total y caudal de los 58 afluentes muestreados en la cuenca del lago Rupanco 1994/95 .

Evaluación

No hay observación acerca de la metodología y de los resultados. Se considera la metodología y los resultados confiables.

BALANCE HÍDRICO E INGRESO DE NUTRIENTES POR LLUVIA (Capítulo 7)

Metodología –Se determinó el balance hidrológico de la cuenca del lago Rupanco, considerando mediciones de precipitaciones con una red de 5 pluviómetros y 3 pluviógrafos y utilizando polígonos de Thiessen para interpolar. La escorrentía de los afluentes fue medida mensualmente. Las variaciones del volumen del lago se estimaron con una reglilla y la evaporación con una bandeja evaporimétrica. La descarga del lago se estimó con los datos

entregados por la DGA. Los nutrientes se determinaron en la lluvia durante abril 1994 hasta diciembre 1994 (29 eventos).

Resultados - La cantidad de agua en evapotranspiración se obtuvo por la suma de valores de los demás componentes del balance. Esto arrojo un valor **negativo** de 1830.1 $10^6 m^3$como indica la tabla 76 del informe FIP.

Tabla 76: Estimación del balance hídrico de la cuenca del lago Rupanco (10^6 m³).

Precipitación	- Evaporación	- Intercepción	- Descarga	± Reserva	= Evapotranspiración
3.010,8	160,6	175,4	4.455,1	49,8	= -1.830,1

Esto indicaría que la cuenca entrega mas agua de la que recibe. Se sospecha que este patrón quizás se debería al aporte de aguas subterráneas.

La renovación teórica se estimó en 8.5 años valor que corrige el cálculo dado por Campos (1992) de 12 años para un caudal del Río Rahue de 100m^3/s.

Las concentraciones de PT en las lluvias arrojaron una media de 12 µgP/L. Sin embargo, se identificaron también 2 eventos con valores extremos (30-50 µgP/L) y un outlier muy bajo (2 µgP/L) (Fig. 48). La carga total sobre el lago a por las lluvias se calculó a **7,5** ton P/año.

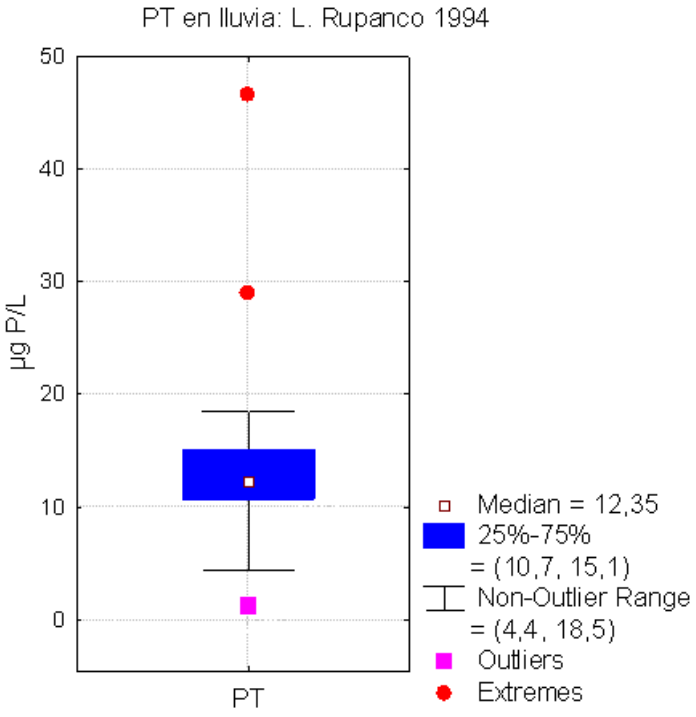


Fig. 48 Concentraciones de PT en la lluvia durante 1994 (n=29).

Evaluación

El balance hídrico global presentó deficiencias ya que, como lo comentan los autores, las salidas de agua fueron superiores a las entradas. Se hipotetizó que la cuenca del lago Rupanco podría estar recibiendo agua por otras vías, probablemente subterráneas. Sin embargo, encontramos algunos errores de cálculo y un problema conceptual en el cálculo del balance hídrico:

*El cálculo de la descarga arrojó el valor 4.455,1 *10^6 m^3/a como muestra la tabla 75 del informe FIP:*

Tabla 75: Variación temporal de la descarga del lago (10^6 m^3).

	Período 1 m^3 *10^6	Período 2 m^3 *10^6	Período 3 m^3 *10^6	Período 4 m^3 *10^6	Total m^3 *10^6
Descarga	1.438,7	1.345,6	1.023,5	647,3	4.455,1

*Pero el valor correcto debe ser (según Tabla 69 del informe FIP) 3,989 *10^6 m^3/a. El otro problema es conceptualmente relacionado con la forma como se calcula el balance hídrico.*

Por eso se recalculó el balance hídrico del lago Rupanco, según los datos de Campos et al. (1993), utilizando la ecuación de continuidad:

$$R + P = S + Ev + D \pm \Delta L \qquad (1)$$

Donde:
R = entradas ríos y/o esteros
P = precipitaciones
S = salidas río Rahue
Ev = evaporación lago
D = drenaje profundo lago
ΔL = variación de la reserva del lago

Las entradas vía ríos y/o esteros (R) y las precipitaciones (P) se midieron en terreno con los métodos explicados en Campos et al. (1993). Las salidas evaporación del lago (Ev) y las variaciones de la reserva del lago (ΔL) también se midieron en terreno con los métodos usuales. Las salidas por el río Rahue (S) se calcularon según los datos de la DGA y las pérdidas debido al drenaje profundo (D) se estimaron con la ecuación de continuidad (1).

A continuación se detalla el balance hídrico del lago Rupanco:

ENTRADAS DE AGUA *(datos de Campos et al. 1993)*

a) Ríos y esteros (m^3 $año^{-1}$)

Río	**Caudal (m^3/año)**	**Río**	**Caudal (m^3/año)**
Pescado chico	16.714.080	El Salto	75.686.400
Pescado grande	88.300.000	Nalcas	312.206.400
San Enrique	3.153.600	Callao	173.448.000
El Encanto	59.918.400	Calle-Calle	18.921.600
Puleufu	378.432.000	Islote	3.153.600
Moro	25.228.800	Sin nombre	3.153.600
Huillinco	69.379.200	Sin nombre	1.513.728
Calzoncillo	66.225.600	Sin nombre	3.153.600
Río	**Caudal (m^3/año)**	**Río**	**Caudal (m^3/año)**
Arrayan	40.996.800	Sin nombre	1.292.976
Coihueco	94.608.000	Bonito	646.488.000
Santa Cruz	15.768.000	Las truchas	18.921.600
El Judío	119.836.000	Vesperina	9.460.800
Sin nombre	18.921.600	Piedras Negras	15.768.000
Los Baños	53.611.200	Sin nombre	3.153.600
Saltillo	22.075.200	Sin nombre	6.307.200
Sin nombre	6.307.200	Chacay	25.228.000
Sin nombre	40.996.800	Sin nombre	1.040.688
Gaviotas	766.324.800	Huillin	9.460.800
Molinos	15.768.000	Pellinada	6.307.200
Colorados	18.921.600	Negro	242.827.000
Lajas	34.689.600	Huillin Rupanco	2.522.800
Salto Poncho	31.536.000	Huillin Rupanco	18.921.600
Escocia	44.150.400	El Parron	6.307.200
Blanco	37.843.200	Chalupa	3.153.600
El Salto	75.686.400	El Poncho	31.536.000
		Total (m3/a)	**3709640072**

b) Precipitaciones (m^3 $año^{-1}$): 705.000.000 (m^3 $año^{-1}$)

c) Variación de la reserva del lago: 49.000.000 (m3 año-1)

SALIDAS DE AGUA

a) Río Rahue (S): 3.989.304.000 (m^3 $año^{-1}$)

b) Evaporación del lago (Ev) : 161.000.000 (m^3 $año^{-1}$)

c) Drenaje profundo (D): 313.000.000 (m^3 $año^{-1}$)

BALANCE HÍDRICO

Entonces el balance hídrico anual del lago Rupanco queda como:

$$\mathbf{R + P = S + EV + D \pm \Delta L}$$

3,709 + 0,705 = 3,989 + 0,161 + 0,313 – 0,049 (km^3 año^{-1})

El tiempo de renovación se estimó ahora en 9,53 años (antes 8,5 años).

INGRESO DE NUTRIENTES POR LAS PISCICULTURA FLUVIALES (CAPÍTULO 8)

Metodología – Se midió los nutrientes en el río antes y después de la bocatoma Hullin de la única piscicultura del lago Rupanco (perteneciente a la Universidad de los Lagos) para calcular el aporte P.

Resultados - La piscicultura aportó en el año 0,915 ton P al lago Rupanco.

Evaluación

No hay observación al respecto.

INGRESO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (CAPÍTULO 9)

Metodología – De los 6 centros de cultivos en el lago, en tres se midieron nutrientes en material sedimentado (en colectores instalados), en el sedimento y también en los alimentos de peces.Sin embargo, la estimación de la carga de las balsas jaulas se realizó a través de cálculos y estimaciones, porque solo se pudo obtener datos de la producción de peces de tres de los seis centros.Con la información sobre la biomasa de peces producida, volúmenes de alimento y analisis de P y N de estos se obtuvo la carga de estos nutrientes.

Resultados -Considerando un margen de error en el cálculo de la carga de P se estimo el aporte de la salmonicultura al lago sería 8 ton P/a.

Evaluación

El cálculo estimativo esta bien fundamentado y coherente. Sin embargo, este consultor estima que esta sobreestimado según nuestros propios cálculos que arrojaron para el año 1995 solamente un aporte de ~ 5,5 ton P/L debido a que se calculó de otra manera el aporte de P por pez producido (véase 2.2.3).

CONTENIDO DE FÓSFORO EN LA COLUMNA DEL LAGO RUPANCO (capítulo 12)

Metodología – Se muestreó la columna de agua en tres estaciones del lago (Fig. 49) donde se tomaron muestras de agua desde la superficie hasta un máximo de 100 m de profundidad. Posteriormente, se calculó la masa total de P en la columna de agua para realizar el balance de nutrientes considerando los volumenes de agua para cada profundidad donde se midió P (Tabla 26).

Tabla 26 Volumen de las bahías del Lago Rupanco.

Tabla 94: Volumen de las bahías del Lago Rupanco.

	R. BONITO	B.GAVIOTA	C. LAGO	TOTAL
Prof.	V (km3)	V (km3)	V (km3)	V (km3)
0-5 m	0.13	0.11	0.90	1.15
5-15 m	0.25	0.22	1.75	2.23
15-30 m	0.35	0.33	2.60	3.28
30-50 m	0.41	0.42	3.33	4.15
50-100 m	0.62	0.95	7.47	9.04
100-103 m	0.04	------	------	0.04
100-260 m	------	1.90	------	1.90
100-270 m	------	------	16.21	16.21
total	1.80	3.93	32.27	38.00

Resultados y evaluacion – De acuerdo a la tabla 27 los datos de P total muestran – similar al caso del lago Puyehue – una alta variabilidad especialmente entre algunos meses y parcialmente también en el perfil vértical. La concentración promedio de PT fluctuó entre 1,7 ± 0,8 µg P/L en marzo y 34,9 ± 33,9 µg P/L. A partir de junio 1994 la concentración de PT se mantuvo constantemente sobre 10 µg P/L (excepción ene 1995; 9,4 µg P/L). Con excepción de septiembre los perfiles verticales fueron homogéneos.

Tabla 27 Concentración de PT medidas en la estacion centro del Lago Rupanco.
Rojo: valores muy altos; naranjo: valores altos; azul: valores bajos.

Tabla 108: Fósforo total (µg/l) medido en las bahías y centro del Lago Rupanco.

	M.94	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E.95	F
C. LAGO												
0 m	5.9	5.4	1.6	13.0	12.9	12.7	93.9	10.4	10.9	12.3	10.5	9.3
5 m	7.9	5.8	1.3									
15 m	4.7	6.0	1.4	13.0	12.5	13.4	11.4	10.8	9.9	12.2	10.5	8.9
30 m	5.3	8.6	3.4									
50 m	14.2	10.4	1.0	12.7	12.3	14.4	20.9	9.2	10.1	12	8.5	8.6
100 m	4.9	4.6	1.4	16.1	14.1	12.9	14.1	9.8	9.4	11.7	8.1	8.3
PROMEDIO:	7.2	6.6	1.7	13.7	13.0	13.4	34.9	10.1	10.1	12.1	9.4	8.8
D.E.:	3.3	2.0	0.8	1.4	0.7	0.7	33.9	0.6	0.5	0.2	1.1	0.4

Consecuentemente la masa total de P en el lago Rupanco también mostró algunas variaciones altas entre un mes y el siguente con valores mínimos y máximos de 71 y 815 ton P (Fig. 49).

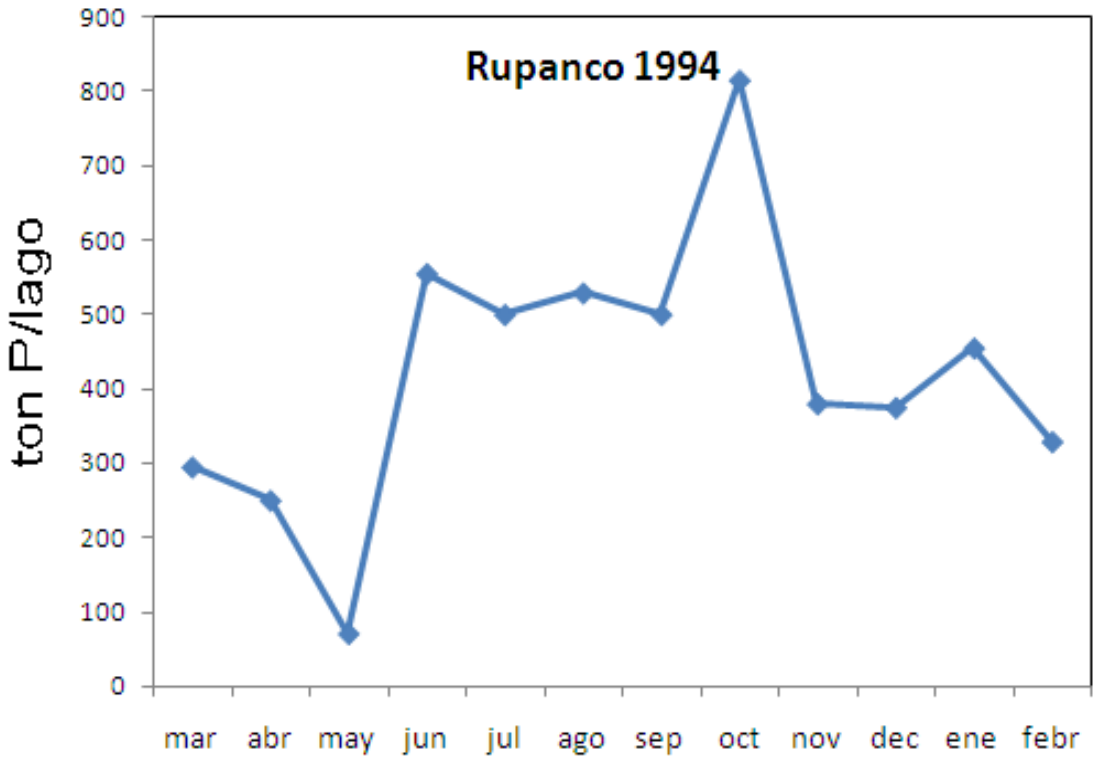


Fig. 49 Masa total de P en el lago Rupanco durante 1994/5.

Evaluación

Llaman la atención algunos valores de P total muy altos (> 20 µg P/L)y extremos (93,9 µg P/L !), que muy probablemente son causados por algún problema analítico. Por otro lado llaman la atención también los valores muy bajos (marzo: 1,7 µg P/L) seguidos por valores altos (13 µg P/L) el mes

siguiente. Estas fluctuaciones no son posibles en un lago de esta naturaleza, pero estan en el informe FIP explicado por procesos de sedimentación y carga interna. Este problema se discute mas abajo en la sección sobre el balance de P.

Un segundo problema existe respecto a la falta de mediciones en profundidades entre 100 m y la profundidad máxima (274 m). Esto significa que no se había obtenido ningun valor real medido en un 50% del volumen del centro del lago (16,21 km^3) y de la bahía Gaviota (1,9 km^3) que en suma corresponden a 43% del volumen total del lago. El estudio de la UACH no señala como se extrapolaron los valores medidos para este estrato lo que podria haber introducido un cierto error en el cálculo del contenido de P que este consultor estima en ~20-40%.

EGRESO DE NUTRIENTES POR EL EFLUENTE RÍO RAHUE

Metodología – Se muestreó el efluente (río Rahue) mensualmente midiendo caudal y nutrientes. El caudal se determinó mediante un limnógrafo y con mediciones de caudal registradas por DGA.

Resultados – Los valores de PT en el efluente fluctuaron mucho durante 1994/95 con valores bajos (< 5 µgP/L) y altos (14 µgP/L) con un caudal entre 54 y 252 m^3/s. (Fig. 50). La correspondiente descarga de PT a través del efluente fue **42,94** ton P/año.

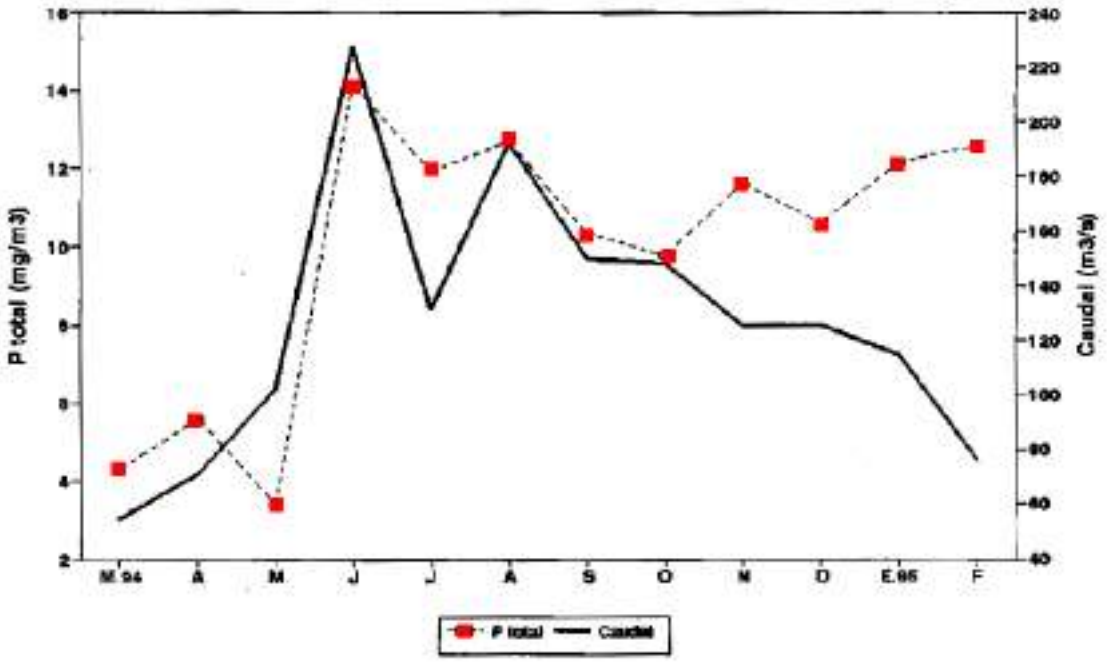


Fig. 50 P total en el efluente del lago Rupanco.

Evaluación

Las fluctuaciones de P son altas en el efluente y reflejan en parte probablemente los problemas analíticos ya mencionados arriba. Por lo tanto es posible que la descarga de P por parte del efluente sea dudosa.

BALANCE MÁSICO DE FÓSFORO Y CARGA CRÍTICA (capítulo 13 y 14)

Metodología – El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out}= descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int}= carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP= diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga externa se sumó las cargas de los afluentes, de la precipitación y de los centros acuícolas.

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

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

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media y el tiempo de renovación teórica del lago (8,5 años).

Resultado - De acuerdo a las mediciones y estimaciones de entradas, la carga externa de P al lago Rupanco fue aprox. 82 ton P por año (Tabla 28), 81% provenientes de los afluentes, ~ 8 ton P de los centros de cultivo y 7,5 ton P de precipitación, respectivamente. El aporte de la piscicultura fluvial (0,8 ton P/a) fue insignificante.

Tabla 28 Resumen ingresos de P total al Lago Rupanco durante 1994/95.

Entrada de nutrientes	**P total** **ton P/año**	**%**
Afluentes	66,79	81,2
Agua de lluvia	7,5	9,1
Centro de cultivo	8,0	9,7
Total	**82,29**	**100**

Respecto al balance másico de P la tabla 29 muestra las variaciones mensuales de los diferentes fraciones de P. Se evidencia que en algunos meses hay grandes fluctuaciones en el contenido de P en la columna de agua (que ya discutimos arriba), que indicarían altas tasa de retención y/o carga internas (aportes) por parte del sedimento. Por ejemplo se calculo para tres meses una carga interna que varia entre 81 y 492 ton P/mes.

El balance de P finalmente revela - similar al caso del lago Puyehue - que el lago contiene más P de lo que debería tener si se calcula en base del modelo predictivo y la carga externa actual ($L_{ext.}$). La diferencia es más del doble (Tabla 30).

Tabla 29 Balance de P y carga interna de P en el lago Rupanco. Puntos rojos indican carga interna (valores positivos). Valores negativas significa retención de P en el sedimento.

Tabla 123: Carga interna de Fósforo total en el Lago Rupanco.

(1) Fecha	(2) Masa total de P en el Lago (t)	(3) Entrada total de P al Lago (t)	(4) Salida total de P del Lago (t)	(5) Masa de P calculada en el Lago (t)	(6) Masa de P medida en el Lago (t)	(7) Diferencia entre la masa de P calculada y la medida t
MAR.94	295.17					
		1.90	0.61	293.88	249.51	-44.37
ABR	249.51					
		1.87	1.06	248.70	71.06	-177.64
MAY	71.06					
		9.10	0.93	62.89	554.95	492.06
JUN	554.95					
		11.94	8.32	551.33	518.86	-32.47
JUL	518.86					
		9.69	4.19	513.36	500.2	-13.16
AGO	500.2					
		7.08	6.55	499.67	814.97	315.30
SEP	814.97					
		4.93	4.03	814.07	379.73	-434.34
OCT	379.73					
		4.81	3.89	378.81	375.46	-3.35
NOV	375.46					
		5.41	3.76	373.81	454.78	80.97
DIC	454.78					
		3.91	3.56	454.43	332.61	-121.82
ENE.95	332.61					
		3.57	3.73	332.77	328.29	-4.48
FEB	328.29					
		2.58	2.31	328.02	295.17	-32.85
MAR	295.17					
Suma		66.79	42.94			

Carga interna desde sedimento

Suma de flujos negativos	-864.48
Suma de flujos positivos	888.33

Tabla 30 Balance de P en el lago Rupanco.

	µg P/L		**ton P**
Carga externa $L_{ext.}$			82
Concentración/masa de P en el lago	medido	10,6	403
	Calculado en base de L_{ext}	4,83	184
diferencia		5,8	229
Descarga efluente			43

CARGA CRÍTICA

La carga crítica para el lago Rupanco fue aprox. 183 ton P/año, que es mas de 2 veces mayor que la carga actual medida por la UACH, pero similar a la carga calculada en base del contenido de P en el lago Rupanco. En el proyecto FIP se concluye que el lago esta sobrecargado (Informe FIP. página 326).

Evaluación

Balance de nutrientes

En el balance mensual que se presenta en la tabla 123 del informe de la UACH se aprecia que el lago Rupanco tendría una carga interna de P (aporte desde los sedimentos) que superaría la tasa de sedimentación desde la columna de agua hacia los sedimentos, producto de la altas fluctuaciones de la masa total de P calculada en base a las concentraciones de P medidas y el volumen del lago. Esta conclusión es en opinión de este consultor muy dudosa y mas bien es producto de supuestos problemas analíticos ya mencionados. En consecuencia también las tasas de sedimentación o la carga interna también serían erróneas. Por ejemplo, se puede apreciar en la tabla 5.13, que el lago "pierde" entre abril y mayo 177 ton P para luego "ganar" 492 ton P entre mayo y junio. O sea el lago pierde en un mes 71% de su contenido de P y después recibe en un mes casi tres veces esta cantidad (las 492 ton P) a través de una supuesta carga interna.

Este escenario no es posible en un lago profundo y grande como el lago Rupanco, que tiene además un tasa de renovación anual de sus aguas de solamente ~10%. El proceso de una autofertilización por P desde los sedimentos del lago – la denominada carga interna - solamente ocurre en ambientes anóxicos, lo que no ha sido demostrado hasta ahora para ningún lago araucano. Solamente en lagos eutróficos o hipereutróficos - muchas veces poco profundos (<< 100 m) - se observa una carga interna importante con altos valores de P en la columna de agua (>> 50 µg P/L)[10]*..*

[10]Un ejemplo de este proceso ha sido el lago Auquilda en Chiloé (profundidad máxima: 16 m; concentración de P en el hipolimnion: 6000 µg P/L) de acuerdo con el informe de FIP N°99-25 *Determinación de la capacidad de carga de los lagos Auquilda, Yaldad y Tres Marias en Chiloé insular*ejecutado por la UACH en 2001 (Investigador responsable Dr. Arenas).

En el estudio FIP no se discute adecuadamente el problema respecto a la diferencia evidenciada entre el contenido de P en el lago medido realmente y calculado en base de la carga externa. Esta diferencia, que es prácticamente el factor 2, se "resuelve" sumando la carga actual al supuesto contenido de P a principio de año. Este procedimiento es conceptualmente erróneo, porque el modelo predictivo ya asume que cierta fración de la carga externa sedimenta, mientras una fración se descarga y la restante se mantiene en la columna de agua.

Carga crítica

Este consultor estima que los cálculos acerca de la carga crítica realizados en el estudio de la UACH son correctos. Sin embargo considerando que el balance hídrico evidenció errores, la carga crítica re-calculada ahora es ***164*** *ton P.*

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye lo siguiente (Tabla 31):

Este consultor estima que los ingresos están bien medidos/calculados lo que se deberían reflejar en una concentración promedio anual de P total de aproximadamente 5 µgP/L. En este sentido se estima que el valor real medido en la columna del lago (10,6 µgP/L) esta probablemente sobreestimado debido a posibles errores en la determinación de P en la columna de agua del lago Rupanco.Las supuestas cargas internas para explicar los cambios del contenido de P en la columna de agua del lago Rupanco no son coherentes con el comportamiento de un lago araucano con buena oxigenación en el hipolimnion.

El balance hídrico fue incorrecto, pero este error no influyo mucho (10%) en el balance de P.

Tabla 31 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Rupanco (1994/95).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	erróneo		
Cuantificación cargas afluentes	Parece correcta		
Cuantificación carga precipitación	Correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas	Correcta		
Cuantificación otras cargas	Correcta		
Contenido P lago	Incoherencias, datos muy variables		
Descarga efluentes	Con algunos problemas		
Modelos utilizados	Apropiado		
Balance de P	Técnicamente correcto, pero alta carga interna imposible Errores conceptuales		

3.2.3 Producción de peces

En el lago Rupanco se evidencia la existencia de 7 concesiones otorgadas con producción activa que alcanzan en promedio 1893 ton/año en el período 1995-2004 y 4641 ton/año en el período 2005-2012 (Tabla 32). Detallados datos sobre la producción anuál de cada centro se encuentran en el Anexo A 2.2. Se observa un aumento continuo en el volumen de producción entre los años 1995-2007, el cual se atenúa entre los años 2008-2012 (2010: ~4000, 2011: ~6500; 2012: ~ 5700 ton/año).

Durante los últimos 7 años la concesión de mayor volumen de producción con el 28% de la producción total de salmones de las actividades acuícolas en el lago Rupanco corresponde a la concesión N° 100081 ubicada al este de Punta Adolfo, observándose cierta variabilidad en el volumen productivo sin embargo con una clara tendencia al incremento del volumen de producción con un promedio productivo de 1241 (ton/año). En relación al volumen productivo le siguen las concesiones N° 100384 (16%), 100851 (13%) y los demás centros con un aporte entre 7 % y 12% (Fig. 51).

Tabla 32 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Rupanco durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**1995-2004**	**2005-2012**
AL ESTE DE PUNTA ADOLFO	100081	353	1321
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE 1	100389	306	572
ENSENADA PUERTO RICO	100522	291	621
AL NOROESTE DE PUNTA NEGRA	100625	406	504
BAHÍA EL ENCANTO	101707	83	735
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE 2	101851	274	546
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE ISLA CABRAS	101862	181	342
	TOTAL	**1893**	**4641**

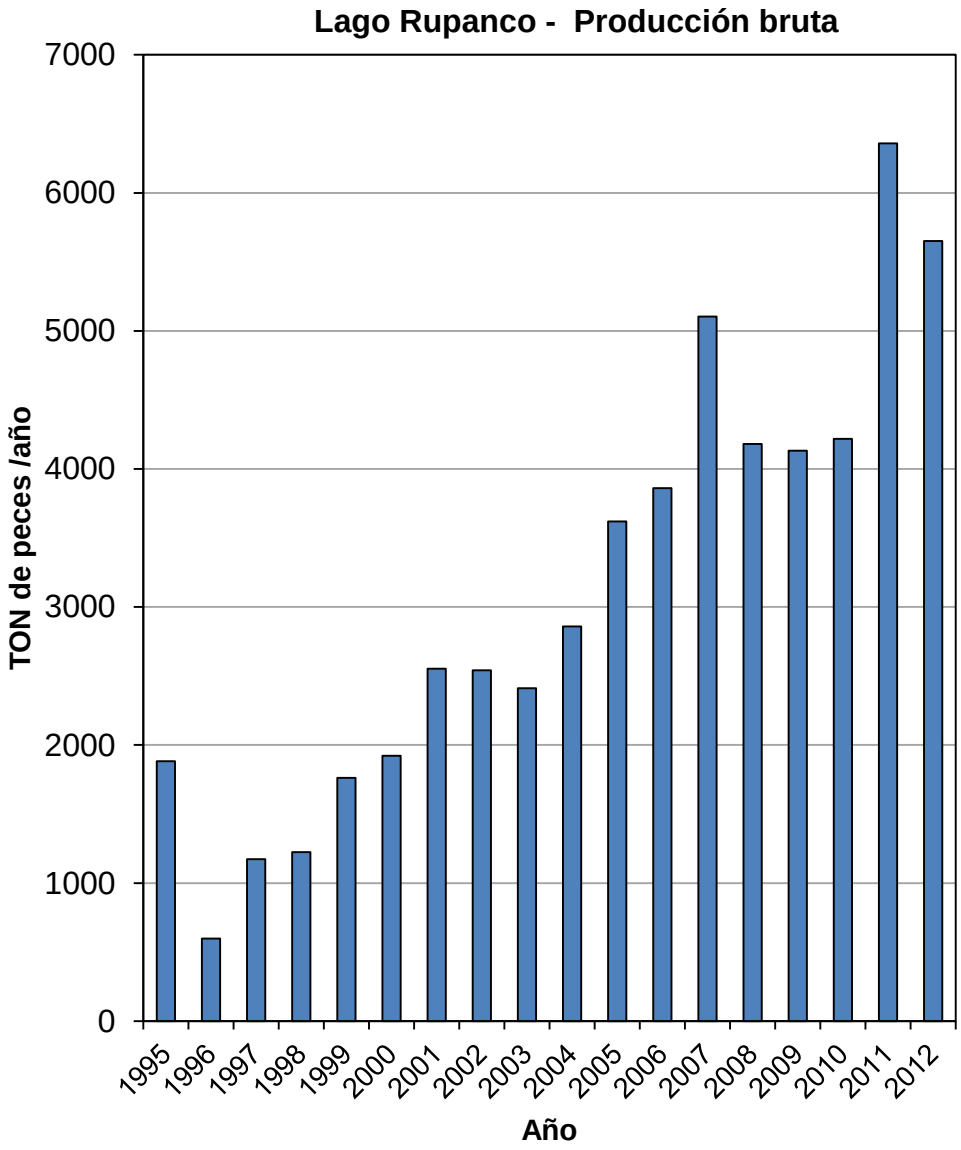


Fig. 51 Producción bruta anual de salmones (ton/año) en el Lago Rupanco durante el periodo 1995-2012.

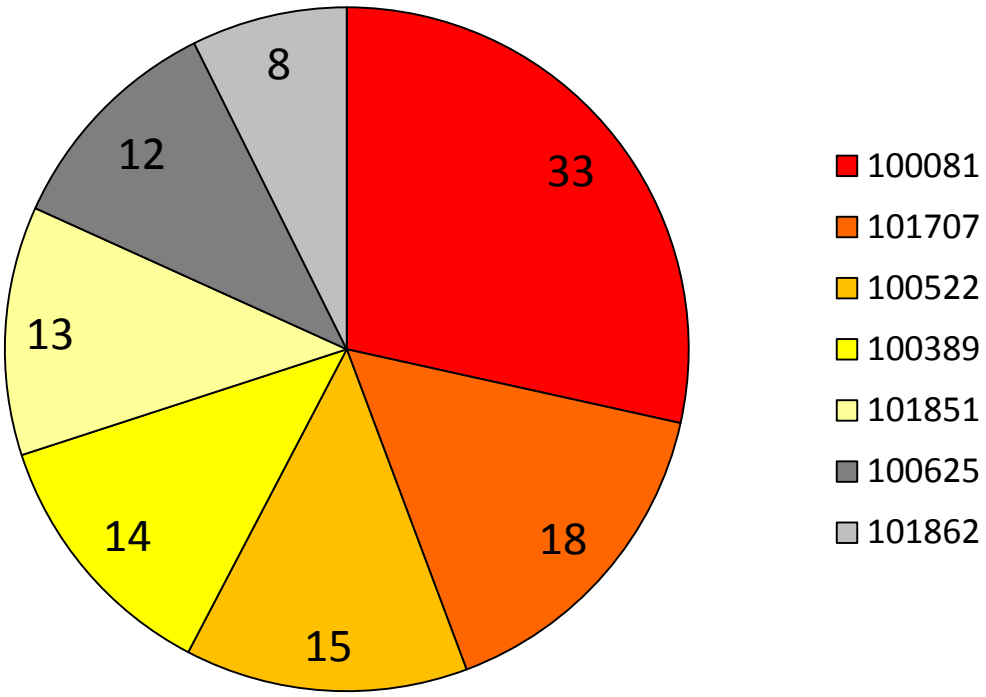


Fig. 52 Producción de salmones (porcentaje) por centro acuícola en el Lago Rupanco durante el periodo 2005-2012.

3.2.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra una tendencia temporal similar a la producción bruta de los peces.

Los siete centros de producción existentes en el lago Rupanco, aportaron con su producción de peces, una carga de P total que fluctúa entre un mínimo de 4,8-5,6 ton/año (1996), y un máximo de 51-59 ton/año (2011) (Fig. 53). En general, se evidencia que la carga de P sufre, a través de los años, un incremento sostenido, la cual a partir del año 1995, tiende a duplicarse durante los primeros 5 años, para continuar incrementándose en forma sostenida y alcanzar su asíntota a partir del año 2007 en adelante, con valores alrededor de 35-55 ton/año (Tabla 34). Durante los últimos dos años la carga fue ~ 45-58 ton/año.

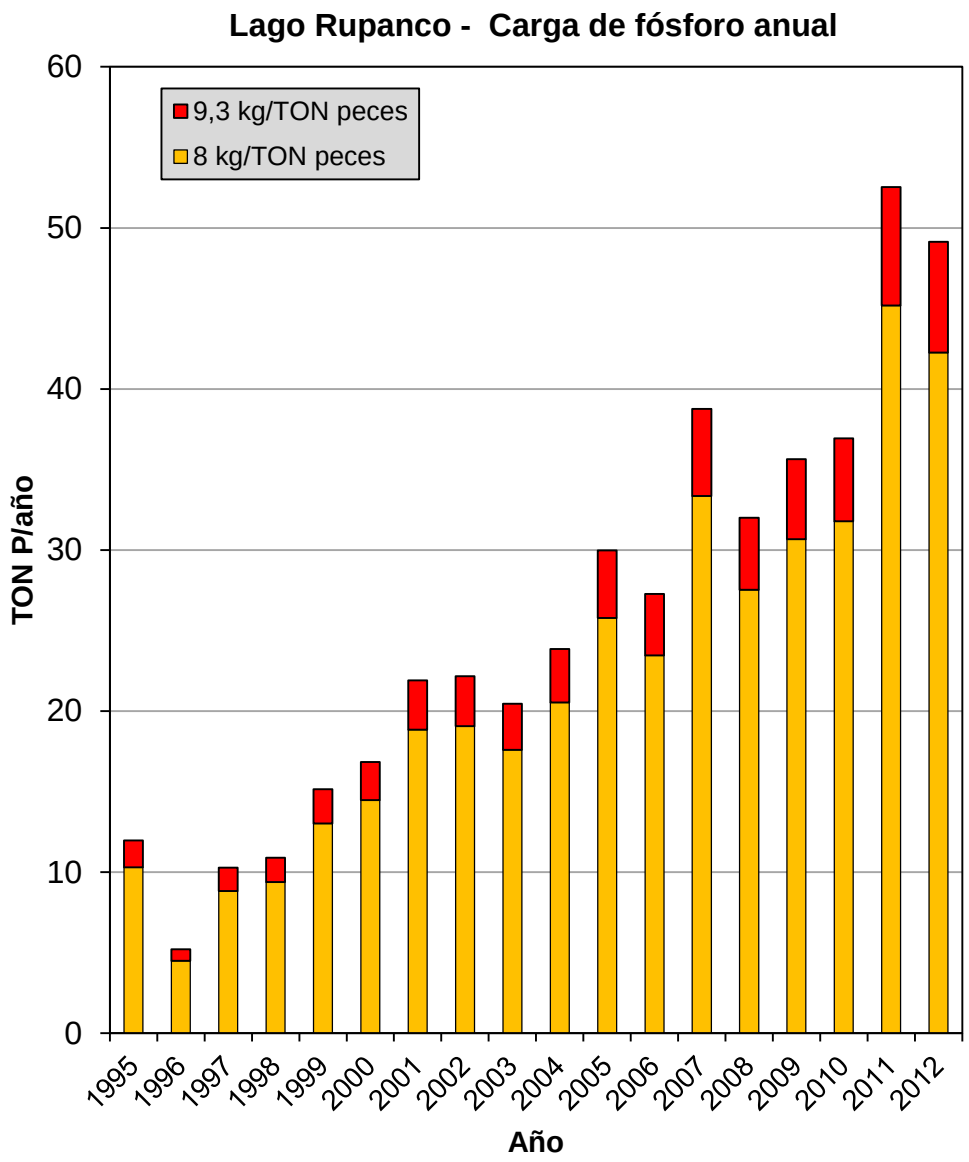


Fig. 53 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Rupanco.

LOS APORTES DE P POR CENTRO DE CULTIVO

En la tabla 34 se presenta las cargas mínimas y máximas de P por cada centro de cultivo durante 1995-2012. El porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P se presenta en la tabla 33. La concesión de mayor carga de P durante los últimos 6 años con el 28% de la carga total corresponde a la concesión N° 100081 ubicada al este de Punta Adolfo, seguida por las concesiones N° 101707 (16%), 100522 (13%) y los demás centros con un aporte entre 7 % y 12%.

Tabla 33 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Rupanco durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
AL ESTE DE PUNTA ADOLFO	100081	28
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE 1	101707	16
ENSENADA PUERTO RICO	100522	13
AL NOROESTE DE PUNTA NEGRA	101851	12
BAHÍA EL ENCANTO	100389	12
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE 2	100625	11
ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE ISLA CABRAS	101862	7
	TOTAL	**100**

Tabla 34 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos. 2012: enero - septiembre

N° centro	100081		100389		101851		100522		100625		101707		101862		TOTAL	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	5,6	6,6	0,2	0,2	0,8	1,0	0,6	0,7	1,0	1,2	1,1	1,3	0,9	1,1	**10,3**	**12,0**
1996	0,1	0,1	1,6	1,9	0,2	0,3	0,9	1,0	1,2	1,4	0,5	0,5	0,0	0,0	**4,5**	**5,2**
1997	1,3	1,6	1,7	2,0	1,1	1,3	1,0	1,1	1,9	2,2	1,1	1,3	0,7	0,8	**8,8**	**10,3**
1998	0,2	0,3	1,3	1,6	1,1	1,2	1,1	1,3	3,4	3,9	0,5	0,6	1,7	2,0	**9,4**	**10,9**
1999	0,0	0,0	3,7	4,3	2,1	2,4	1,8	2,1	4,4	5,2	0,0	0,0	1,0	1,1	**13,0**	**15,1**
2000	1,2	1,4	1,5	1,7	3,3	3,9	2,9	3,4	3,3	3,8	0,2	0,2	2,1	2,4	**14,5**	**16,8**
2001	6,5	7,5	1,5	1,8	3,2	3,7	2,5	2,9	4,0	4,6	0,0	0,0	1,2	1,4	**18,8**	**21,9**
2002	2,6	3,1	2,7	3,1	3,5	4,0	3,7	4,3	4,0	4,7	0,0	0,0	2,5	3,0	**19,1**	**22,2**
2003	2,8	3,3	4,4	5,1	2,2	2,5	2,0	2,3	3,8	4,5	0,0	0,0	2,4	2,8	**17,6**	**20,4**
2004	3,5	4,0	3,0	3,5	1,7	2,0	4,3	5,0	5,0	5,9	1,8	2,1	1,2	1,4	**20,5**	**23,9**
2005	6,3	7,3	3,5	4,1	3,0	3,5	2,2	2,6	3,5	4,1	3,9	4,5	3,3	3,9	**25,8**	**30,0**
2006	7,7	9,0	1,3	1,6	4,8	5,6	1,6	1,9	1,4	1,7	4,3	5,0	2,2	2,6	**23,5**	**27,3**
2007	10,3	12,0	3,1	3,6	7,3	8,5	1,3	1,6	6,1	7,1	1,5	1,7	3,6	4,2	**33,3**	**38,8**
2008	7,6	8,8	3,3	3,8	4,8	5,6	2,1	2,4	4,5	5,2	2,3	2,7	3,0	3,5	**27,5**	**32,0**
2009	6,3	7,3	3,6	4,2	0,3	0,4	3,9	4,5	6,8	7,9	9,6	11,1	0,2	0,2	**30,7**	**35,6**
2010	8,2	9,6	3,5	4,0	0,0	0,0	8,7	10,1	2,1	2,5	9,2	10,7	0,0	0,0	**31,8**	**36,9**
2011	12,1	14,0	5,3	6,2	7,6	8,8	9,0	10,4	2,4	2,7	5,0	5,8	3,9	4,6	**45,2**	**52,5**
2012	13,9	16,2	7,5	8,7	4,1	4,8	5,4	6,3	1,7	2,0	6,3	7,4	3,2	3,8	**42,3**	**49,1**
TOTAL	**96,4**	**112,1**	**52,9**	**61,5**	**51,2**	**59,6**	**54,9**	**63,8**	**60,7**	**70,5**	**47,2**	**54,9**	**33,2**	**38,5**	**396,5**	**460,9**

3.2.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

Este consultor obtuvo información de las INFAS completa (columna de agua y sedimento) de solamente 2 de 7 centros acuícolas existentes en el lago Rupanco. De la evaluación de las INFAS para estos dos centros se observa lo siguiente:

CENTRO RUPANCO 100625 (Fig. 54)

Fango: Los valores de porcentaje de fango se distribuyeron más bien de manera uniforme durante las campañas de muestreo, y sin diferencias con los sitios de referencia, con valores promedio de entre un 10 a 15 %. Sólo durante el 2011, se evidencia una leve tendencia al alza respecto a los sitios control, en los sitios E3, E4 y E5 pero sin sobrepasar el 20% de fango en los valores más extremos.

Materia orgánica: En términos generales, todos los valores son bajo 10% de materia orgánica. Durante el 2010 salvo 2 estaciones, los valores medidos estuvieron sobre los reportados para los sitios de referencia (<1%), siendo E4 el más alto con un 8% más de materia orgánica. Durante el 2011 no se evidencia diferencias entre las estaciones y sitios de referencia con valores bajos (1 y 4%).

Potencial de redox: Los valores de Potencial redox indican en ambos años ambientes oxigenados, sobre los 100 mV, sin diferencias entre estaciones y sitios de referencia, pero con una tendencia a la disminución entre 2010 y 2011.

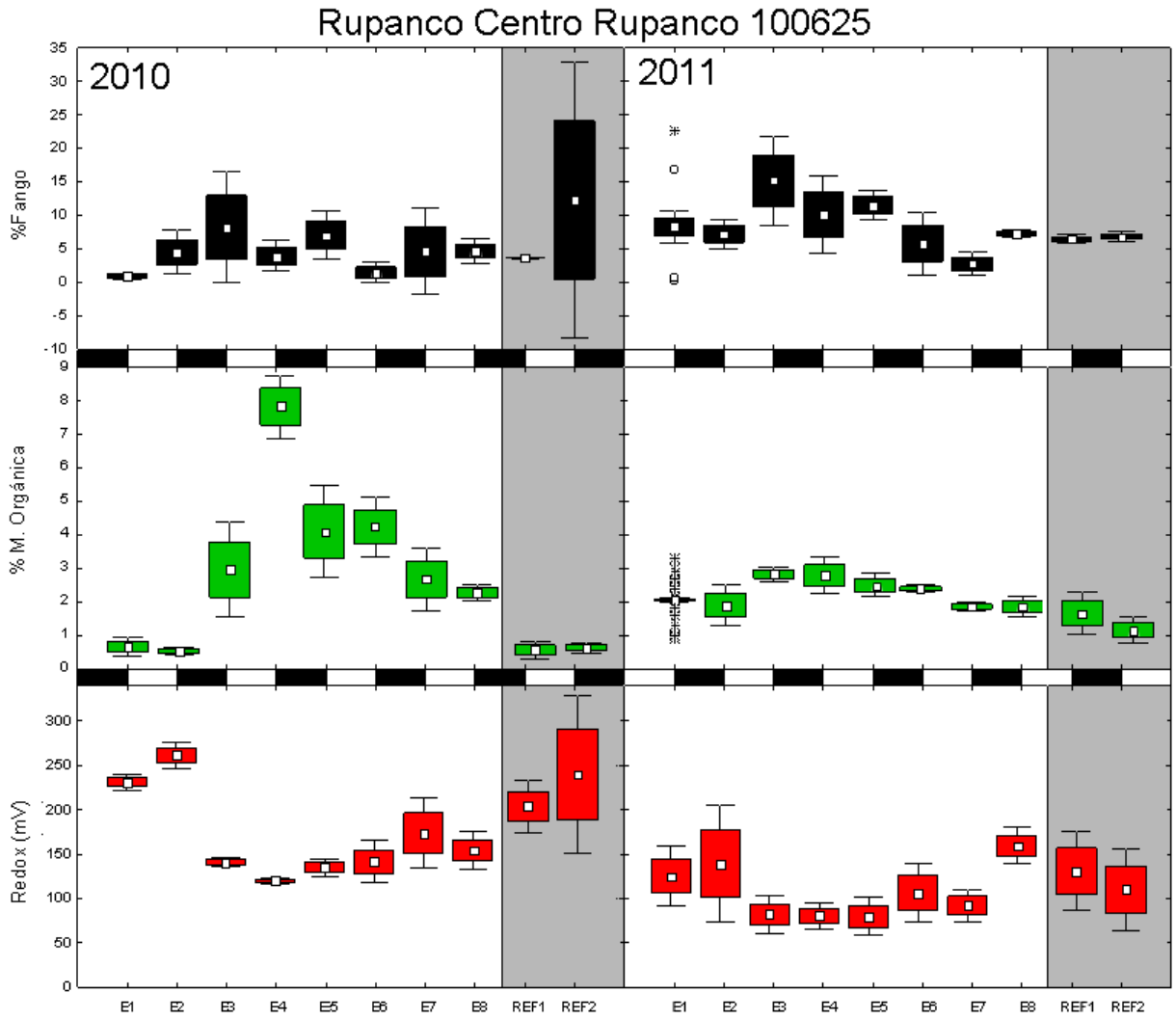


Fig. 54 Información ambiental (sedimento) del Centro Rupanco 100625 (2010, 2011).

Evaluación

En relación a los contenidos de fango, llama la atención la dispersión (i.e. variabilidad) y el elevado porcentaje obtenido (X ± S.D.) en la estación REF2, diferente a todas las demás estaciones , utilizandola como una estación control. Con respecto a los valores de materia orgánica, no se entiende la disminución presentada el año 2011 ni el aumento registrado en las estaciones de control, aunque es probable que en ambos casos podría deberse a un traslado o modificación del área de muestreo. Los bajos valores de redox en 2011 indican un relativo bajo nivel de oxigenó en el sedimento que no se refleja en los también bajos niveles de la materia orgánica, cuando se debería esperar en estas condiciones valores de MO mas altos.

CENTRO RUPANCO 100381 (Fig. 55)

Fango: Los valores de porcentaje de fango durante el 2010 fueron en su mayoría similares a los valores reportados para los sitios de referencia, con valores promedio que no sobrepasaron el 27%. Durante el 2011 existe un importante aumento, principalmente en 5 estaciones respecto de los sitios de referencia y al año anterior para las mismas estaciones, con porcentajes que sobrepasan el 50%.

Materia orgánica: En Rupanco el centro 100381 presenta porcentajes de materia orgánica en sus sedimentos que son variables según el año y la estación muestreada. En términos generales, todos los valores son bajo 10% .

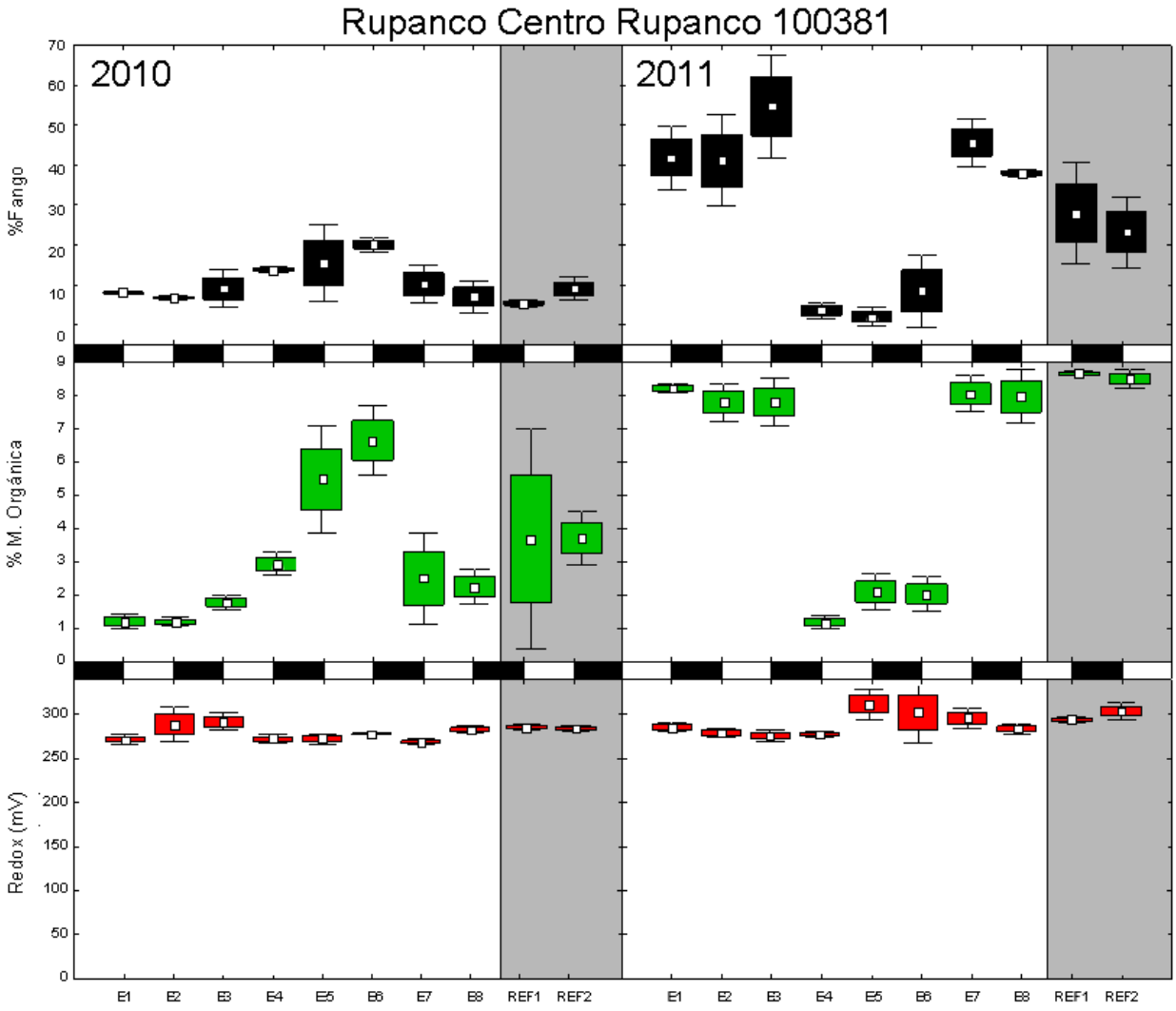


Fig. 55 Información ambiental (sedimento) del Centro Rupanco 100381 (2010, 2011).

Potencial de redox: En general no existe mayor diferencia entre los años 2010 y 2011, tampoco es observable una diferencia significativa entre las estaciones y los sitios de referencia. Para ambos años se observan valores entre 250 a 350 mV, lo que demuestra una condición de aguas bien oxigenadas.

Evaluación

En relación al contenido porcentual de materia orgánica llama la atención la dispersión (i.e. variabilidad) y el elevado porcentaje obtenido (X ± S.D.) en la estación REF1, con una baja proporción de la fracción fango, lo que permitiría suponer que no se trata de un sitio control adecuado.

3.2.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.2.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

En el lago Rupanco las estaciones de referencia centro 270m y Bahía >100m mostraron temperaturas en el rango de 9,81 - 10,66 °C, con promedios de 9,99 ± 0,2 °C en la estación 270m y 10,19 ± 0,28 °C en la estación Bahía >100m. Las temperaturas más altas se observaron en superficie (epilimnion) con una leve termoclina entre la sub-superficie a los 30m de profundidad (est. 270m) y sub-superficie a 10m de profundidad (est. Bahía >100m). Sobre estas profundidades respectivas se observó una disminución gradual hacia el hipolimnion, hasta los 120m (est. 270m) y 80m (est. Bahía >100m). A mayores profundidades ambas estaciones presentaron temperaturas con muy poca variación (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de temperaturas entre 11,24 °C (en superficie) a 9,77 °C (en el fondo). Las temperaturas promedias en los centros de cultivo fue la siguiente: Punta Adolfo (100081) 10,56 ± 0,28 °C; Noroeste Punta Negra (101707) 10,39 ± 0,71 °C; Bahía el Encanto (100389) 10,44 ± 0,44 °C; Puerto Rico (100522) 10,29 ± 0,61 °C; Río Bonito (101862) 10,08 ± 0,42 °C; Península

Islote (101851) 10,43 ± 0,59 °C; Isla los Ciervos (100625) 10,19 ± 0,30 °C. La distribución vertical de temperaturas en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia que la descrita para las estaciones centrales con temperaturas superficiales levemente más altas (Anexo 3).

pH Y CONDUCTIVIDAD

El pH en las estaciones centrales del lago Rupanco 270m y Bahía >100m de profundidad mostraron valores en el rango de 7,50 - 8,43, con promedios de 7,86 ± 0,15 en la estación 270m y 8,25 ± 0,14 en la estación Bahía >100m. Se observaron valores más altos en la est. Bahía >100m que en la est. 270m. En general se observó un leve aumento de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo, excepto por el valor superficial en la est. Bahía >100. En general ambas estaciones presentaron valores de pH con muy poca variación (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de pH entre 6,82 a 7,92. Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Punta Adolfo (100081) 7,23 ± 0,02; Noroeste Punta Negra (101707) 7,29 ± 0,12; Bahía el Encanto (100389) 7,22 ± 0,05 °C; Puerto Rico (100522) 7,69 ± 0,07; Río Bonito (101862) 7,66 ± 0,14; Península Islote (101851) 6,99 ± 0,15; Isla los Ciervos (100625) 7,49 ± 0,38. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia a la observada en la estación central est. 270m (Anexo 3).

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto las centrales como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron cuasi ninguna variación manteniéndose en valores entre los 52-53 µS/cm, observándose los valores de 53 µS/cm solamente en el estrato profundo de las estaciones correspondientes a la est. Central 270m y a la concesión Puerto Rico (100522).

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en las estaciones centrales del lago Rupanco 270m y Bahía >100m de profundidad mostró valores en el rango de 10,24 - 11,62 mg/L, con

promedios de 11,01 ± 0,50mg/L en la estación 270m y 10,99 ± 0,42 mg/L en la estación Bahía >100m (Fig. 56). Se observaron valores más altos en la est. 270m que en la estación Bahía >100m. En general se observó una leve disminución de los valores de oxígeno disuelto desde la superficie hasta el fondo, encontrando saturación completa de oxígeno hasta los 50m de profundidad. A profundidades mayores se observó una disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto hasta alcanzar valores de 10,28 y 10,24 mg/L con una leve subsaturación de oxígeno del 91% sobre el fondo (Anexo 3). Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 10,51 - 11,56mg/L y para la saturación de oxígeno entre 93 - 104%. Los valores de oxígeno disuelto y saturación promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Punta Adolfo (100081) 11,30 mg/L ± 0,16 – 102% ± 3; Noroeste Punta Negra (101707) 11,04 mg/L ± 0,36 – 99% ± 5; Bahía el Encanto (100389) 11,25 mg/L ± 0,14 – 101% ± 2; Puerto Rico (100522) 11,03 mg/L ± 0,39 – 99% ± 5; Río Bonito (101862) 10,83 mg/L ± 0,37 – 96% ± 4; Península Islote (101851) 11,16 mg/L ± 0,19 – 100% ± 3; Isla los Ciervos (100625) 11,19 mg/L ± 0,37 – 100% ± 4.

Se concluye que la distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia a la observada en las estaciones de referencia con la excepción de la est. Río Bonito (101862) donde la concentración de oxígeno disuelto y la saturación correspondiente disminuyó rápidamente (Anexo 3, Fig. 56).

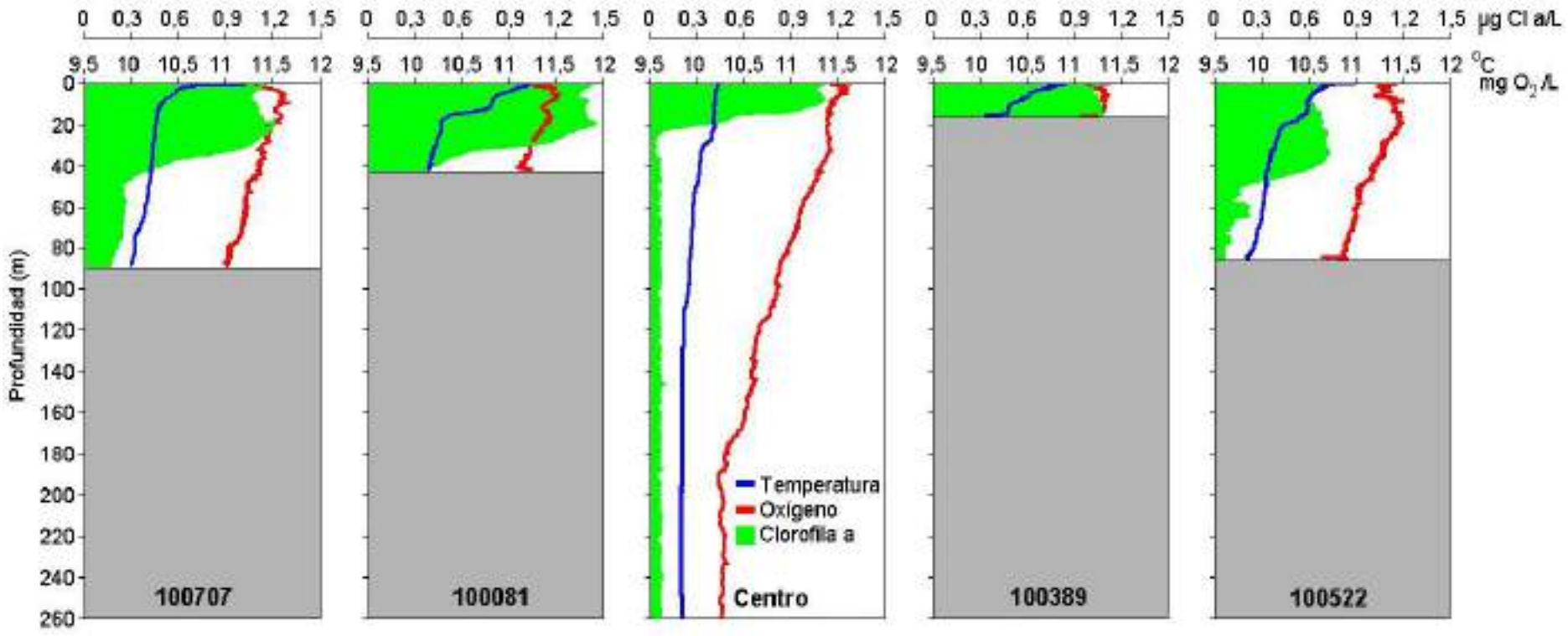
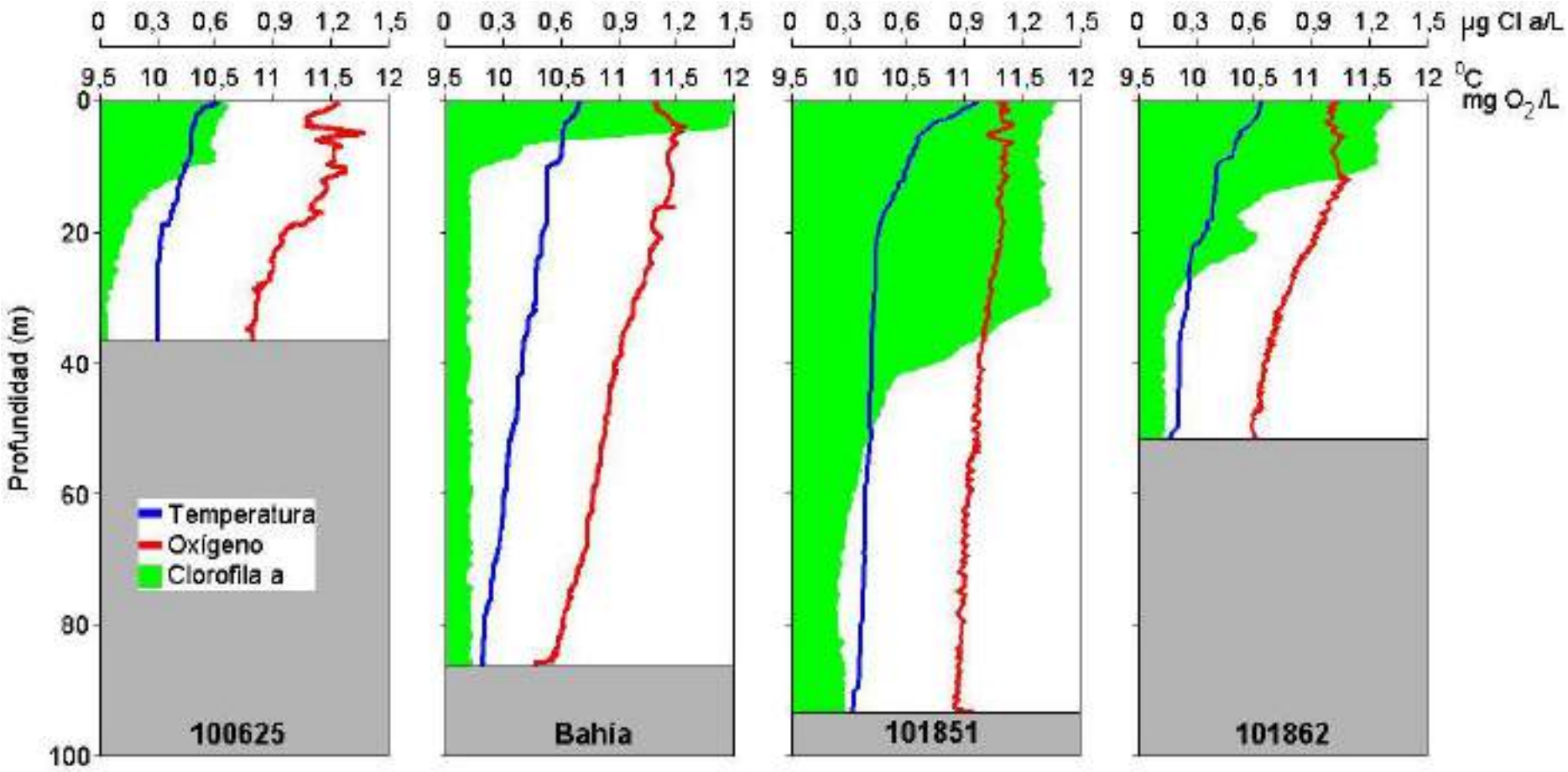


Fig. 56 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Rupanco.



Continuación figura 56

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en las estaciones centrales del lago Rupanco se observó una profundidad de disco secchi de 13m en la estación centro 270 y 11,7m en la est. Bahía >100. La zona eufótica se extendió a los 34m y 33,8m con un coeficiente de atenuación (kd) de 0,135 y 0,136 m^{-1} respectivamente (Tabla 35, Fig. 57).

La tranparencia en los sitios cercanos a los centros de cultivos oscilaron entre 11 y 13,3 m, similar a los sitios control (centro 270 y bahía > 100) y típicos para condicones todavía oligotróficas.

Tabla 35 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Rupanco. n.d.: no determinado

Estación	transparencia (m)	´= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro 270	13	17,21	34,0	0,135
Bahia >100	11,7	20,33	33,8	0,136
101862	13	n.d.	n.d.	n.d.
101851	11,7	n.d.	n.d.	n.d.
100625	14,5	n.d.	n.d.	n.d.
100522	12,9	n.d.	n.d.	n.d.
100389	11	n.d.	n.d.	n.d.
101707	13,25	n.d.	n.d.	n.d.
100081	11,35	n.d.	n.d.	n.d.
101862	11,9	n.d.	n.d.	n.d.

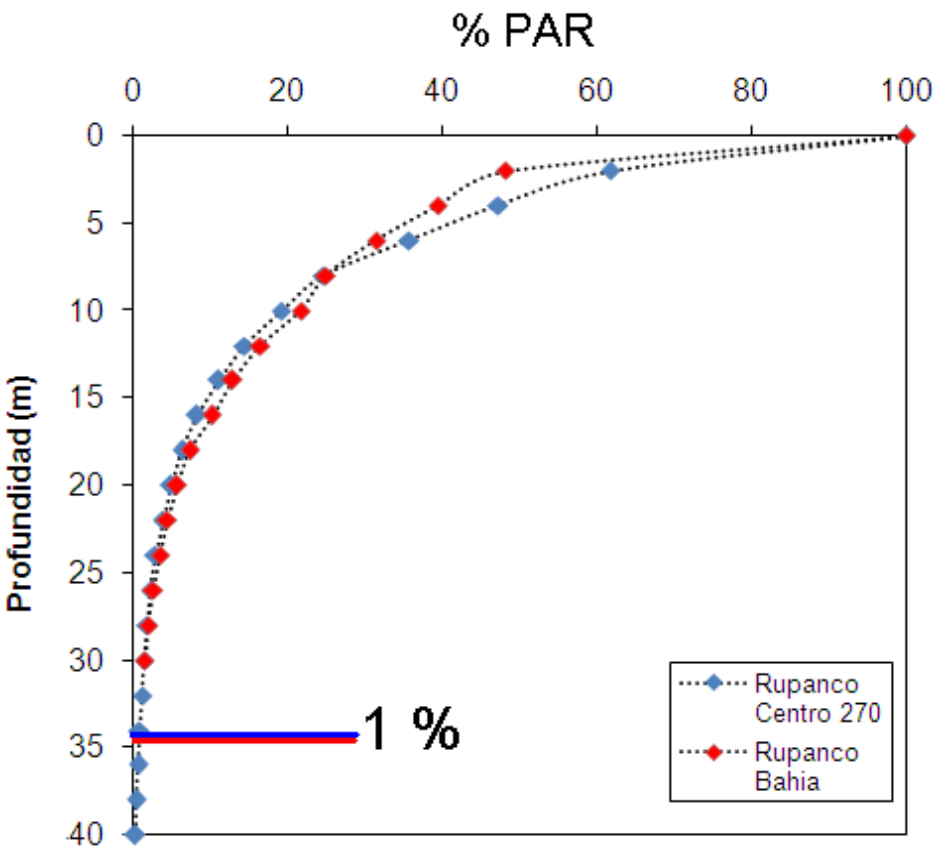


Fig. 57 Perfiles verticales de luz visible en dos estaciones de muestreo en el lago Rupanco.

NITRÓGENO

En las estaciones centrales muestreadas del lago Rupanco las especies inorgánicas de nitrógeno presentaron valores relativamente bajos (Fig. 58). En la estación central >270 tanto el amonio como el nitrito se mantuvieron por debajo de los límite de detección (<0,002 mg N/L). El nitrato mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre 0,0057 – 0,0222 mgN/L con un promedio de 0,0124 ± 0,0066 mgN/L. El nitrógeno total mostró una cierta variabilidad en sus valores en su perfil vertical mostrando un pequeño máximo sub-superficial y un segundo máximo a los 50m de profundidad. A mayores profundidades las concentraciones se mantuvieron relativamente constantes con una leve tendencia al aumento hacia los estratos más profundos. El rango de variación se mantuvo entre valores de 0,0495 – 0,0646 mgN/L y en promedio 0,0567 ± 0,0055 mgN/L para el

nitrógeno total. A su vez se observó que la mayor parte del nitrógeno contenido estuvo compuesto por nitrógeno orgánico.

En la estación central Bahía >100m la distribución vertical de amonio se mantuvo a niveles de los límite de detección o levemente sobre este (<0,002 – 0,0041 mgN/L). El nitrito mantuvo siempre valores inferiores a <0,002 mgN/L. El nitrato mostró valores menores en superficie (0-30m) aumentando gradualmente en los estratos más profundos (<0,002 – 0,0128 mgN/L; promedio 0,0071 ± 0,0044 mgN/L). El nitrógeno total mostró un máximo sub-superficial a los 10m de profundidad (0,0862 mgN/L), seguido por un máximo secundario a los 30m (0,0689 mgN/L). A mayores profundidades se observó una tendencia al aumento en la concentración del nitrógeno total. El rango de variación se mantuvo entre los valores 0,0513 – 0,0862 mgN/L con un promedio de 0,0625 ± 0,0115 mgN/L. En esta estación de muestreo también se observó que la mayor parte del nitrógeno contenido se compone de nitrógeno orgánico.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron todas para los parámetros amonio y nitrito valores inferiores al límite de detección (<0,002 mgN/L) (Fig. 59). El nitrato mostró un rango de valores entre <0,002 a 0,0146 mgN/L y para el nitrógeno total entre 0,0513 a 0,0713 mgN/L. Los valores de nitrato y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Punta Adolfo (100081) 0,0051 mgN/L ± 0,0008 – 0,0583 mgN/L ± 0,0022; Noroeste Punta Negra (101707) 0,0078 mgN/L ± 0,0053 – 0,0544 mgN/L ± 0,0031; Bahía el Encanto (100389) 0,0060 mgN/L ± 0,0008 – 0,0613 mgN/L ± 0,0027; Puerto Rico (100522) 0,0071 mgN/L ± 0,0056 – 0,0609 mgN/L ± 0,0065; Río Bonito (101862) 0,0126 mgN/L ± 0,0017 – 0,0598 mgN/L ± 0,0021; Península Islote (101851) 0,0107 mgN/L ± 0,0051 – 0,0578 mgN/L ± 0,0006; Isla los Ciervos (100625) 0,0084 mgN/L ± 0,0034 – 0,0635 mgN/L ± 0,0068 (Anexo 3).

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total entre las estaciones de referencia (central >270m y Bahía >100m) respecto a los valores obtenidos en

profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Rupanco.

FÓSFORO

En las estaciones centrales muestreadas del lago Rupanco las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente bajos (Fig. 59). En la estación central >270 tanto el fósforo soluble como el fósforo total se mantuvieron en el rango <0,002 – 0,0036 mg P/L (fósforo soluble), 0,0046 – 0,0071 mgP/L (fósforo total) y en promedio 0,0031 ± 0,0005 mgP/L y 0,0058 ± 0,0008 mgP/L respectivamente. En la estación central Bahía >100m tanto el fósforo soluble como el fósforo total se mantuvieron en el rango <0,003 – 0,0049 mg P/L (fósforo soluble), 0,0049 – 0,0066 mgP/L (fósforo total) y en promedio 0,0038 ± 0,0005 mgP/L y 0,0056 ± 0,0006 mgP/L respectivamente (Fig. 59). Las variaciones verticales fueron bajas.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble y fósforo total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Punta Adolfo (100081) <0,0022 mgP/L – 0,0065 mgP/L ± 0,0011; Noroeste Punta Negra (101707) 0,0031 mgP/L ± 0,0005 – 0,0064 mgP/L ± 0,0007; Bahía el Encanto (100389) 0,0028 mgP/L ± 0,0004 – 0,0072 mgP/L ± 0,0002; Puerto Rico (100522) 0,0028 mgP/L ± 0,0002 – 0,0068 mgP/L ± 0,0004; Río Bonito (101862) 0,0033 mgP/L ± 0,0002 – 0,0077 mgP/L ± 0,0033; Península Islote (101851) 0,0025 mgP/L ± 0,0005 – 0,0051 mgP/L ± 0,0004; Isla los Ciervos (100625) <0,002 mgP/L ± 0,0001 – 0,0055 mgP/L ± 0,0006 (Anexo 3, Fig. 59 y 60).

Comparativamente se encontraron algunas diferencias significativas entre los valores de fósforo soluble y fósforo total entre las estaciones de referencia (central >270m y Bahía >100m) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Rupanco (Fig. 60). Específicamente se encontró valores levemente elevados para las estaciones 100389 y 100522.

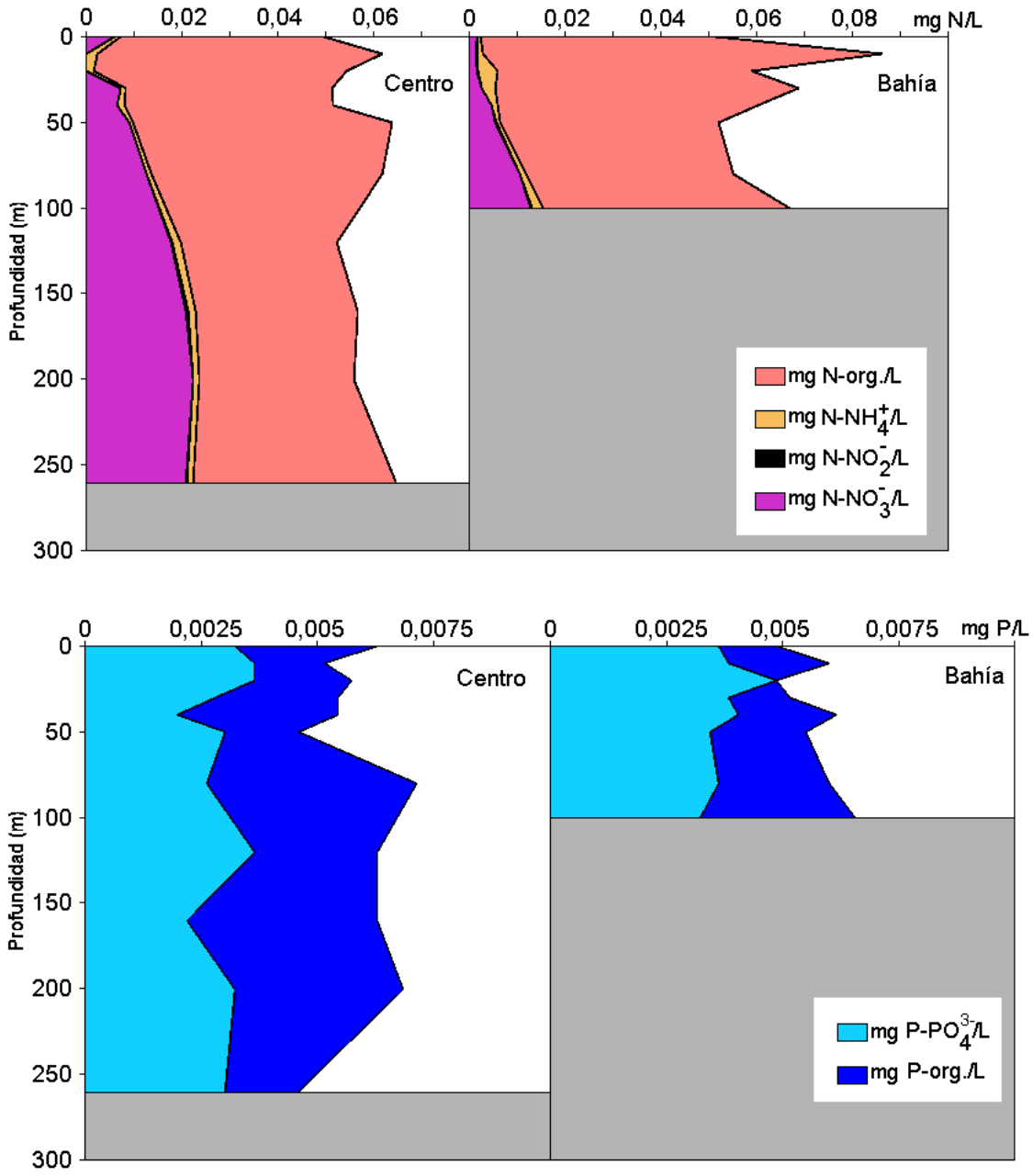


Fig. 58 Perfil vertical de nitrógeno y fósforo en dos estaciones pelágicas del lago Rupanco.

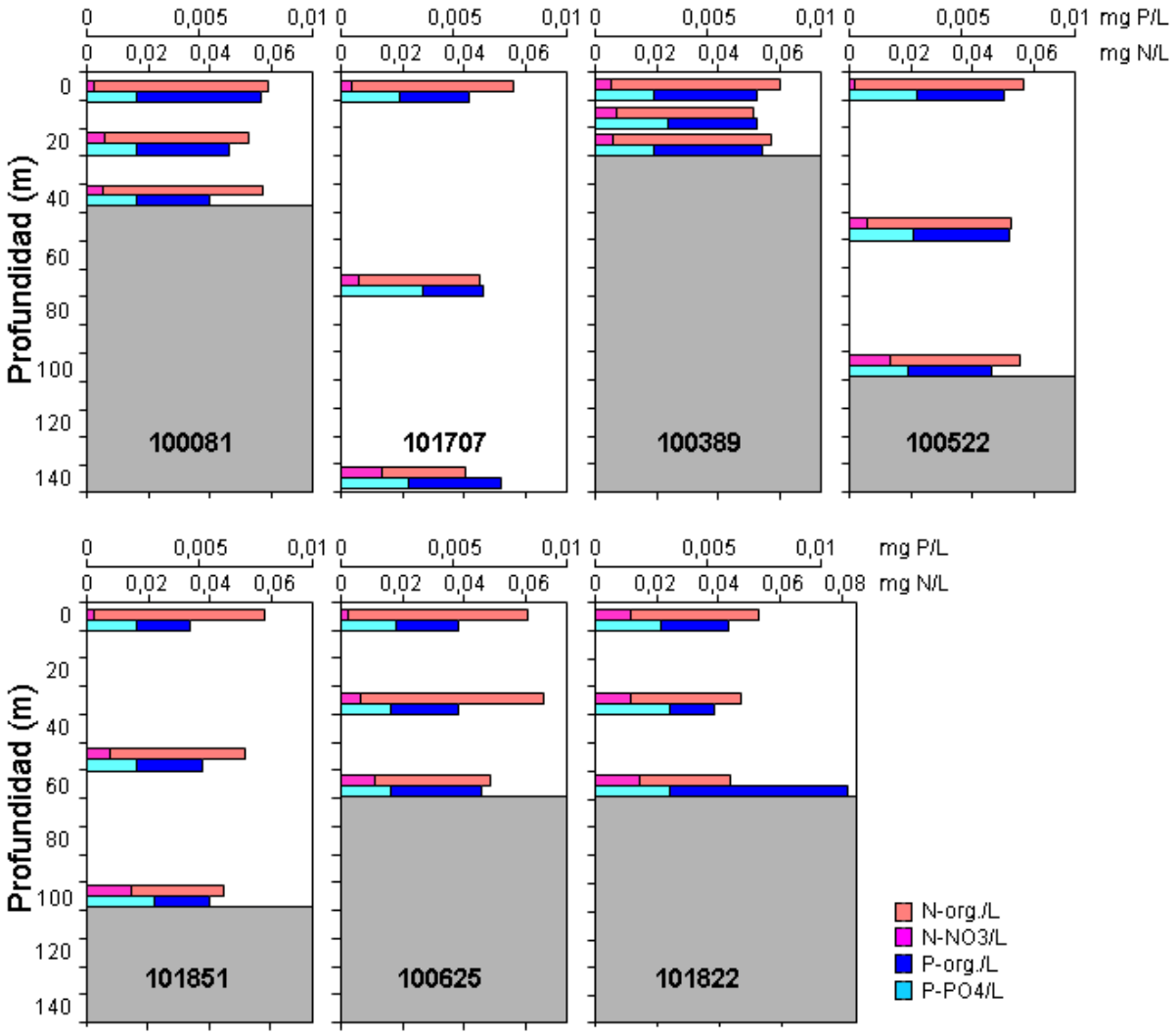


Fig. 59 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Rupanco.

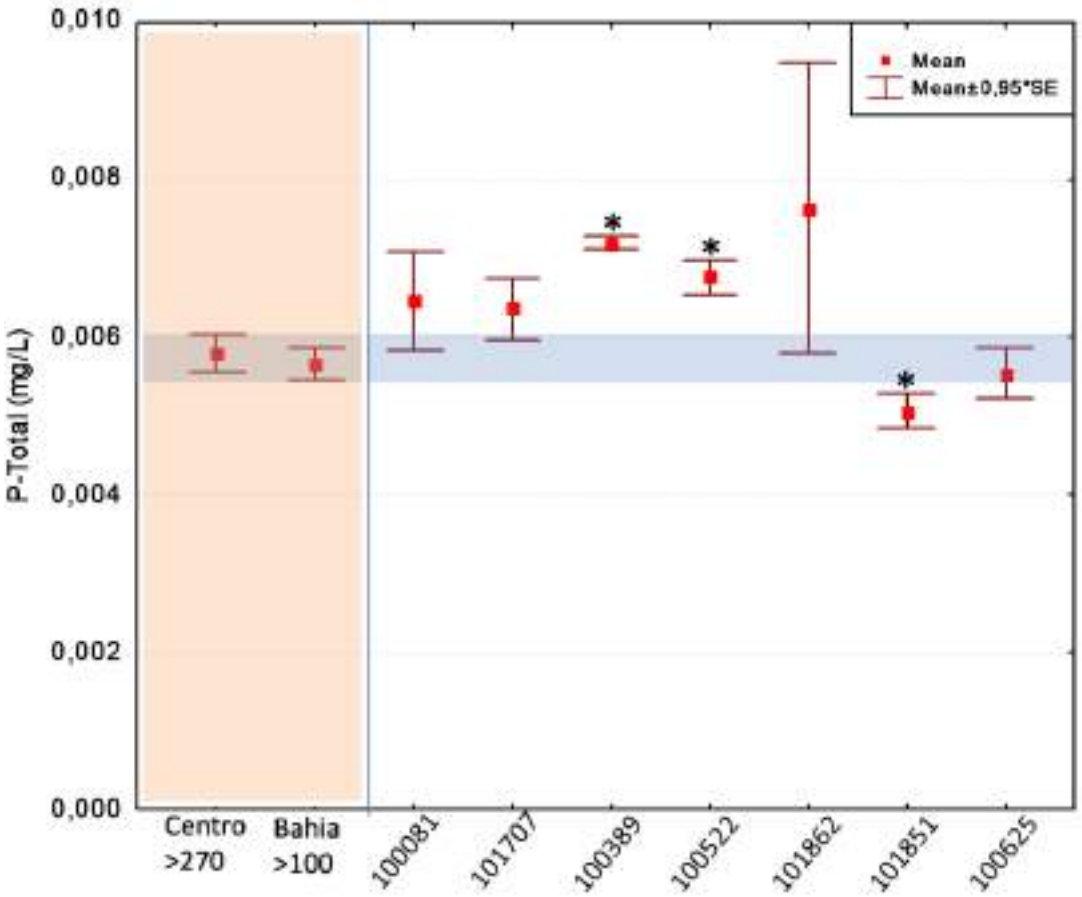


Fig. 60 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Rupanco.
Box-wiskers plot. (* = diferencia significativa)

3.2.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los perfiles verticales de clorofila a se presentan en las figuras 56 y 57. Los promedios (± error estandar) de clorofila a en la zona eufótcia se presenta en la figura 62. Los resultados de los análisis de clorofila a para las estaciones centrales del lago Rupanco (>270m y Bahía >100m) mostraron valores relativamente bajos aún característicos para un lago oligotrófico, con un rango de variación entre los 0,7 – 1,8 µg/L chl a y un promedio de 1,4 ± 0,4 µg/L chl a para ambas estaciones. Similares valores se encontraron también en las estaciones cerca de los centros de cultivo.

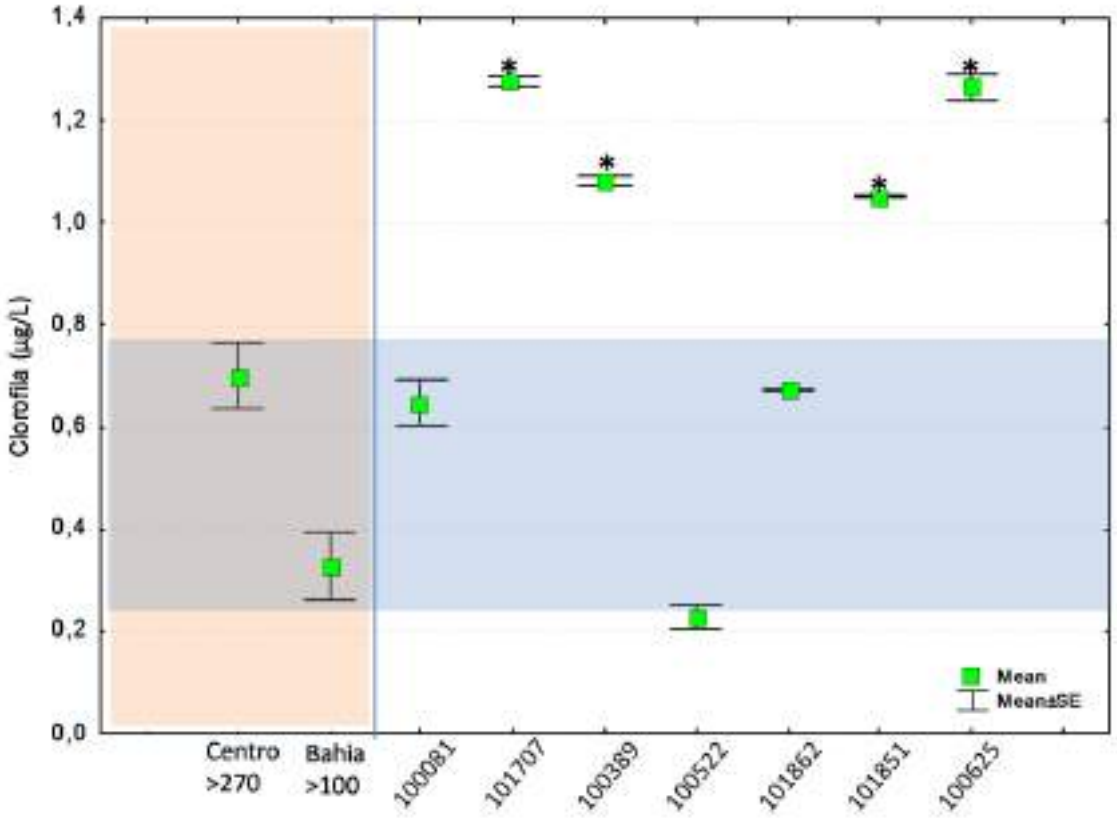


Fig. 61 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Rupanco. Box-wiskers plot. (* = diferencia significativa)

FITOPLANCTON (Fig. 62, 63)

Para el Lago Rupanco se analizaron un total de 18 muestras de fitoplancton, 9 de ellas corresponden a muestras cualitativas de red (55 µm) y 9 a muestras cuantitativas. Estas muestras fueron colectadas según la metodología descrita en capítulo 2.3.3. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 40m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 4. Los resultados aquí presentados no contemplan el picoplancton (algas < 5 µm). La densidad celular de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo varió entre 1.05 y 5.40 E+05 cel/L, figura 62 y tabla 36. La estación de muestreo código 101707 fue la que presentó la mayor densidad celular de microalgas. En total se registraron 73 especies de fitoplancton, de las cuales 37 corresponden a Diatomeas, 21 a Clorofíceas, 5 Crisofíceas, 3 Cianobacterias, 2 Criptofíceas y 5 Dinofíceas (para mayor información ver Anexo 2 Tabla 1). La estructura comunitaria de fitoplancton se

caracterizó por la marcada dominancia de diatomeas, con abundancias entre el 40 y el 80 % de dominancia relativa, siendo los taxa más representativos pertenecientes a los géneros *Asterionella, Aulacoseira, Fragilaria y Rhizosolenia*. Los grupos que co-dominaron el fitoplancton del lago Rupanco, en cuanto a su aporte proporcional en abundancia, fueron las Criptofíceas (*Cryptomonas* sp y *Rhodomonas* sp), seguidas por la contribución de las Crisofíceas (*Dinobryon divergens*) y las Clorofíciceas (*Ankistrodesmus* sp y *Dictyosphaerium* sp). Las Dinofíceas presentaron bajas abundancias siendo principalmente representadas por *Ceratium hirundinella* y representantes del genero *Gymnodinium*. Las cianofíceas estuvieron pobremente representadas y con valores de abundancia relativa menores al 1% en todas las estaciones, Tabla 28. En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Dydimosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Rupanco.

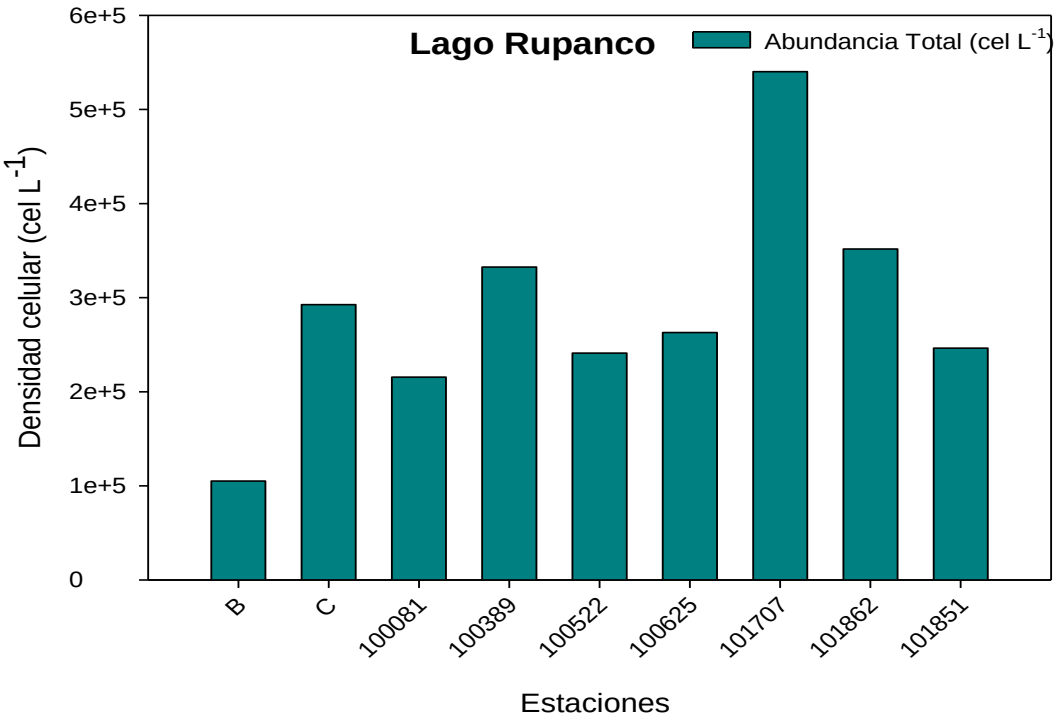


Fig. 62 Densidad celular de microalgas registradas en las 9 estaciones de muestro pelágico del lago Rupanco.

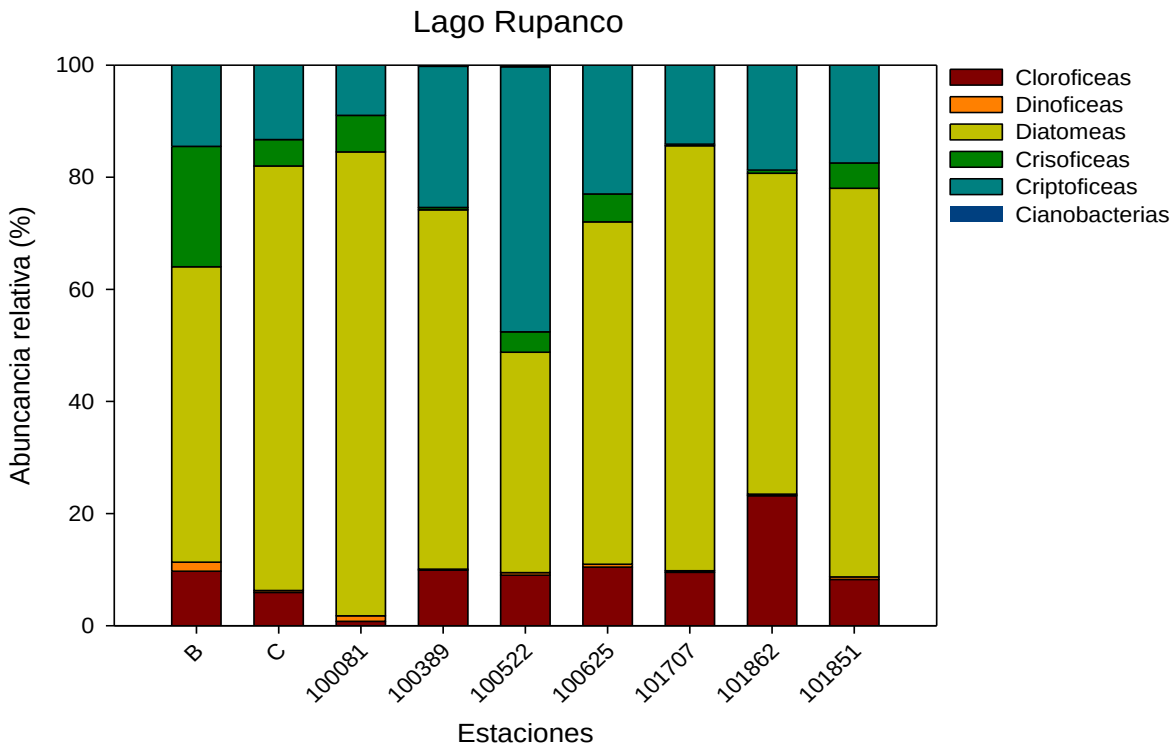


Fig. 63 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 9 estaciones de muestreo pelágico del lago Rupanco.

Tabla 36 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 9 estaciones de muestreo del lago Rupanco.

Lago	Rupanco								
Estacion	***B***	***C***	***100081***	***100389***	***100522***	***100625***	***101707***	***101862***	***101851***
Densidad Total (cel/L)	1.05E+05	2.92E+05	2.15E+05	3.32E+05	2.41E+05	2.63E+05	5.40E+05	3.52E+05	2.46E+05
Grupo	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Clorofíceas	9.7	5.9	0.8	9.9	9.0	10.5	9.5	23.2	8.3
Dinofíceas	1.6	0.4	1.0	0.2	0.4	0.5	0.3	0.3	0.5
Diatomeas	52.7	75.7	82.8	64.1	39.3	61.1	75.8	57.2	69.3
Crisofíceas	21.5	4.7	6.5	0.4	3.6	5.0	0.3	0.6	4.5
Criptofíceas	14.5	13.3	9.0	25.2	47.3	23.0	14.1	18.7	17.5
Cianobacterias	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0

La comunidad de fitoplancton del lago Rupanco es característica de periodos de circulación en ambientes profundos de carácter oligo-mesotrófico como es el caso de los grandes lagos del norpatagonicos del Sur de Chile. La densidad

celular presentó variaciones entre las estaciones de muestreo, Figura 58. Sin embargo dichos cambios no son considerados anómalos.

Se presume que la heterogeneidad espacial del fitoplancton, en cuanto a densidad celular, es atribuible al efecto conjunto de la hidrodinámica del sistema modulada por el efecto y dirección de los vientos predominantes durante el periodo de muestreo. Si bien se detectaron variaciones en densidad entre los puntos de muestreo, no se registran cambios importantes en composición florística de fitoplancton que sean indicadores de perturbaciones focalizadas dentro del lago. En términos generales las características estructurales del fitoplancton en los distintas partes del lago fueron bastante homogéneas.

ZOOPLANCTON (Fig. 64, tabla 37)

Para el Lago Rupanco se analizaron un total de 9 muestras cuantitativas de zooplancton. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 60m de profundidad para cada una de las estaciones pelágicas y entre 0 a 30m o 60m de profundidad en las estaciones de muestreo cercanas a los centros de cultivos dependiendo de la profundidad máxima registrada. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 7 géneros representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Diaptomus diabolicus*, *Tropocyclops prasinus* y *Mesocyclops* sp.) y a cladoceros (*Daphnia pulex* y *D. ambigua*, *Neobosmina chilensis*, *Ceriodaphnia dubia* y *Diaphanosoma* sp.). Se observó una cierta variabilidad en la abundancia de los distintos géneros, con un máximo de 15,6 ind/L en la estación 101522 y un mínimo de 7,2 ind/L en la estación 101862. A su vez se observó una cierta variabilidad en la predominancia en el número de individuos contabilizados entre copépodos y cladóceros, siendo predominantes los cladóceros en las estaciones Bahía >100 y 101851, mientras que en las otras estaciones predominaron los copépodos y en especial los copépodos ciclopoideos, los estadios naupliares y los copepoditos (est. Centro, 100081, 100389, 101522, 100625). En las estaciones 101862 y 101707 se observaron abundancias muy parecidas entre copépodos y cladóceros.

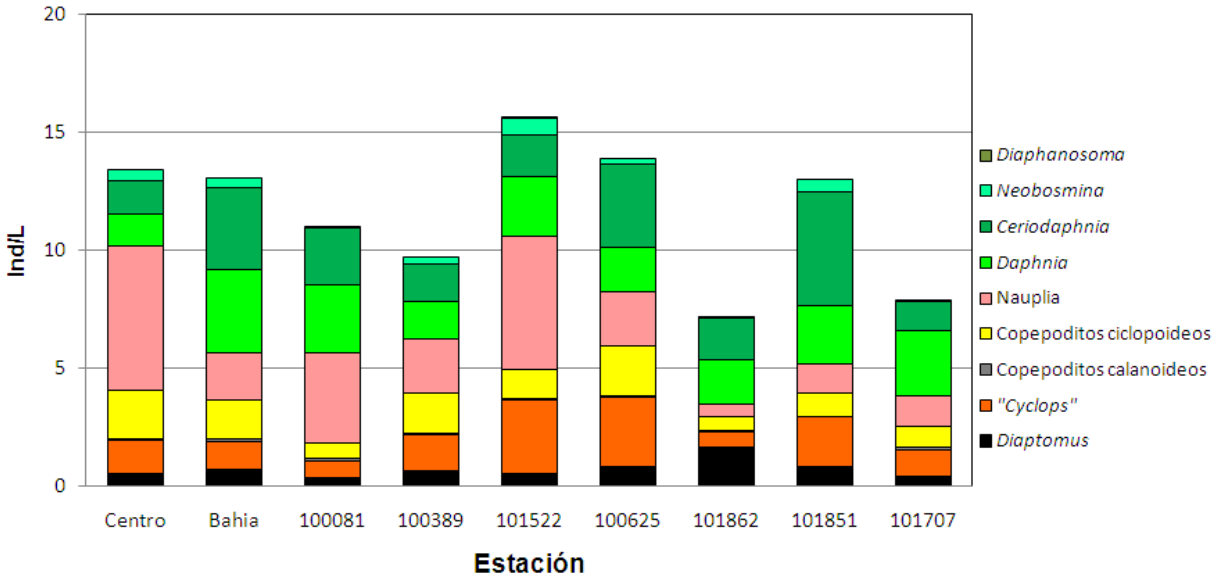


Fig. 64 Abundancia de zooplancton (Ind/L) en el lago Rupanco durante primavera 2012.

Tabla 37 Abundancia de microcrustáceos en el lago Rupanco durante primavera 2012.

Especies/estación		Centro	Bahia	100081	100389	101522	100625	101862	101851	101707
Copépodos		27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12	27-09-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	0,41	0,52	0,31	0,53	0,21	0,65	1,46	0,64	0,33
	♀	0,08	0,05	0,03	0,06	0,16	0,12	0,10	0,08	0,04
	♀+H	0,02	0,10	0,03	0,06	0,11	0,05	0,06	0,08	0,04
Copepoditos calanoidos		0,02	0,10	0,13	0,08	0,05	0,05	0,04	0,00	0,08
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copépodos ciclopoideos										
"Mesocyclops" sp.	♂	0,76	0,47	0,39	0,50	1,88	1,68	0,48	1,08	0,78
	♀	0,23	0,16	0,05	0,20	0,73	0,46	0,04	0,38	0,04
	♀+H	0,41	0,57	0,23	0,81	0,56	0,79	0,14	0,69	0,29
Copepoditos ciclopoidos		2,05	1,67	0,67	1,68	1,21	2,14	0,62	0,95	0,94
Nauplia		6,15	1,98	3,78	2,30	5,69	2,28	0,52	1,28	1,29
Cladóceros										
Daphnia (pulex y ambigua)		1,35	3,50	2,88	1,62	2,50	1,90	1,85	2,46	2,78
Neobosmina chilensis		0,47	0,42	0,08	0,31	0,70	0,26	0,06	0,51	0,08
Ceriodaphnia dubia		1,40	3,50	2,42	1,57	1,77	3,51	1,75	4,85	1,19
Diaphanosoma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00
Total (Ind/L)		13,4	13,1	11,0	9,7	15,6	13,9	7,2	13,1	7,9

3.2.6.3 Sedimento

En el lago Rupanco se muestrearon 7 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo El Encanto (100389), Península Islote (101851), Piedra Negras (100625), Punta Adolfo (100081), Puerto Rico (100522), Punta Negra (101707) y Río Bonito (101862) (Tabla 38)

En la estación 1 del Centro El Encanto, se observó el predominio de la fracción fango con más del 65 % y aportes de las fracciones arena-grava menores al 20 %, situación que cambió en las estaciones 2 y 3 donde los aportes del fango fueron del 16 % y donde predominó la fracción de arena media, con valores de 34 y 40 %, respectivamente.

En las tres estaciones cercanas al centro Península Islote se presentaron diferencias granulométricas, estando la estación 1 representada principalmente por fango (51 %) y por arena fina (14 %). En la estación 2 el mayor porcentaje promedio correspondió a las fracciones arena media y arena fina (21 % en cada caso), mientras que una situación muy diferente se presentó en la estación 3, donde predominó la arena fina (45 %).

La estación 1 del centro Piedras Negras presentó bajos valores de la fracción fango, con aportes cercanos al 15 %, En la estación 2 predominó la fracción arena muy fina con 56 % y en la estación 3 fue importante el aporte de la fracción arena, la que en su conjunto representó el 70 % del total del depósito.

Tabla 38 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias (porcentual) presentes en las estaciones de muestreo del Lago Rupanco. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro El Encanto: 100389					
Grava	-1	4 - 2	0.12	1.74	0.42
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.12	3.65	1.01
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.19	14.85	11.33
Arena media	2	0,5 - 0,25	6.93	34.39	40.56
Arena fina	3	0,25 - 0,125	6.29	17.40	19.04
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	18.82	12.02	11.57
Fango	5	< 0,063	65.13	15.95	16.06
Centro Península Islote 101851					
Grava	-1	4 - 2	2.43	2.31	6.95
Arena muy gruesa	0	2 - 1	1.43	5.45	5.44
Arena gruesa	1	1 - 0,5	4.28	14.40	6.97
Arena media	2	0,5 - 0,25	12.10	21.02	6.91
Arena fina	3	0,25 - 0,125	14.35	21.52	14.66
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	13.56	15.49	45.08
Fango	5	< 0,063	51.80	19.73	14.09
Centro Piedra Negras 100625					
Grava	-1	4 - 2	5.94	0.00	5.86
Arena muy gruesa	0	2 - 1	15.04	0.18	3.09
Arena gruesa	1	1 - 0,5	13.01	0.40	7.91
Arena media	2	0,5 - 0,25	11.82	8.80	20.41
Arena fina	3	0,25 - 0,125	18.93	17.87	23.53
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	19.49	56.94	26.81
Fango	5	< 0,063	15.78	15.81	12.38
Centro Punta Adolfo (100081).					
Grava	-1	4 - 2	21.86	20.62	9.79
Arena muy gruesa	0	2 - 1	9.89	4.70	1.84
Arena gruesa	1	1 - 0,5	11.48	6.73	2.74
Arena media	2	0,5 - 0,25	9.94	8.18	6.37
Arena fina	3	0,25 - 0,125	9.62	16.46	20.54
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	15.17	26.46	41.90
Fango	5	< 0,063	22.06	16.86	16.81

Continuación tabla 38

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Puerto Rico 100522					
Grava	-1	4 - 2	13.96	10.27	38.00
Arena muy gruesa	0	2 - 1	8.09	16.89	10.46
Arena gruesa	1	1 - 0,5	6.55	19.93	10.61
Arena media	2	0,5 - 0,25	6.18	15.88	10.93
Arena fina	3	0,25 - 0,125	6.82	10.74	6.85
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	5.02	6.97	4.25
Fango	5	< 0,063	53.38	19.32	18.89
Centro Punta Negra (101707).					
Grava	-1	4 - 2	0.00	19.12	0.15
Arena muy gruesa	0	2 - 1	1.18	7.14	0.62
Arena gruesa	1	1 - 0,5	21.19	15.04	2.17
Arena media	2	0,5 - 0,25	10.77	21.33	7.81
Arena fina	3	0,25 - 0,125	3.16	13.75	24.10
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	3.59	7.62	51.96
Fango	5	< 0,063	69.09	16.01	13.19
Centro Río Bonito 101862					
Grava	-1	4 - 2	5.66	0.54	0.04
Arena muy gruesa	0	2 - 1	14.73	0.31	0.03
Arena gruesa	1	1 - 0,5	10.77	0.62	0.24
Arena media	2	0,5 - 0,25	4.43	1.40	0.72
Arena fina	3	0,25 - 0,125	8.95	10.59	7.10
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	7.83	70.81	77.60
Fango	5	< 0,063	47.63	15.72	14.27

Las estaciones cercanas al centro Punta Adolfo mostraron diferencias granulométricas, estando las estación 1 constituida principalmente por grava (21 %) y fango (22 %). En la estación 2 el mayor porcentaje promedio correspondió a la fracción arena muy fina (26 %) y a la fracción grava (20 %) y en la estación 3 predominó la arena muy fina (42 %) y la arena fina (20 %).

En centro Puerto Rico predominó la fracción de fango, especialmente en la estación 1 la que representó el 53 % de la muestra. En la estación 2, además del fango (19 %) también fue importante el aporte de la arena gruesa y muy gruesa con el 19 y el 16 % respectivamente. En la estación 3 la fracción mas representada fue la grava con el 38 %.

En el centro Punta Negra los mayores aportes sedimentarios correspondieron a la fracción fango, 69 % en la estación 1 y a la fracción arena muy fina (52 %) para la estación 3. En la estación 2 el mayor aporte fue de la arena media con 21 %.

En la Tabla 39 se presenta el porcentaje promedio de las fracciones sedimentarias de estaciones cercanas al centro Río Bonito, donde predominó la fracción de fango en la estación 1 (47 %) y la fracción arena muy fina en las estaciones 2 y 3, con porcentajes de 70 y 77 %, respectivamente.

La característica de los sedimentos, representada por los estadígrafos sedimentológicos, señala a las principales tipologías del depósito y se indican en la Tabla 40. El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena media y fina, aunque en algunas estaciones el tamaño medio de la partícula correspondió a limos muy gruesos.

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estándar gráfica inclusiva, mostró una alta variabilidad en la gran mayoría de las estaciones del lago, donde predominaron las arenas pobremente seleccionadas. La Asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media indicó, para la mayoría de los casos, sedimentos simétricos y algunos con un moderado exceso de finos (Tabla 39).

Tabla 39 Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: Asimetría y C: curtósis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Rupanco.

Centro		Repl.	M	S	A	C	
100389	**1**	A	4,45	0,55	-0,28	1,71	Limo muy grueso
		B	4,42	0,72	-0,34	2,38	Limo muy grueso
		C	3,10	1,14	-0,30	1,15	Arena muy fina
	2	A	2,34	1,47	0,36	0,88	Arena fina
		B	2,12	1,54	0,10	0,98	Arena fina
		C	2,12	1,65	0,22	0,98	Arena fina
	3	A	2,31	1,41	0,36	0,92	Arena fina
		B	2,45	1,41	0,36	0,80	Arena fina
		C	2,18	1,30	0,30	1,07	Arena fina
101851	**1**	A	3,93	1,28	-0,65	2,50	Arena muy fina
		B	3,69	1,31	-0,63	0,99	Arena muy fina
		C	2,65	1,41	-0,03	0,89	Arena fina
	2	A	2,36	1,69	-0,01	0,84	Arena fina
		B	2,30	1,78	-0,05	0,86	Arena fina
		C	2,41	1,62	0,02	0,85	Arena fina
	3	A	1,23	2,31	0,22	0,74	Arena media
		B	3,48	0,59	-0,03	1,46	Arena muy fina
		C	3,17	0,92	-0,24	1,25	Arena muy fina
100625	**1**	A	1,91	1,83	-0,13	0,76	Arena media
		B	1,65	2,18	-0,13	0,64	Arena media
		C	2,40	1,67	-0,08	0,81	Arena fina
	2	A	3,23	0,86	-0,20	1,26	Arena muy fina
		B	3,53	0,56	0,01	1,39	Arena muy fina
		C	3,03	1,08	-0,15	0,93	Arena muy fina
	3	A	2,45	1,72	-0,34	1,17	Arena fina
		B	2,65	1,53	-0,30	1,34	Arena fina
		C	2,13	1,48	0,15	0,91	Arena fina
100081	**1**	A	1,33	2,51	0,16	0,51	Arena media
		B	0,90	2,35	0,41	0,94	Arena gruesa
		C	2,87	1,58	-0,38	1,35	Arena fina
	2	A	2,02	2,17	-0,34	0,71	Arena fina
		B	2,89	1,27	-0,28	1,22	Arena fina
		C	1,01	2,42	0,21	0,55	Arena media
	3	A	3,10	1,28	-0,36	1,57	Arena muy fina
		B	1,86	2,37	-0,44	0,57	Arena media
		C	3,20	0,92	-0,22	1,23	Arena muy fina

Continuación tabla 39

Centro		Repl.	M	S	A	C	
100522	**1**	A	4,41	0,53	-0,25	1,48	Limo muy grueso
		B	2,49	2,53	-0,77	0,51	Arena fina
		C	1,40	2,28	0,15	0,79	Arena media
	2	A	1,25	2,25	0,35	0,79	Arena media
		B	1,83	2,05	0,08	0,85	Arena media
		C	1,64	2,07	0,24	0,75	Arena media
	3	A	0,33	2,48	0,83	2,84	Arena gruesa
		B	1,27	2,34	0,21	0,73	Arena media
		C	1,42	2,32	0,08	0,73	Arena media
101707	**1**	A	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	1,66	1,43	0,39	1,08	Arena media
	2	A	1,18	2,28	0,20	0,90	Arena media
		B	1,25	2,29	0,01	0,70	Arena media
		C	2,04	1,94	-0,04	1,04	Arena fina
	3	A	3,12	0,99	-0,09	1,03	Arena muy fina
		B	3,02	0,98	-0,18	1,09	Arena muy fina
		C	3,41	0,71	-0,18	1,72	Arena muy fina
101862	**1**	A	2,31	2,29	-0,39	0,63	Arena fina
		B	4,42	0,58	-0,28	1,70	Limo muy grueso
		C	1,33	2,06	0,46	0,70	Arena media
	2	A	3,41	0,66	-0,07	1,35	Arena muy fina
		B	3,57	0,69	0,00	1,50	Arena muy fina
		C	3,54	0,53	0,03	1,37	Arena muy fina
	3	A	3,53	0,53	0,03	1,35	Arena muy fina
		B	3,54	0,51	0,07	1,29	Arena muy fina
		C	3,53	0,55	0,02	1,38	Arena muy fina

La materia orgánica (combustibles totales), presente en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo en el Lago Rupanco, expresada en porcentaje, se indica en la Tabla 40. En general, no se presentaron porcentajes muy elevados de materia orgánica, aunque se presentaron algunos valores mayores que aquellos mencionados en las INFAS, siendo los máximos registrados en las estaciones cercanas a los centros Península Islote, Piedras Negras y Punta Adolfo, pero ninguna muestra acompañada de olores fuertes o desagradables (Tabla 40).

Tabla 40 Lago Rupanco: Porcentajes de materia orgánica total. contenida en los primeros 3 cm del sedimento, para cada uno de los centros y estaciones consideradas. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Bahía El Encanto	100389	1	80 m	5,84	café claro	sin olor
		2	52 m	2,47	verde oscuro	sin olor
		3	70 m	1,75	verde oscuro	sin olor
Península Islote	101851	1	85 m	8,67	café	sin olor
		2	30 m	2,66	verdoso	sin olor
		3	100 m	10,89	café	sin olor
Piedras Negras	100625	1	30 m	1,83	plomizo	sin olor
		2	56 m	10,44	café verdoso	sin olor
		3	30 m	3,71	verde oscuro	sin olor
Pta. Adolfo	100081	1	30 m	4,91	negro	sin olor
		2	60 m	10,87	café	sin olor
		3	30 m	19,69	café oscuro	sin olor
Puerto Rico	100522	1	40 m	6,65	Café	sin olor
		2	40 m	2,70	verde oscuro	sin olor
		3	58 m	3,71	verde oscuro	sin olor
Punta Negra	101707	1	82 m	9,55	café	sin olor
		2	30 m	1,31	verde oscuro	sin olor
		3	82 m	7,27	café	sin olor
Río Bonito	101862	1	30 m	7,31	verde oscuro	sin olor
		2	64 m	9,48	café	sin olor
		3	53 m	9,72	café	sin olor

En la figura 65 se aprecian el porcentaje de fango, materia orgánica (ambos parámetros ya fueron descrito más arriba) y el potencial de Redox medido en terreno. Según este último parámetro, en cási todas las estaciones el sedimento están por lo menos en una muestra por estación cerca del límite de aceptabilidad de Eh REDOX considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV.

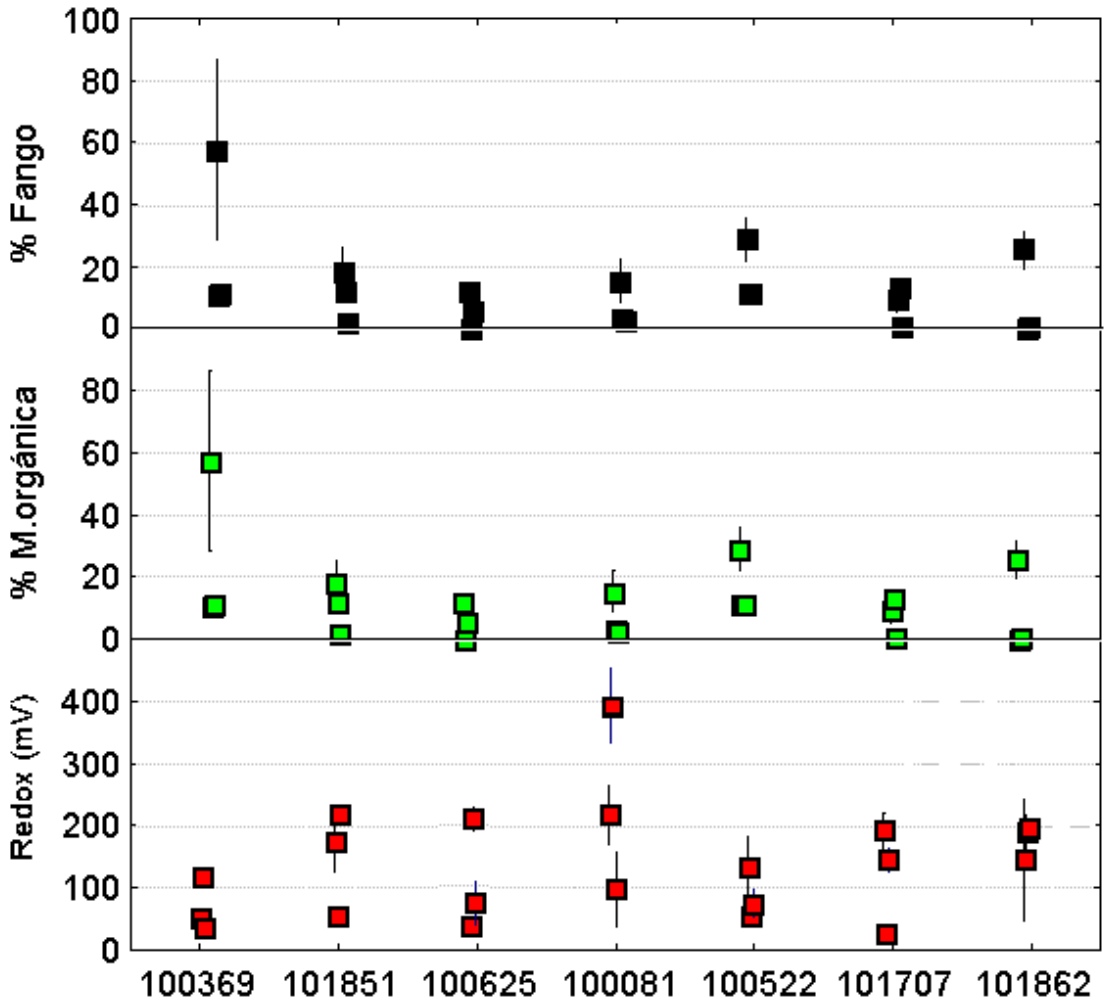


Fig. 65 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las en el lago Rupanco (Box-wiskers plot).

3.2.6.4 Correntometría

VELOCIDAD DE CORRIENTES

En la tabla siguiente se presenta la estadística general de la intensidad de las corrientes obtenidas para la totalidad de los registros obtenidos en los puntos de medición del lago Rupanco.

Tabla 41 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a tres centros de cultivos existentes en el lago Rupanco.

Códigos de Centros Lago Rupanco			
	100625	**100522**	**100081**
Estadígrafos	Valores (cm/s)		
Media	3,11	5,2	3,2
Max	11,0	27,7	11,1
Min	2,5	2,5	2,5
Mediana	2,5	4,9	2,5
Moda	2,5	2,5	2,,5
Desv. Est.	1,83	4,05	2,06

De acuerdo a las magnitudes de la intensidad de las corrientes determinadas en tres centros, en los cuales se autorizó la medición, en el lago Rupanco, se observa un predominio de valores discretos cuyas magnitudes medias, en general, apenas superan la velocidad limite de sensibilidad que posee el equipo de medición; no obstante, en el centro de cultivo N° 100522, se registró una intensidad máxima de 27,7 cm/s; mientras que en los restantes centros registran valores similares (11 cm/s), En general, se evidencia una partición modal inferior a la medial, lo que pone de manifiesto, que la mayor cantidad de casos se concentra en valores de intensidad de corrientes inferiores a la media; y que corresponden al valor mínimo que registra el equipo.

DIRECCIÓN DE CORRIENTES

El análisis de los componentes direccionales asociados al Centro de cultivos 100625 localizado en el sector “El Islote”, permite evidenciar que en este sector asociado a la fisiografía de la Península del Islote, la dirección predominante de las corrientes se concentran en los cuadrantes de las componentes WSW y en menor grado desde la componente SSE, donde la frecuencia agrupada alcanza casi al 90% de los casos. (Fig. 65, Tabla 42).

Tabla 42 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Rupanco.

Códigos de Centros Lago Rupanco			
	100625	**100522**	**100081**
Estadígrafo	**Valores (grados)**		
Media	200,1	182,8	184,2
Max	358	356	356
Min	51	9	3,1
Mediana	221	334	79
Moda	213	221	60
Desv.est.	74,16	92,54,	111,1

Por otra parte, en el sector de emplazamiento del centro N° 100522 (ensenada Pto. Rico), se evidencia un comportamiento totalmente diferente al descrito previamente. En este caso existe un predominio de corrientes que provienen desde el cuadrante NW y en menor grado del SW y EE (Tabla 42); en general, las componentes más frecuentes de la dirección de las corrientes coinciden con la orientación de la boca de la bahía, en los restantes cuadrantes prácticamente no se evidencian casos (Fig. 67).

En el centro de cultivo N° 100081 (Pta. Adolfo) las componentes direccionales de las corrientes se concentran mayoritariamente en el cuadrante NE y con una fracción baja de casos en el cuadrante NW (Tabla 42), al igual que los casos anteriores las corrientes que afectan con mayor frecuencia el centro de cultivo depende de la orientación de la boca de cada bahía y la dinámica local que generan los vientos predominantes (Fig. 68)

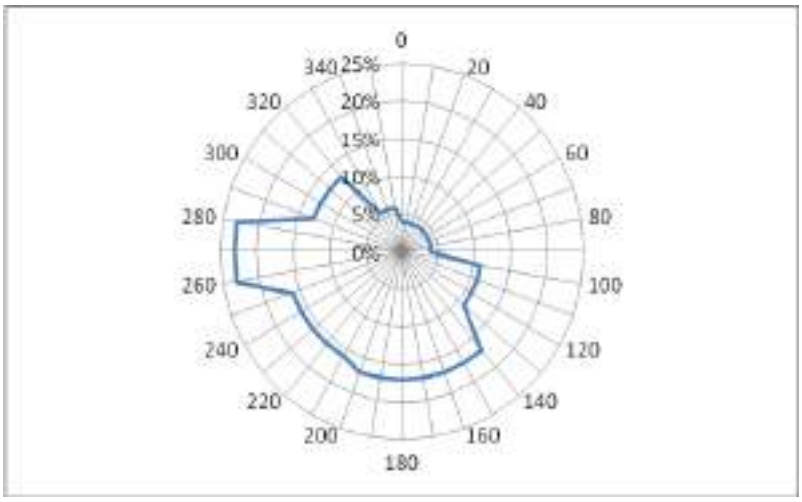


Fig. 66 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100625, ubicado en el lago Rupanco.

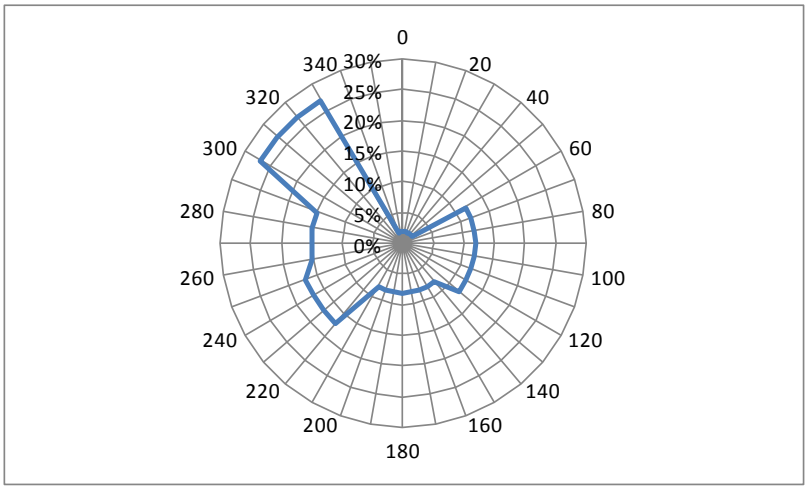


Fig. 67 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100522, ubicado en el lago Rupanco.

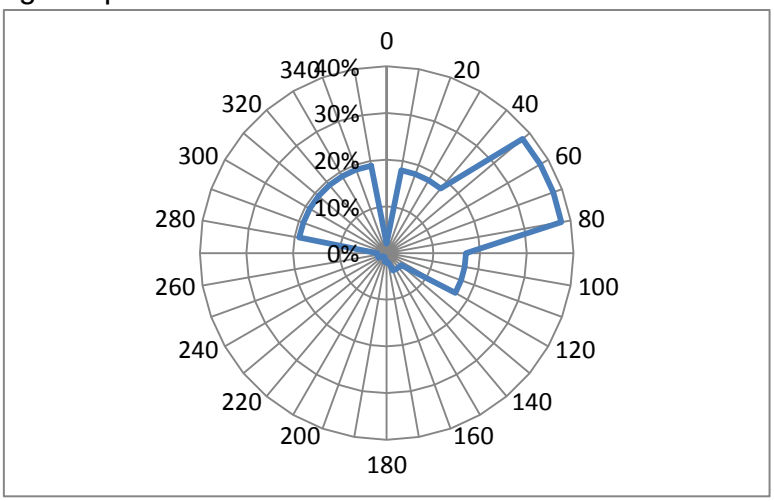


Fig. 68 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100081, ubicado en el lago Rupanco.

Mediciones Lagrangianas (Figs. 69 – 73)

La correntometría en el lago Rupanco se circunscribió a la determinación de las corrientes que afectan las bahías durante el período de invierno-primavera caracterizado por la homogeneidad térmica que muestran las aguas de los lagos Araucanos o Nordpatagónicos.

En el lago Rupanco, se definieron cinco lugares, el primero de los cuales corresponde al extremo occidental del lago en el sector del nacimiento del río Rahue al cual se le definió como:

Bahía Rahue: se determinó un transecto de dirección norte-sur cerrando la bahía en el que se establecieron tres estaciones, en cada una de las cuales se liberaron dos derivadores: uno superficial (1 m) y otro profundo (15 m). El 6 de diciembre la direccion del viento, las horas previas y durante la operación, fue del NW con intensidades máximas durante la operación de 20 km/hr según la estación meteorológica instalada en Puerto Chalupa.

Del comportamiento de los derivadores de superficie solo la estación central siguió la dirección del viento hacia el ESE. El derivador superficial de la estación sur siguió un curso casi rectilíneo hacia el SSW, un recorrido similar realizó el derivador de la estación norte. De los derivadores de profundidad, el más interesante resulta ser el que permaneció durante un período de 27 horas en el lago y que siguió un trayecto que en su primera parte se desplazó al SSW, luego realizó un giro cambiando su dirección hacia el W llegando a las cercanías del nacimiento del río Rahue. Su velocidad media de desplazamiento alcanzó los 12,1 cm/s. Las condiciones meteorológicas durante la ubicación y recuperación de los derivadores fueron limitantes serias, cielos nublados, vientos de mediana intensidad, oleaje reventando lo que dificultó la visibilidad en la recuperación del equipo. Es necesario mencionar también la mala cobertura satelital para el sistema de telefonía que constituye la posibilidad de hacer un seguimiento instantáneo de los derivadores.

Resulta difícil interpretar el movimiento de las aguas del lago en esta bahía

porque no se aprecia un patrón o comportamiento común de los derivadores, tal vez lo más destacable corresponde a la trayectoria del derivadores de 15 metros que permaneció las 27 horas en el lago, porque avanza en dirección contraria al viento reinante y que estaría indicando la presencia de corrientes de retorno de las aguas del lago que en los estratos superficiales se nueve siguiendo la dirección del viento.

Bahía Piedras Negras: esta extensa bahía de la costa Sur del lago Rupanco está orientada en sentido E-W al igual que el lago. Se trata de una bahía larga y de poca anchura cuya boca de comunicación con el lago se encuentra orientada hacia el norte lo que le otorga un cierto grado de aislamiento con el resto del lago. Presenta por lo tanto un grado de abrigo a los vientos que soplan en la región. Para conocer antecedentes de las corrientes que afectan la bahía se definieron dos transectos con tres estaciones en cada uno en los que se liberaron dos derivadores por estación, uno superficial (1 m) y otro de profundidad (15 m).El trabajo se realizò el dia 7 de diciembre con vientos del NW de 14 km/hr.

El primer transecto se ubicó en la boca de la bahía en dirección E-W. Los tres derivadores superficiales del transecto de la boca de la bahía mostraron comportamientos distintos; el del extremo oeste tomo una dirección hacia el W saliendo de la bahía, en cambio el derivador del este sigue una trayectoria hacia el SE ingresando a la bahía, mientras el derivador central permanece en el centro con un movimiento restringido y circular.

Los derivadores de profundidad de la boca de la bahía, se desplazaron en la misma dirección que los superficiales, solo mostraron velocidades menores.

El transecto ubicado en el interior de la bahía se orientó en sentido Norte Sur perpendicular al eje mayor de la bahía. Los tres derivadores superficiales son concordantes de alguna manera con el comportamiento de los derivadores de la boca, el derivador de la estación central y el del sur tomaron una dirección hacia el NW, es decir hacia la boca de la bahía siguiendo su costa sur, y el

derivador superficial de la estación norte se movilizó hacia el SW.

Los derivadores de profundidad de este transecto, se desplazaron en dirección Sur.

Al observar la figura en su conjunto parece indicar que el movimiento al interior de la bahía generado por los vientos del oeste se caracteriza por movimientos de las aguas desde la ribera norte de la bahía hacia el sur y que en las proximidades de la costa sur modifican su dirección dirigiéndose hacia el Oeste y NW haciendo abandono de la bahía por el extremo W de la boca. El agua que deja la bahía por esta vía, tendría su compensación con el agua que ingresa por el sector Este de la boca de la bahía. La dinámica de las aguas de la bahía se aprecia efectiva si consideramos las velocidades de los derivadores que alcanzan los 12,5 cm/s.

Bahía Puerto Rico: El dia 7 de diciembre en las horas de la tarde se realiza la operación con los derivadores.Puerto Rico es una bahía abierta en la costa sur del lago situada en medio de dos angosturas que presenta el lago en su extremo oriental. En esta bahía se ubicaron dos estaciones de derivadores en un transecto de dirección NW – SE cerrando la boca de la bahía. El viento reinante durante la operación fue del NW. Con intensidades màximas de 22 Km/hr. Los cuatro derivadores sembrados en el lugar, dos superficiales (1 m) y dos de profundidad (15 m), se movilizaron siguiendo la dirección del viento, es decir ingresando al interior de la bahía. Los derivadores superficiales y profundos mostraron velocidades similares entre los 11,8 cm/s de máxima y de 9,5 cm/s la mínima.

Sector Angostura: Dia 12 de Diciembre, viento del SW de 7 Km/hr. En declinación. El lago Rupanco en su extremo oriental presenta dos angosturas entre las cuales se desarrolla un canal estrecho en el que se encuentra la bahía de Puerto Rico. En la primera angostura, la más occidental se determinó un transecto de dirección N-S con tres estaciones y dos derivadores por estación. Lo más destacable de lo observado en este transecto es que todos

los derivadores, tanto superficiales como de profundidad, mostraron trayectorias hacia el Oeste siguiendo la dirección del eje principal del lago en este sector y en dirección contraria al viento reinante en las horas previas y que continuaba durante la operación pero con velocidades menores. Los derivadores de la estación Sur siguieron una trayectoria desviándose hacia el SW en dirección al canal formado entre la costa sur y la Isla de los Ciervos. Otro factor significativo a señalar es que las velocidades mostradas por los derivadores son las mayores registradas en el lago, aun cuando el viento en el momento de los registros era de baja intensidad. Las velocidades de los derivadores fluctuaron entre los 10,8 cm/s a 21,5 cm/s.

Bahía El Encanto: Dia 12 de diciembre por la tarde. Esta bahía se encuentra en la costa norte del lago Rupanco en su parte central frente a la boca de la bahía Piedras Negras. Se trata de una bahía de poca profundidad y relativamente protegida de los vientos predominantes. Para la determinación de las velocidades de las corrientes que la afectan se definió un transecto en la boca de la bahía de dirección EW. Se establecieron tres estaciones con dos derivadores por estación, uno superficial (1 m) y otro profundo que en este caso fue de 7,5 m como resguardo a los bajos fondos. Las horas previas al trabajo con derivadores sopló un viento norte de baja intensidad y durante el muestreo el viento soplo del SSW con intensidades moderadas con máximas de 12 km/h.

Todos los derivadores se desplazaron hacia el interior de la bahía con velocidades bajas. Para los derivadores superficiales la máxima fue de 9,8 cm/s y los derivadores de profundidad alcanzaron máximas de 2,9 cm/s.

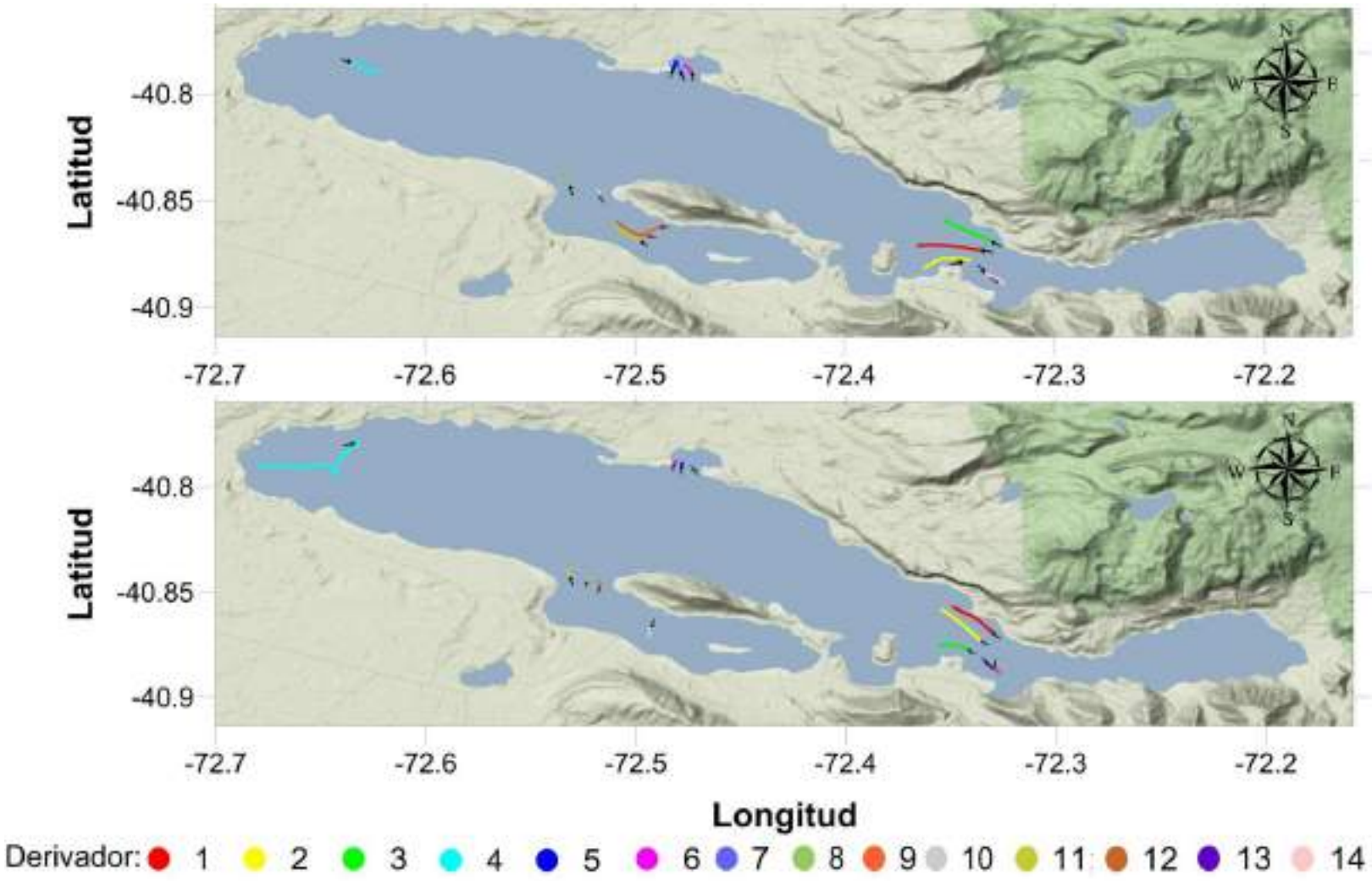


Fig. 69 Derivadores de superficie (arriba) y de profundidad (abajo) en el lago Rupanco.

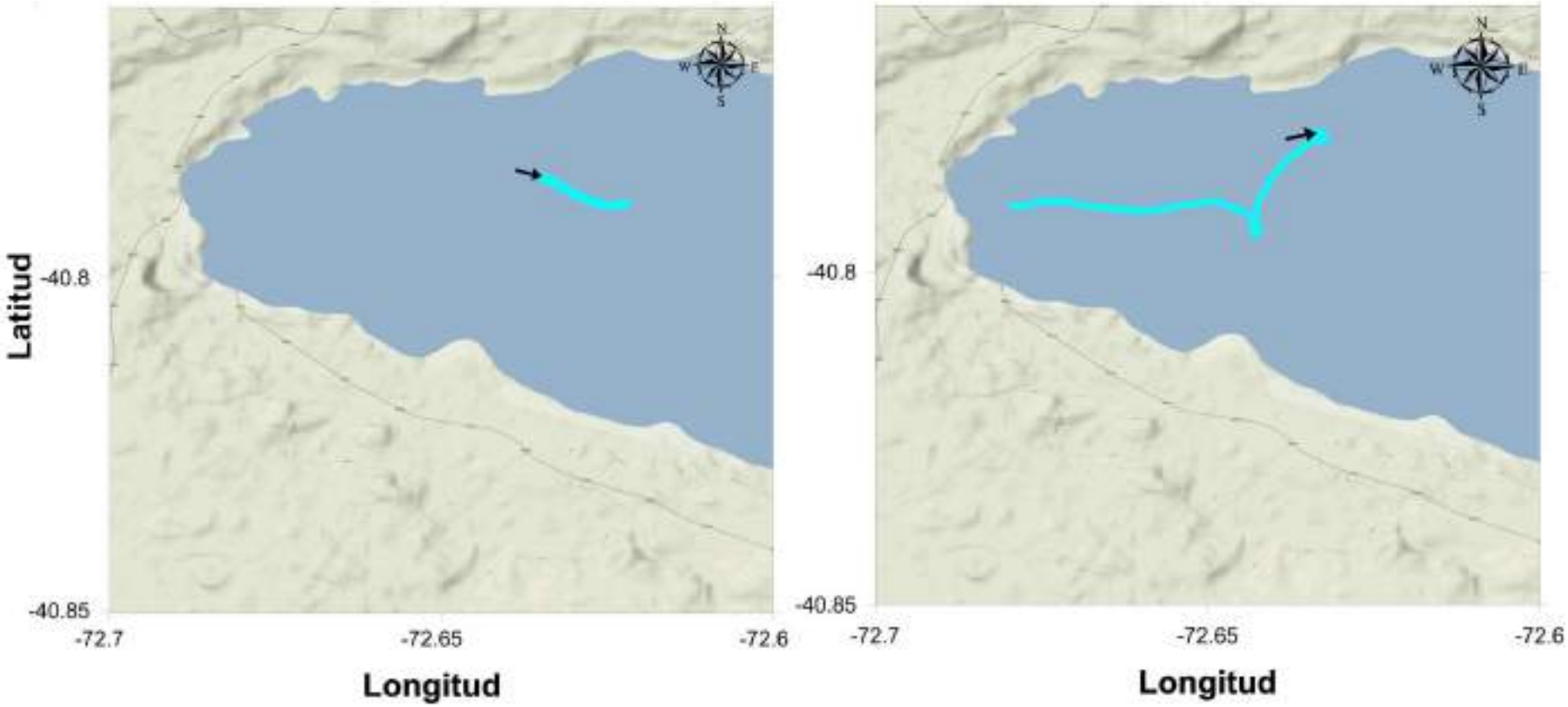


Fig. 70 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Desagüe del lago Rupanco.

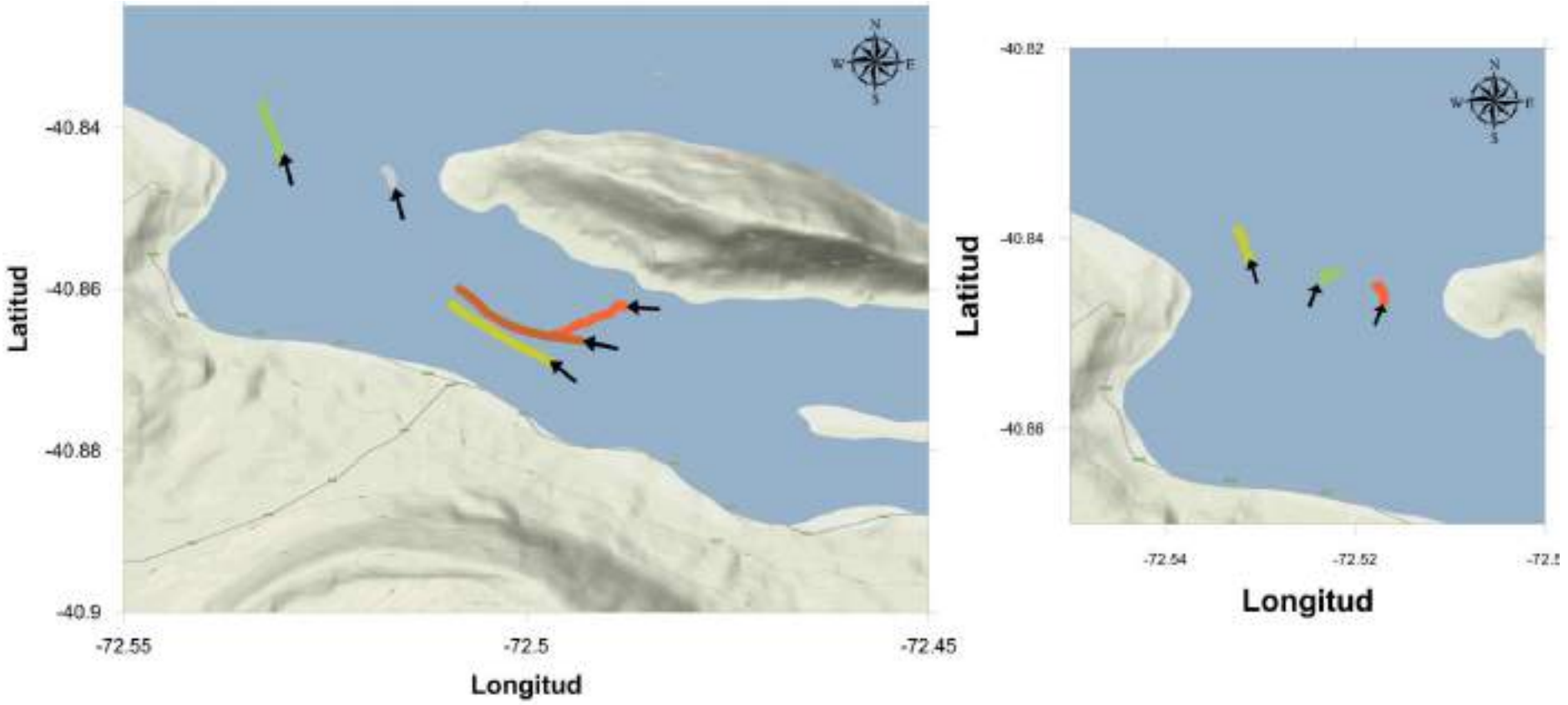


Fig. 71 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Bahía Piedras Negras del lago Rupanco.

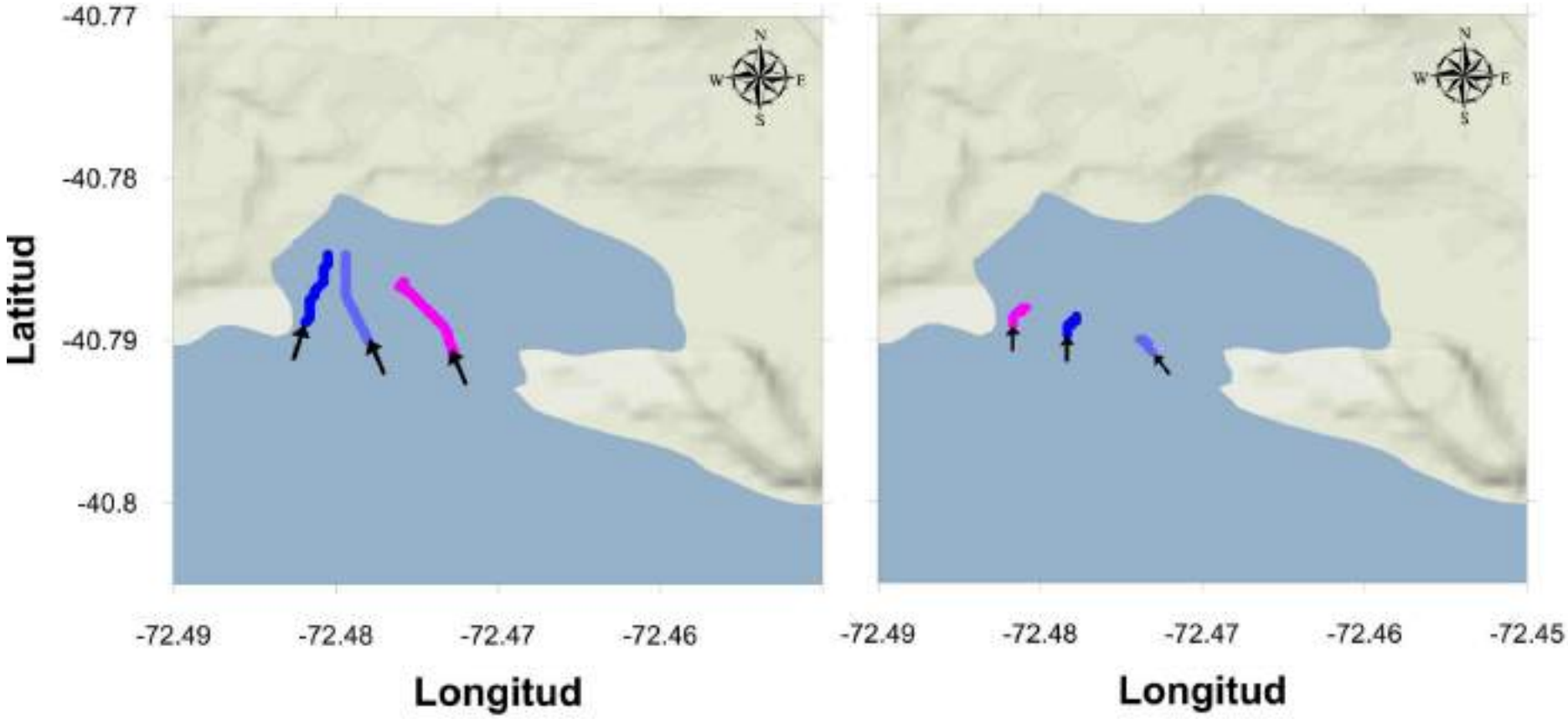


Fig. 72 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Bahía El Encanto del lago Rupanco.

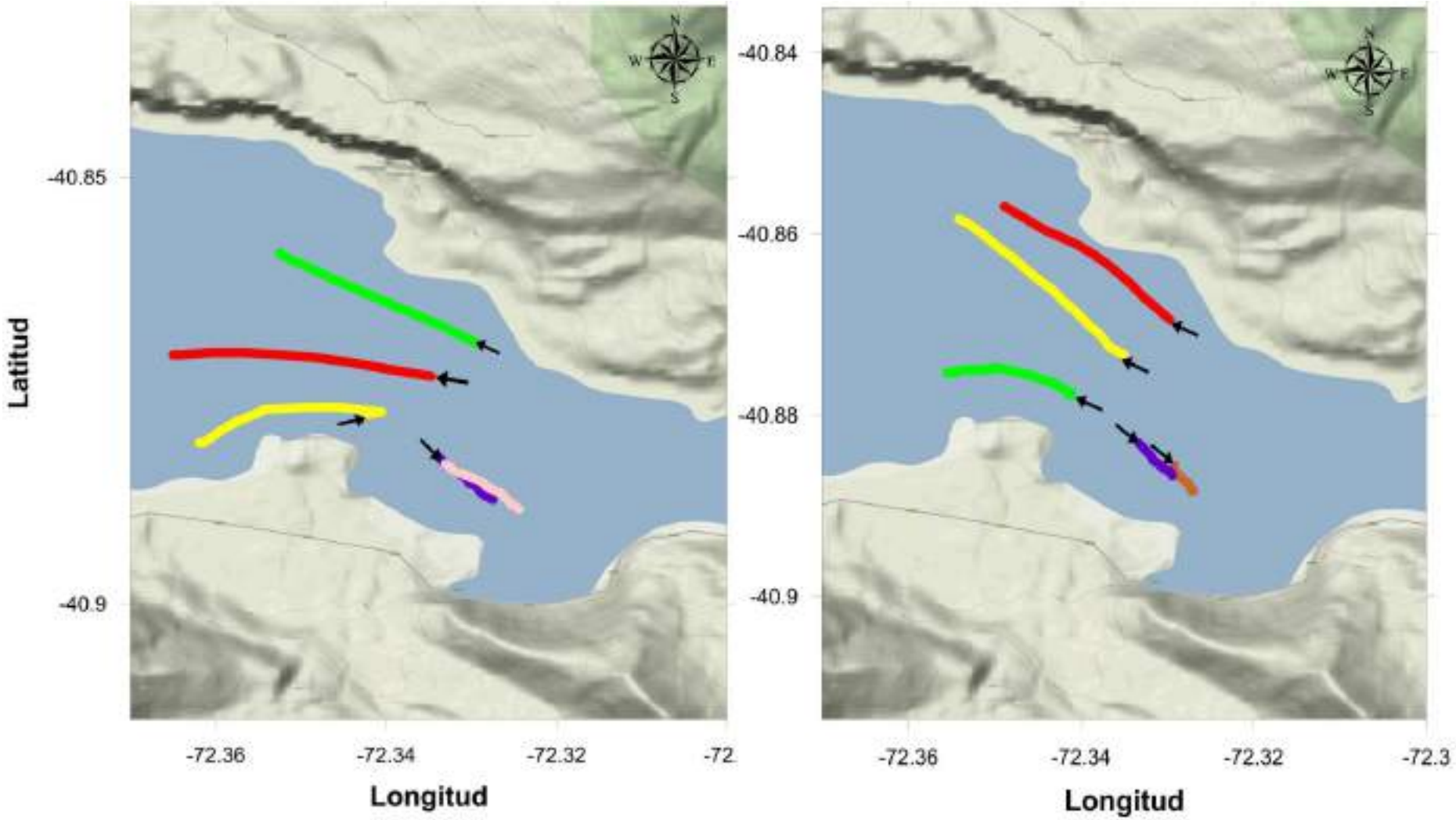


Fig. 73 Derivadores de superficie (izquierda) y de profundidad (derecha) en el sector Pto. Rico del lago Rupanco.

Concluyendo:

El lago Llanquihue y el Rupanco los denominamos como lagos mayores y la estrategia de trabajo estuvo circunscrita a la obtención de información de la correntometría generada por el viento en el sector de las bahías de estos lagos.

BAHIA RAHUE o del desagüe: -Corresponde al extremo occidental del lago donde se encuentra el nacimiento del río Rahue, efluente del lago, los derivadores ubicados en este sector mostraron comportamientos irregulares, lo más destacable es que los derivadores de superficie avanzaron hacia el S y SE aun cuando se trataba del viento de dirección SW, uno de los derivadores de profundidad en una trayectoria irregular avanzó en dirección contraria al viento hasta llegar a la proximidades del extremo occidental del lago.

- El comportamiento irregular de los derivadores indicarían la interacción de agentes modificadores de la dirección de las corrientes en el lago relacionados con la topografía y con movimientos turbulentos que ocurren en la masa de agua.
- Cuando la dirección del viento no es coincidente con la dirección del eje mayor de un lago largo y estrecho, las corrientes que se generan en el cuerpo de agua son de difícil pronóstico , porque van a tener una influencia importante los agentes modificadores como son la topografía del vaso que contiene al lago como la topografìa de las costas circundantes .

BAHIA PIEDRAS NEGRAS:- Se trata de una bahía amplia, de forma alargada paralela al lago con una estrecha comunicación con el cuerpo de agua y que muestra una circulación interior y una forma de comunicación con el lago bien definida ante los vientos del cuadrante W.

- Hay un grado de coincidencia importante en la dirección del movimiento de los derivadores de superficie y de los profundos.
- En la boca de la bahía se aprecia que por un extremo ingresa agua a su interior en tanto por el otro extremo el agua abandona la bahía mientras tanto en el centro de la boca el agua acusa un giro en torno a un eje

central. Este movimiento se replica en el interior de la bahía en una mayor magnitud. El agua muestra un giro en el sentido de los punteros del reloj.

BAHIA PUERTO RICO: Se trata de una bahía abierta cuya boca está orientada hacia en NW.

Los derivadores superficiales y profundos se movilizaron siguiendo la dirección del viento, coincidente con el eje mayor de la bahía. Este comportamiento observado en los dos lagos mayores en que los derivadores superficiales y profundos de mueven en al misma dirección estaría asociado a intensidades mayores del viento, lo que hace que el esfuerzo del viento sobre la superficie se trasmita a un estrato se agua de mayor espesor.

SECTOR ANGOSTURA WESTE El lago Rupanco en su sector oriental presenta dos angosturas, la oriental más estrecha y la occidental algo más ancha. En este sector y en forma perpendicular al eje de la angostura se dejó un total de 6 derivadores. Todos ellos se movilizaron en dirección al W, con velocidades similares, aun cuando los vientos de las horas anteriores al muestreo eran del W, este comportamiento se explicaría porque al debilitarse el viento del W el estrato superficial del agua tendería a volver a una posición de equilibrio que había sido alterada por el esfuerzo del viento.

BAHIA EL ENCANTO: Se trata de una bahía pequeña de baja profundidad en el sector central y costa N del lago, en este caso el movimiento de los derivadores, tanto de superficie como de profundidad, muestra una dirección hacia el interior de la bahía coincidente con la dirección del viento.

3.2.7 Evaluación del estado trófico del lago Rupanco

Para el lago Rupanco existen datos históricos disponibles desde 1980 hasta 2008, mas los datos puntuales de este estudio . Los datos de 1991/92 ya han sido analizados en el capítulo 3.2.2, donde se mostró que los datos de PT son dudosos.

3.2.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos

1980/81 (UACH: Campos et al. 1992):

Es el primer estudio del lago Rupanco. Las muestras se tomaron en una estación pelágica en la parte oriental del lago sobre los 150 m profundidad en cinco profundidades (0-5-15-60-100 m). La variación de las concentraciones de PT en la columna de agua es muy alta (Fig. 74). Un tercio de los valores fue muy bajo (< 2 µg P/L). Otros valores fueron altos (> 8 µg P/L). Hay incoherencias en varios perfiles verticales (junio, julio, agosto 1982) y especialmente entre fechas en general. En un lago araucano como el lago Rupanco no se debería esperar variaciones de PT durante el año en la zona pelágica, contrario a lo reportado en este estudio. Se deberían observar variaciones muy bajas (< 10-20%) tanto en el perfil vertical y especialmente durante un año.

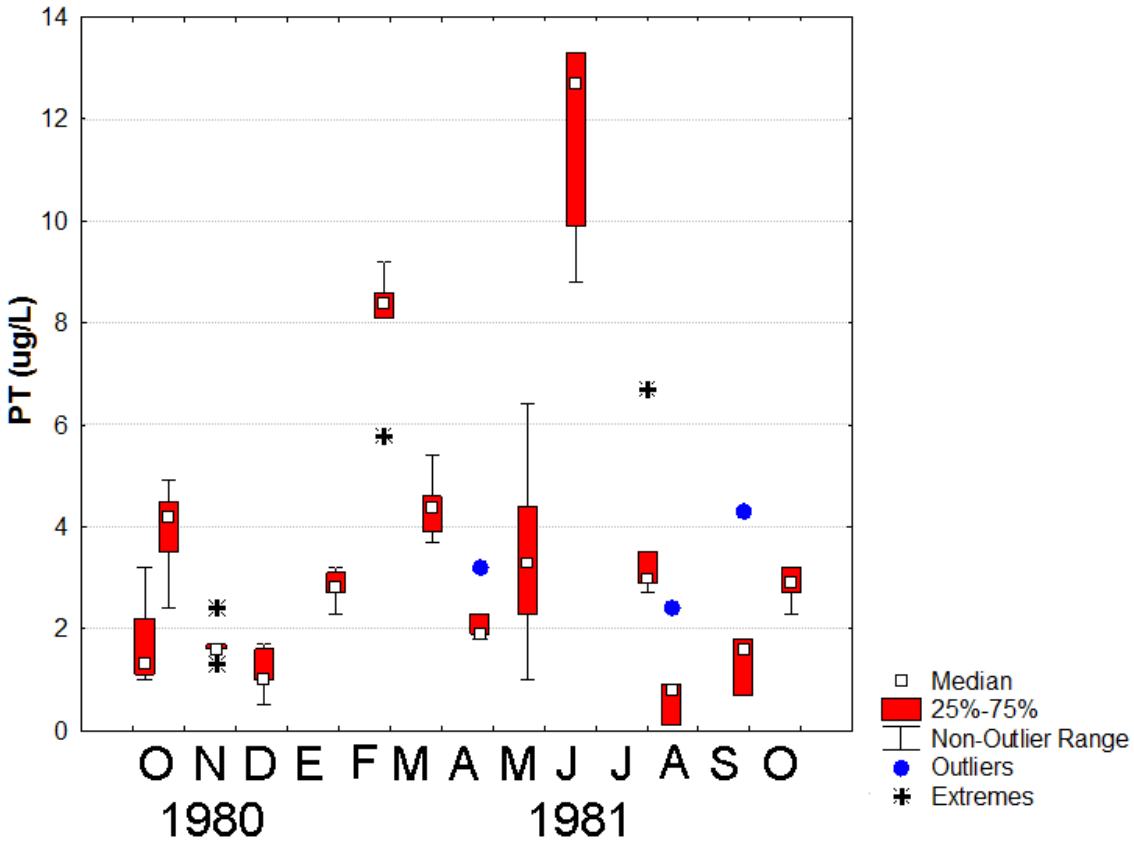


Fig. 74 PT en el lago Rupanco durante 1981/ 82 (Campos et al. 1992). Promedio ± desviación estandar

Se concluye, que los datos de PT de este estudio son dudosos.

Los datos de la profundidad de Secchi se consideran confiables, mientras los datos de clorofila a no son confiables, esto debido a que se midió con el método tricolórico (medición de Clorofila a, b y c simultaneamente) que subestima las concentraciones de clorofila a como reporta Woelfl para el lago Riñihue (Woelfl et a. 2003).

1984/85 (UACH: IFOP-UACH 1986): Las muestras se tomaron en una estación pelágica central en seis profundidades (0-5-15-30-50-100 m). En relación al PT, se observa – similar a los datos de 1981/82 – variaciones altas, tanto en el perfil vertical (julio, agosto 1984, marzo 1985) como temporal con valores muy bajos (enero, marzo, mayo, junio 1985) y muy altos (marzo, april 1985). Este comportamiento es incoherente y atípico para un lago araucano, donde no debería haber estos cambios bruscos y grandes.

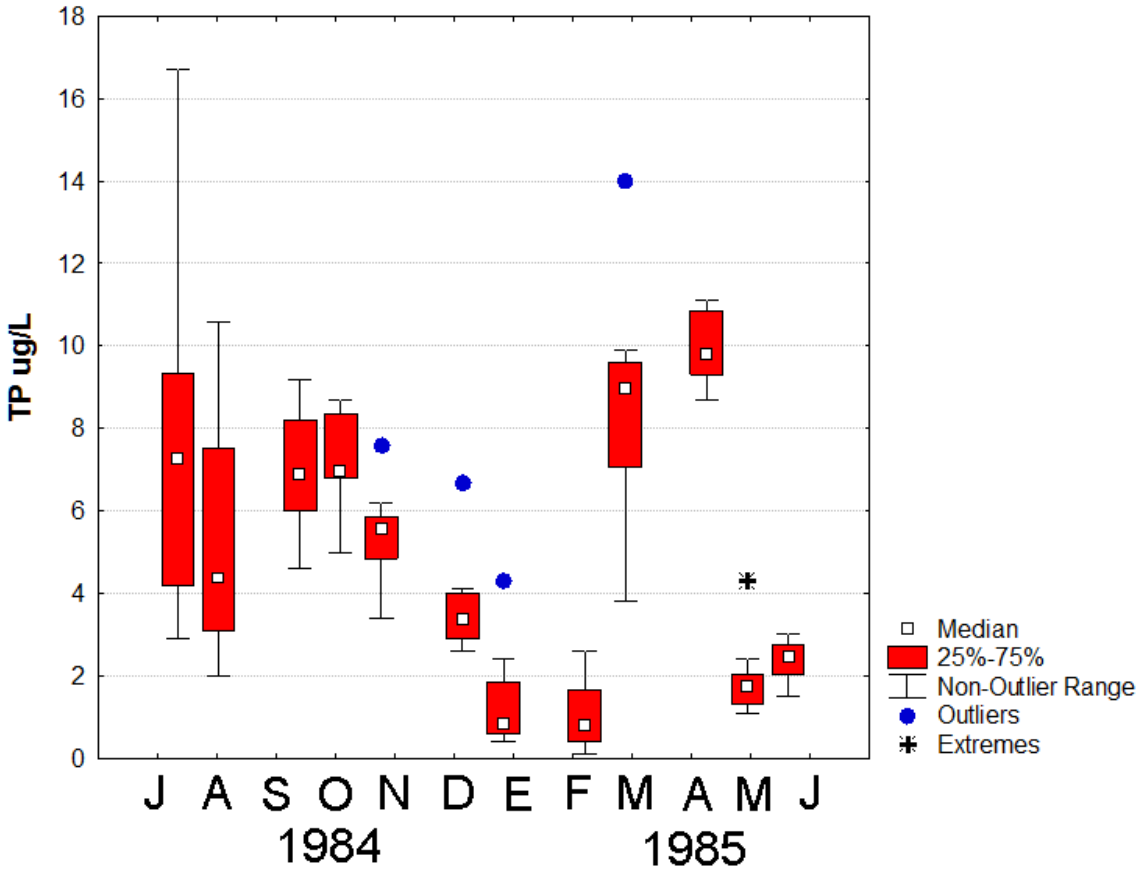


Fig. 75 PT en el lago Rupanco durante 1984/85 . Promedio ± desviación estandar

Se concluye, que los datos de PT de este estudio son muy dudosos.
Los datos de clorofila a son confiables, porque se aplicó un método nuevo para la determinación de clorofila a. Los valores de clorofila a ahora son mas altos que en 1981/82 (0,5 – 1,5 µg/L).

1991/92 (UACH): La cálidad de los datos de este estudio ya ha sido discutida ampliamente en el capítulo 3.2.2. Los datos de PT son muy dudosos, los de clorofila a y Secchi se consideran confiables.

1992-1999 (UACH: Soto 2002): No esta claro en que lugar exactamente se tomaron las muestras, pero una estación estuvo cerca de un centro de salmonicultura y la otra estación de referencia estuvo a 3000 m de distancia de la primera estación. No se encontraron diferencias significativas entre las dos estaciones. Llaman la atención la alta variabilidad de PT con fluctaciones entre 1 y 14 µg P/L (Fig. 76). Estas variaciones no son esperables en un lago

araucano con un tiempo de renovación de varios años. La concentración de PT debería variar poco aúnque si se podría esperar ciertas fluctuaciones cerca de los centros de cultivo. Sin embargo, esto no explicaría valores muy bajos. Se considera los valores de P parcialmente dudosos (especialmente entre septiembre 1994 y marzo 1997).

Los valores de clorofila a y Secchi se consideran confiables. Sin embargo, llama la atención las bajas visibilidades.

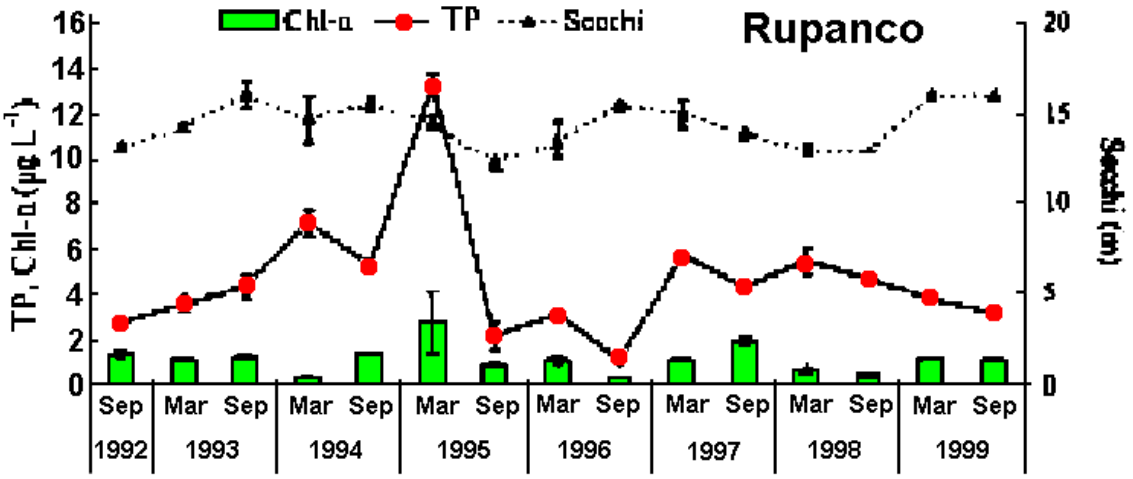


Fig. 76 Clorofila a, fósforo total (TP) y Secchi en el lago Rupanco.
Fuente: Soto 2002, figura original levemente modificada.

2004 (UACH: Woelfl, 2007): Existen datos de solamente cuatro muestreos en el epilimnion (0-25 m) en una estación pelágica durante 2004/05. Solamente se reportan valores de Secchi y clorofila a, que se consideran confiables.

2008 (UACH: León 2011): Realizó entre agosto 2008 y julio 2009 muestreos en los primeros 25 m de la columna de agua en cuatro estaciones cerca de la orilla en el lago Rupanco. No entrega los datos crudos, sino solamente los promedios. Se consideran los datos sobre PT y clorofila a (medido con fluorimetría) analíticamente confiables. No hay valores de Secchi.

3.2.7.2 Evaluación del estado trófico

La tabla 43 resume los valores promedio (± desviación estandar) de los parámetros tróficos considerados aqui: transparencia (Secchi), fósforo total y clorofila a.

De acuerdo a estos datos y sin considerar mayoritariamente PT el lago Rupanco ha mantenido su estado ultra- hasta oligotrófico durante los últimos 33 años. Sin embargo, parece que los parámetros clorofila a y transparencia indicarían en 2012 mas bien un estado oligotrófico, a diferencia con los años anteriores donde valores tipicamente ultra-oligitróficos fueron reportados, concordando con los valores de Secchi que en 2012 fueron relativamente bajos.

Tabla 43 Evaluación del estado trófico histórico del lago Rupanco (promedio ± desviación estándar).

1: Campos et al.. (1992); 2. IFOP-Universidad Austral de Chile 1986 ; 3: Informe FIP-IT/93-27; 4: Soto (2002); 5: Woelfl (2007); 6: León 2011; 7: este estudio

N: número de fechas; s.d.: sin datos; * datos dudosos

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1980/81 (N=13)	15,2 ± 2,4	0,004* ± 0,003	0,55 ± 0,33	1
1985/86 (N=12)	s.d.	0,005* ± 0,004	0,7 ± 0,4	2
1991/92 (N=12)	16,5 ± 2,7	0,011* ± 0,001	0,8 ± 0,5	3
1992-1999 (N=6)	14,4 ± 1,1	0,005* ± 0,003	1,9 ± 1,1	4
2004 (N=4)	20,1 ± 1,7	s.d.	0,8 ± 0,4	5
2008 (N=6)	s.d.	0,005 ± 0,004	0,7 ± 0,3	6
2012 (N=1)				7
Centro <270m	13,0	0,006 ± 0,001	1,4 ± 0,4	
Bahia <100m	11,7	0,006 ± 0,001	1,4 ± 0,4	
100081	11,4	0,007 ± 0,001	0,8 ± 0,3	
101707	13,3	0,006 ± 0,001	1,0 ± 0,7	
100389	11	0,007 ± 0,000	1,0 ± 0,1	
100522	12,9	0,007 ± 0,000	1,3 ± 0,8	
100862	11,9	0,008 ± 0,003	1,0 ± 0,4	
101851	11,7	0,005 ± 0,000	1,4 ± 0,3	
100625	14,5	0,006 ± 0,001	1,6 ± 0,1	

3.2.9 Discusión

La información recopilada se encuentra discutida en extenso en los capítulos anteriores, especialmente respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos de cada lago. Debido a eso se resume y discute en este apartado solamente la información recopilada y los resultados del monitoreo mas relevantes con el fin de entregar una evaluación del estado ambiental del lago Rupanco y emitir una recomendación respecto a la interrogante de si el lago Rupanco es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpos de agua.

3.2.9.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS LINEA BASE Y OTROS - Los estudios mas acabados sobre el lago Rupanco fueron realizados en los años ochenta y noventa. Datos recientes existen muy pocos (León 2011). La evaluación del único estudio sobre el balance de nutrientes en 1994/95 reveló varios problemas importantes, que limitan finalmente las conclusiones principales del estudio:

- Aunque se consideran válidos los ingresos calculados, se estima que el valor real medido en la columna del lago (10,6 µgP/L) es sobre estimado debido a posibles errores en la determinación de P en la columna de agua.
- En consecuencia el informe reporta altas cargas internas de P que no son coherentes con el comportamiento de un lago araucano con buena oxigenación hasta el fondo.
- El balance hídrico fue incorrecto, pero este error no influye considerablemente (10%) en el balance de P.

B) INFAS – La revisión de las INFAS de solamente 2 de 7 centros acuícolas existentes en el lago Rupanco reveló valores (fango, materia orgánica, redox) incoherentes en algunos sitios de control respecto a los sitios bajo de las

balsas jaulas. Se puede suponer que no se trata de sitios control adecuados, mejor dicho que los sedimentos ya están afectados en un área extendida mas allá de los sitios de las balsas jaulas. Se debería considerar esta posibilidad y rediseñar el monitoreo de los sedimentos (mas recomendaciones se dan en el capítulo 4).

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La producción bruta en los 7 centros de cultivo aumentó continuamente en los últimos 18 años. En los últimos dos años alcanzó 5500-6400 ton de peces/año, que aportaron según nuestras estimaciones entre 42 y 53 ton P/año al lago Rupanco. Esto corresponde a un aumento de 4-5x veces el aporte de P desde el comienzo de las actividades acuícolas. Se considera este aporte una estimación mas bien conservadora. Esta dentro del rango reportado por otros autores para el lago Rupanco (León 2011).

D) MONITOREO EN ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

En el marco de este proyecto se realizó un muestreo de la columna de agua (9 estaciones) y del sedimento (7 estaciones), dos estaciones pelágicas y siete estaciones en la cercanía de los centros de cultivo. Además se realizaron mediciones de correntometría. Finalmente se evaluó el estado trófico del lago Rupanco en base a los parámetros tróficos para lo cual se analizó previamente la calidad de los datos históricos. Este análisis concluye que la mayoría de los datos históricos de PT hasta 2004 se consideran dudosos, mientras los datos sobre la visibilidad y la clorofila a se consideran confiables. En base a estos datos se puede evaluar el estado ambiental del lago Rupanco.

CORRIENTES – De acuerdo a las magnitudes de la intensidad de las corrientes determinadas en tres centros en el lago Rupanco, en los cuales se autorizó la medición, se observó un predominio de valores discretos cuyas magnitudes medias, en general, apenas superan la velocidad limite de sensibilidad que posee el equipo de medición (2,5 y 11 cm/s). Sin embargo, estas corrientes son suficientes para producir una distribución relativamente

homogénea en los estratos superficiales. Datos comparables sobre las corrientes en este lago no existen.

SEDIMENTO – En general, no se presentaron porcentajes muy elevados de materia orgánica, aunque se presentaron algunos valores mayores que aquellos mencionados en las INFAS, siendo los máximos registrados en las estaciones cercanas a los centros Península Islote, Piedras Negras y Punta Adolfo, pero ninguna muestra acompañada de olores fuertes o desagradables. Sin embargo, en casi todas las estaciones el sedimento está, por lo menos en una muestra por estación, cerca del límite de aceptabilidad de Eh REDOX considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV.

Cabe concluir que el muestreo del sedimento no aportó mayores conocimientos que las INFAS revisadas. En general, se considera que la metodología aplicada probablemente no es adecuada para estudiar bien el estado del sedimento, porque se desconoce la dispersión de los contaminantes emitidos por las balsas jaulas. Mas abajo (capítulo 4) se discute este aspecto mas detalladamente.
Datos de la literatura (León 2011) aportan alguna información adicional sobre la cálidad de los sedimentos bajo de las balsas jaulas de un centro de cultivo durante 2008, donde la concentración de PT fue 8x veces mayor en comparación con un sitio control (1288 mg P/kg versus 164 mg P/kg).

CALIDAD DE AGUA – Este estudio aportó por primera vez datos químicos/físicos desde la superficie hasta el fondo del lago Rupanco. Se mostró que en general, los perfiles verticales de nutrientes fueron bastante homogéneos hasta el fondo. Solamente para el fósforo total, se encontraron para dos centros de cultivos valores levemente mas altos (0,007-0,008 mgP/L) en comparación con las estaciones referenciales (0,006 mgP/L) probablemente causada por la actividad acuícola. Comparaciones con datos históricos (Campos et al. 1992, FIP IT 93-27, Soto 2002) son dificiles debido a que buena parte de los valores (PT) son poco confiables (capítulo 3.2.2).

Sin embargo, parece que los parámetros clorofila a y transparencia indicarían en 2012 mas bien un estado oligotrófico, a diferencia con los años anteriores donde valores típicamente ultra-oligitróficos han sido reportados, concordando con los valores de Secchi que en 2012 fueron relativamente bajos. Sin embargo se debe considerar que en este estudio se realizó solamente un muestreo, lo cual es insuficiente para realizar afirmaciones definitivas en este aspecto, esto debido a que tanto la transparencia como la clorofila a pueden fluctuar considerablemente durante el ciclo anual (Campos et al. 1992, FIP IT 93-27, Soto 2002).

PARAMETROS BIOLÓGICOS - En relación a los parámetros biológicos, en términos generales las características estructurales del fitoplancton y zooplancton en los distintas zonas del lago Rupanco fueron bastante homogéneas y típicos para lagos araucanos en los años 2000. Sin embargo, en relación con estudios históricos (Campos et al, 1992: años 1981/82; FIP-IT 93-27; año 1995) la estructura zooplanctónica ha cambiado notablemente:

- *Diaptomus* reemplazó la dominante especie *Boeckella* (ambos copépodos calanoideos)
- *Daphnia pulex* (cladócera) que en los años 1980 – 1995 estaba completamente ausente, aparece como especie nueva e importante.

No obstante, este cambio estructural del zooplancton se observa también en otros lagos araucanos que no poseen centros acuícolas (p.e. lago Pirehueico), por lo cual no se puede relacionar directamente con esta actividad. Aún no esta claro que factores causaron estos cambios, las posibilidades son múltiples.

3.2.9.1 Conclusiones y recomendaciones

Respecto a la pregunta, si en el futuro se va a mantener el estado todavía oligotrófico o cuan grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Rupanco, se debería disponer de datos más recientes sobre los ingresos de nutrientes al lago para poder realizar

afirmaciones más acertadas y robustas. Sin embargo, las informaciones disponibles permiten realizar las siguientes consideraciones:

- De acuerdo a la ecuación 6 la carga crítica para el lago Rupanco (para no sobrepasar 0,010 mg P/l en la columna de agua) es ~ 175 tonP/año.
- De acuerdo a nuestros resultados el lago tiene una concentración promedio de ~ 0,006 mg PT/l en la columna de agua, tanto en los sitios de control como en las bahías con actividad de salmonicultura.
- En el caso que el lago se encuentre en equilibrio dinámico (véase 2.2.1.1), el lago debería estar recibiendo una carga de ~ 102 ton P/año. En el caso que el lago no se encuentre todavía en equilibrio, el lago estaría experimentando una acumulación de P y consecuentemente para este caso la carga de P sería mayor a 102 ton P/año.
- Considerando que el lago Rupanco necesita entre 6,5 – 7,6 años para alcanzar 95% de su equilibrio (para P), y considerando el continuo aumento de la carga de P generada exclusivamente por la actividad acuícola (2006: 23-27 ton/año; 2012: 42-49 ton/año), queda evidente, que el lago todavía se encuentra acumulando P en su columna de agua.
- A esto se debe sumar el hecho que según la literatura disponible (León 2011), el uso de suelo también se encuentra en una etapa de cambio durante las últimas décadas, especialmente en relación a la cobertura de praderas y terrenos agrícolas (observando un aumento desde 18 a 25%), mientras la superficie de bosque nativo disminuyó solamente levemente (53-50%).
- Respecto al estudio de la UACH en 1991/92, se puede suponer que la carga de los afluentes (77 ton P/año) se podría haber incrementado. Esto sumado a la incrementada carga por actividad acuícola, permite suponer que la carga total actual de P es mayor a 102 tonP/año, probablemente más bien en el orden de 120-140 ton P/año.

Esto resulta en una carga actual de P por actividad acuícola para el año 2012 es significativa (entre 25 y 50%).

Se concluye lo siguiente:

En relación a la actividad acuícola en el lago Rupanco, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar o acercarse demasiado a la capacidad de carga del lago Rupanco. Para un mejor evaluación del riesgo de un aumento de trofía, es necesario realizar un balance actualizado de los nutrientes de la cuenca del lago Rupanco. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación mas robusta.

3.3 LAGO LLANQUIHUE

3.3.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Llanquihue tiene una superficie de 870 km^2 y una cuenca hidrográfica solamente 1,8 veces mayor (Tabla 44). Su profundidad máxima y media es 317 m y 182 m. Su tiempo de renovación es ~ 70 años (Campos et al., 1992).

Tabla 44 Características básicas del lago Llanquihue.

Superficie (km^2)	870
Cuenca (km^2)	1605
Relación cuenca/lago	1,8
Volumen (km^3)	158,6
Profundidad máxima (m)	317
Profundidad media (m)	182
Tiempo de renovación (años)	70

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 45 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Llanquihue. Existen principalmente el estudio de línea base de Campos (1988) en el año 1981/82 y después diversos estudios de la misma Universidad Austral de Chile (Dr. D. Soto), que en 1993 realizó un estudio sobre el potencial impacto ambiental de las actividades productivas sobre el lago Llanquihue. A partir de 1986 este lago fue también monitoreado por la DGA. En 2007 hubó otro estudio del CENMA donde se recopiló la información disponible y se realizó también un muestreo con el fin de apoyar la norma secundaria para este lago. Este estudio incluye también un balance de las cargas de P al lago, pero no un balance completo de P del lago Llanquihue.

Tabla 45 Resumen de los datos disponibles para el lago Llanquihue.

Parámetro	Disponible			Comentario	Fuente
	si	no	parc-ial		
Información indispensable para balance de nutrientes					
Morfometría/ batimetría	1982				1; 2
Calidad química agua lago	1982 1986 1986 1990-92 2006 2010			0-15-40-60-100m, una estación (Ensenada), mensual 0-25, cuatro muestreos, cuatro estaciones en adelante: Base DGA 12 estaciones, 1990: mensual (3 esta.) + bimensual (9 esta.); 1991: estacional: 3 profund. un muestreo, 6 estaciones, 0-75 m 7 estaciones, un muestreo:0-30 m	1; 2 4 3 5 6 7
Calidad química agua afluentes	1982 1990-92 2006			3 ríos, mensual 8 ríos, estacional un muestreo, 8 ríos	1; 2 5 6
Calidad química agua efluente	2006			un muestreo	6
Balance hídrico	1982 1990-92 2006			estimación	1; 2 5 6
Cuantificación carga centros	1990-92 1997			Tubos recolectores bajo balsas, experimentos Mediciones aporte P, Bahía Rincones	5 10
Cuantificación carga otras fuentes	1990-92 1997				5 10
Balance nutrientes, carga actual	1990-92 2006			Primera aproximación, pocas mediciones Estimaciones en base de literatura	5 9
Información adicionalmente disponible					
Análisis uso de suelo	1998			Catastro bosque nativo	6
Biología	1982 1990-92 2010			Fito-, zooplancton, producción primaria Fito-, zooplancton Macrofauna, 7 estaciones	1; 2 5 7
Calidad sedimentos	1990-92: 1997 2009 2010			muestreos de centros de cultivos Mediciones aporte P, Bahía Rincones Peritaje Bahía Rincones 7 estaciones	5 10 8 7
Correntometría				solamente modelación, sin mediciones	6
Infas	2010-2012				9
Producción peces	1995-2012				9
Régimen térmico	1982 1986 1987 - 2012			0-140 m 0-25 m 0-30 (80 m)	1; 2 4 3

verde: información disponible; rojo: sin información disponible, amarillo: información disponible incompleta
1: Campos et al. (1988); 2: UACH (1984) Informe DGA; 3: DGA, base de datos; 4: UACH (1987) Informe DGA; 5: UACH (1993); 6: CENMA (2007) Informe CONAMA; 7: Litoral Austral (2010). Informe CONAMA; 8: Woelfl (2009) Peritaje Bahía Rincones; 9: Datos datos entregados por Subpesca; 10: Fundación Chile (1997), Informe FIP-IT/94-02

3.3.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Existe un estudio sobre cargas de P al lago Llanquihue de los años 1990 de Soto y col. (1993), que estudió la influencia de los centros acuícolas sobre la calidad de las aguas. Incluye una estimación de todas las cargas de P al lago. Otro estudio en el año 2006/7 realiza también una estimación de las cargas basandose principalmente en datos recopilados y algunas mediciones propias del CENMA (2007) para apoyar la implementación de la Norma Secundaria. Sin embargo, ninguno de estos 2 estudios realiza un balance completo de P para el lago Llanquihue. A continuación se presentan los alcances y limitaciones de estos dos estudios.

3.3.2.1 Estudio de la Universidad Austral de Chile (1993)

Este estudio realizó muestreos del agua entre agosto 1990 y agosto 1992.

DETERMINACION DE LA CARGA DE FOSFORO Y LA CARGA CRÍTICA

Metodología -

Carga de fuentes puntuales - Se muestrearon los principales afluentes y canales en 11 estaciones para medir su aporte de nutrientes al menos cuatro veces (y hasta 8 veces) a lo largo de 2 años.

La carga de los centros de cultivos se calculó en base a una producción de 1000 ton peces como promedio de los últimos 5 años (2000 ton durante los últimos 2 años) y un aporte de 16 kg P por tonelada de peces producidos (factor de conversión fue 1,1 y 1,2).

Carga de fuentes difusas - Se realizaron mediciones preliminares de los aportes de fósforo provenientes del agua de lluvia al lago (0,07 kg P/ha), la cual

es considerada la principal fuente de nutrientes al sistema (2/3 de los aportes hídricos). Se realizó una estimación de los aportes provenientes de la erosión de suelos (0,01-0,2 kg P/ha), considerando una situación medianamente perturbada usando índices obtenidos de la literatura. Para evaluar las fuentes difusas provenientes de la ganadería se utilizaron datos de la literatura (0,1-0,6 kg per cápita), para el aporte de la agricultura se consideró un cultivo tipo (remolacha, 0,55 kg P/ha).

Evaluación

No se realizó un estudio del uso del suelo según subcuencas de drenaje, lo cual es considerado por los autores como muy importante e imprescindible. En la tabla siguiente se presentan los cálculos estimativos de la carga anual de fósforo de fuentes difusas.

CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL LAGO

Metodología – Se eligieron 11 sitios de muestreo en el lago (6 correspondieron a centros de cultivo, tres a ciudades y dos controles en zonas pelágicas) de los cuales solamente 5 fueron muestreados 13 veces durante octubre 1990 y agosto 1992 mientras los demás sitios fueron muestreados 5-7 veces (Fig. 77). En cada sitio se tomaron agua a tres profundidades (fondo, medio, superficie), que se integraron en una sola muestra para medir parámetros químicos, clorofila a etc..

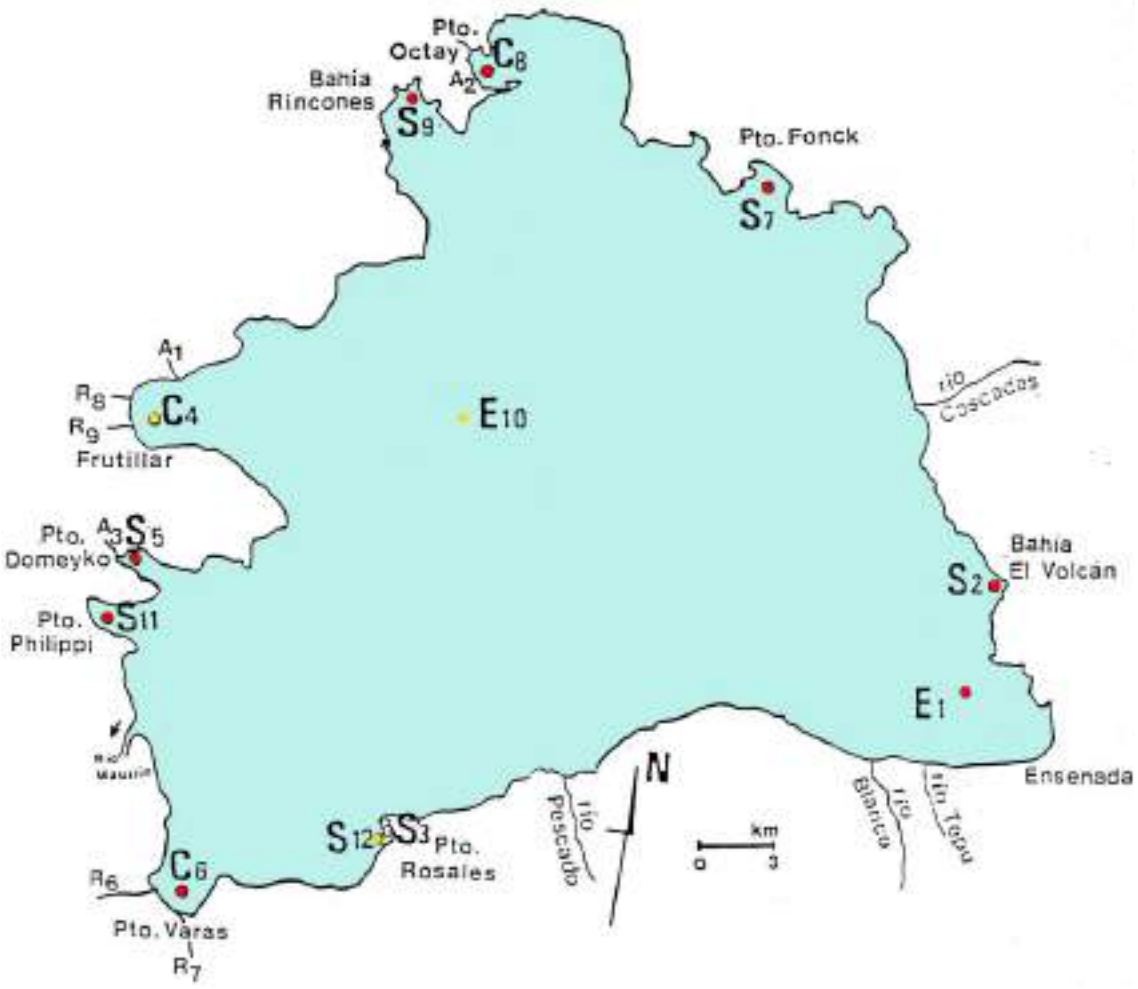


Fig. 77 Lago Llanquihue: Sitios de muestreo en el estudio 1990/92. Amarillo: sitios con muestreo mensual; rojo: sitios con muestreo reducido

Resultados – Los valores promedio estan reportados en la tabla 46. Se observan diferencias entre PT en los sitios de control (4,9 y 6,2 µg P/L) y el resto de las estaciones “sitios cuidad” (8,9 – 12,0 2 µg P/L) y “centros de cultivo” (7,7 – 69 2 µg P/L).

Relativo al comportamiento temporal de PT, se encontró en todas las estaciones altas fluctuaciones del fósforo como muestran los ejemplos presentados en la figura 78 para dos estaciones de centros de cultivo (S2, S12) y la estación control (E10). En esta última estación el PT varió entre 2 y 11 µg P/L.

Tabla 46 Variabes fisicoquímicos relevantes en distintos sitios del Lago Llanquihue (fuente: Soto et al., 1993)

Tabla 15. Algunas variables fisicoquimicas más relevantes en distintos sitios del Lago Llanquihue. Disco de secchi, (SECCI); ortofosfato, (PO4); fósforo total, (PT); amonio, (NH4); nitrito, (NO2); nitrato, (NO3); clorofila, (CHl); oxígeno (O2); demanda bioquímica de oxígeno (DBO5). Los valores son promedios de todos los muestreos y el error standard en parèntesis.

ESTACIONES	VARIABLES									
	SECCI m	PO4 µg/l	PT µg/l	NH4 µg/l	NO2 µg/l	NO3 µg/l	CHl µg/l	O2 mg/l	DBO5 mg/l	
E1	15.6 (1.4)	1.6 (0.4)	4.9 (2.2)	1.5 (0.3)	3.2 (1.6)	16.7 (0.3)	1.3 (0.2)	10.8 (0.3)	0.8 (0.2)	Sitios control
E10	19 (0.8)	1.3 (0.2)	6.2 (0.8)	4.1 (1.8)	1.4 (0.2)	9.9 (3.6)	1.0 (0.2)	10.5 (0.2)	0.7 (0.1)	
Frutillar	--	1.7 (0.4)	8.9 (2.6)	6.7 (1.5)	1.5 (0.4)	12.0 (3.5)	1.3 (0.2)	10.3 (0.4)	0.7 (0.1)	Sitios cuidades
P. Varas	--	2.6 (1.2)	12.0 (2.1)	7.0 (3.9)	2.4 (0.7)	15.6 (5.3)	1.7 (0.7)	10.9 (0.2)	0.4 (0.05	
P. Octay	--	1.1 (0.4)	8.9 (1.5)	5.1 (1.6)	1.4 (0.8)	13.5 (4.0)	0.9 (0.1)	10.4 (0.2)	0.9 (0.2)	
S2	14.5 (0.8)	2.5 (1.1)	7.7 (1.7)	5.8 (2.6)	2.4 (0.8)	14.6 (5.4)	1.5 (0.3)	10.1 (0.4)	0.7 (0.1)	
S3	4.1 (0.3)	41.3 (4.2)	69 (12)	351.0 (80.0)	14.4 (2.3)	82.0 (14.7)	8.2 (2.0)	7.8 (0.5)	2.2 (0.4)	
S12	7.2 (2.5)	3.4 (0.8)	9.1 (1.1)	11.6 (4.7)	12.9 (10.2)	9.1 (2.0)	2.0 (0.6)	10.5 (0.3)	1.2 (0.3)	Centros cultivo
S5	13.5 (0.7)	2.5 (0.6)	9.2 (1.6)	8.6 (2.4)	2.3 (0.6)	12.7 (3.2)	1.5 (0.2)	11.0 (0.2)	0.7 (0.05	
S7	14.6 (0.9)	1.5 (0.3)	11.7 (2.4)	7.8 (1.7)	1.3 (0.9)	32.4 (12.0)	1.1 (0.2)	10.4 (0.2)	0.7 (0.1)	
S9	16.0 (0.8)	2.1 (1.0)	14.2 (3.3)	7.4 (2.7)	0.7 (0.2)	10.8 (2.2)	1.1 (0.1)	10.6 (0.2)	0.4 (0.1)	
S11	12.4 (0.9)	3.9 (1.7)	14.5 (4.8)	17.4 (9.6)	1.5 (0.5)	11.0 (3.3)	1.9 (0.3)	10.4 (0.2)	0.7 (0.1)	

Fig. 78 Concentración de fósforo total en dos sitios de centros de cultivo (S2, S12) y la estación central (E10) del lago Llanquihue.
(Fuente: Soto et al. 1993, figura 2, levemente modificada)

De acuerdo a los análisis de PT (Tabla 47) la mayoría de las bahías presentaron un contenido más alto de PTcon valores sobre 10 µg P/L (Fig. 79 y 80) que el centro del lago (6 µg P/L). Las bahías con la menor tasa de recambio y las con menor volumen de agua fueron las más eutróficadas o presentaron una mayor tendencia a la mesotrofía. Sin embargo, no se encuentran diferencias sginificativas entre estaciones “cuidad” y “centro de cultivo”.

Fig. 79 Concentración de fósforo en el Lago Llanquihue 1991/2.

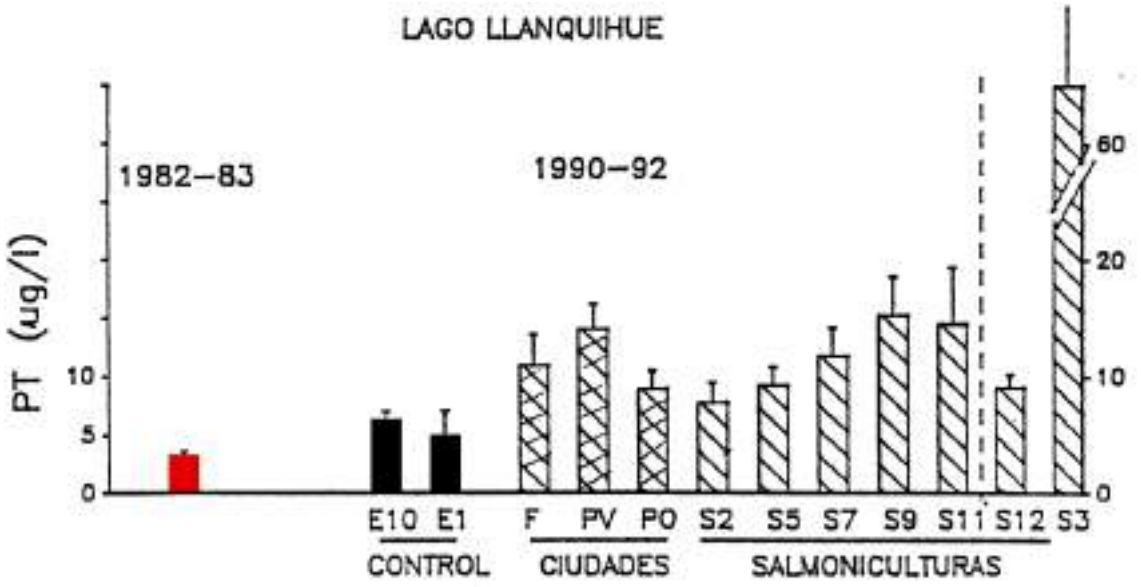


Fig. 80 Concentración de fósforo total en el Lago Llanquihue 1982/3.

En el informe se comparan los valores de PT con valores históricos de 1982/83 de Campos y colaboradores, que reportaron concentracionen alrededor de 3 µg P/L (Fig. 80).

Evaluación

Los valores de P total son demasiado variables entre fechas consecutivas. Mientras en las cercanías de los centros de cultivos se podría eventualmente esperar fluctuaciones de PT como se reportó en el informe, sin embargo es esperable encontrar semejantes fluctuaciones en las dos estaciónes de control ubicadas en el centro del lago Llanquihue (E1, E10). Al contrario, no deben haber variaciones de PT en el centro del lago durante por lo menos un período de varios años debido a su baja tasa de recambio. Parece que la autora principal del estudio (D. Soto) se dío cuenta de las dificultades con los datos de PT y los corrigío eliminando valores altos para finalmente publicar valores mucho mas bajos (factor ~2) que los valores originales como lo muestra la tabla 47, tomada de la publicación de Soto (2002).

Tabla 47 Variables tróficos anuales en 10 sitios del lago Llanquihue medidos durante 1992/93 (Fuente: Soto 2002, Tabla 1).
Rojo: indica valores diferentes al estudio original (UACH 1993).

Algunas variables limnológicas medidas a lo largo de un año en 10 sitios del lago Llanquihue. Los promedios aquí reportados se han obtenido promediando los valores medidos durante el año en cada sitio. Se indican los errores estándar (SE). Se muestra además los resultados del análisis de varianza para indicar efecto de sitio y las pruebas t de Student entre pares de grupos

		TP ($\mu g\ L^{-1}$)	PO_4 ($\mu g\ L^{-1}$)	DIN ($\mu g\ L^{-1}$)	Chl-a ($\mu g\ L^{-1}$)	Secchi (m)
Control sites (C) n = 2	Group mean	3.5	1.5	17.4	1.3	17.3
	SE	(0.3)	(0.1)	(2.5)	(0.3)	(1.2)
Town bays (TB) n = 3	Group mean	6.4	2.1	20.5	1.2	15.7
	SE	(0.8)	(0.8)	(1.9)	(0.1)	(0.3)
Salmon bays (SB) n = 5	Group mean	6.9	2.26	23.57	1.56	13.53
	SE	(0.8)	(0.28)	(2.21)	(0.13)	(0.95)

ESTIMACIÓN DE CARGA DE P

Metodología – En la discusión del informe se realiza una estimación de las cargas de P al lago Llanquihue, donde se sumaron las cargas puntuales medidas (afluentes, centros de cultivos) y las cargas estimadas de las fuentes

difusas y no medidas (población, uso de suelo etc.), estimadas en base a valores de la literatura y datos recopilados. Para estimar el aporte de P por los centros de cultivos se estimo 16 kg de PT aportado al ambiente por ton peces producidos.

Resultados – Las tablas 48 y 49 reportan los resultados de los cálculos y estimaciones de las cargas de P al lago Llanquihue. Los afluentes aportarían 4 ton P/año, los centros de cultivo 16 ton P/año, la precipitación 6-10 ton P/año, aguas servidas 6-12 ton P/año, ganadería 1,4-8,2 ton P/año, agricultura 1-4 ton P/año y erosion de suelos 1,6-32 ton P/año.

En total las fuentes difusas (no puntuales) aportarían 18,4-76 ton P/año, sumadas a las fuentes puntuales 22,9 ton P/año, se estimaría una carga total de 42,3 – 98,9 ton P/año.

Tabla 48Cálculo de la carga de P de fuentes puntuales en el lago Llanquihue

Tabla 31. Calculo de la carga de fósforo de FUENTES PUNTUALES en el Lago Llanquihue.

RIOS O CANALES	PT ($\bar{X}$) (µg/L)	FLUJO (L/s)	CARGA ANUAL TOTAL (ton)	CARGA/AREA mg/m²	
Colorado (Tepu)	38.8 (17-58)	2000*	2.48	2.85	
Blanco	23.4 (15.8-58.8)	1800*	1.35	1.55	
Pescado	40.9 (18.6-53.9)	9000*	11.779	13.539	
Blanco Arenal* (Cascadas)	20.2	1800	1.164	1.337	
R6-P Varas	103.4 (37.7-244)	45	0.15	0.172	
R7-P Varas	169.3 (82-305)	38	0.206	0.237	
R8-Frutillar	67.8 (53.9-81.7)	30	0.065	0.075	
R9-Frutillar	204 (------)	32	0.209	0.240	
A1-Frutillar	54 (35-73)	150	0.259	0.298	
A2-Octay	48.6 (39-58)	120	0.187	0.215	
A3-S5	413.6 (108-1021)	80	1.059	1.217	
Otros canales no medidos (estimados)		3000	4	4.59	
			TOTAL AFLUENTES	26.32	(18.4%)
Centros de Cultivo de salmónidos (14 centros)			16	18.39	(12.9%)

Total = 22,9

Tabla 49 Calculo de la carga de P de fuentes no puntuales en el lago Llanquihue (1991/2)

Tabla 32. Calculo estimativo de la carga anual de fosforo de FUENTES NO PUNTUALES en el Lago Llanquihue. Los valores en la segunda columna representan promedios calculados en base al valor máximo y mínimo ± una desviación standard

	PT	CARGA ANUAL TOTAL (Ton)	CARGA/AREA mg/m²	PORCENTAJE EN BASE AL PROMEDIO %	VALOR MAXIMO %
Deposición atmosférica	0.07 kg/ha	6-10	9.18 ± 3	6.4	8.5
Aguas servidas	0.1 -0.4 kg per cápita	6-12	17.1 ±14.5	12	22.1
Ganaderia	0.1 -0.6 kg per cápita	1.4-8.2	4.8 ± 4.9	3	6.8
Agricultura	0.55 kg/ha (remolacha)	1-4	2.9 ± 2.9	2	4
Erosión de suelos	0.01-0.2 kg/ha de la cuenca	1.6-32	16.8 ±21.5	11.7	26.8
	Total estimado de fuentes no puntuales	18.4-76	47.2 ±40.7	35.1	68.2

Estos datos se calcularon en base a un área de la cuenca de aproximadamente 1600 km². También consideran valores de referencia medidos en Alemania (Werner 1991) con cuencas muy utilizadas y Canarca (Kronvang et al 1993) con cuencas poco perturbadas.

Esta carga todavía esta por debajo de la carga crítica que fue calculada correspondiente a 240 ton P/año.

Evaluación

Los cálculos correspodientes a las cargas de las fuentes puntuales son matematicamente correctos, una validación de las mediciones mismas no se puede realizar. Las estimaciones de las cargas no puntuales a su vez conllevan un rango muy alto con cargas totales que varian por el factor 5. En el cálculo del aporte de P por erosión se hizo un error de cálculo tomando como base el área total de la cuenca (1600 km^2) de vez en considerar solamente el área terrestre de 808 km^2. Por lo tanto se debería bajar la carga por erosion de suelos a 0,8 – 16 ton P/año, lo que bajaría también la carga total 42 – 72 ton P/año.

El estudio no contiene un balance de P al no calcular la descarga de P por el efluente y la tasa de sedimentación. Sin embargo, se calcula la carga crítica y compara esta con la carga actual.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye lo siguiente (Tabla 50):

El estudio analizado es importante, debido a que es el estudio más acabado sobre el lago Llanquihue en los años 1990 y junto con el estuido de Campos et al. (1987) son considerados estudios de referencia. En general esta adecuadamente realizado con muchas mediciones en distintas estaciones del lago con una frecuencia temporal suficientemente corta para obtener una idea sobre el impacto de la salmonicultura sobre el lago. Tiene limitaciones respecto a las mediciones de PT que parecen muy dudosas debido a que son muy variables en el tiempo y por ende no coherentes. El estudio no incluyó un balance hidrológico ni un balance completo de P (no se estimó descarga ni sedimentación de P), esto debido a que no fue el propósito del estudio. Las estimaciones de las demas cargas difusas conllevan un alto grado de incertidumbre y un error de cálculo en el aporte de P a través de la erosión.
Es el estudio referencial de mayor importancia para este lago.

Tabla 50 Resumen de la evaluación del estudio de UACH (1993).

Parámetro	**Evaluación**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	Coherente con línea base		
Cuantificación cargas afluentes			
Cuantificación carga precipitación			
Cuantificación carga centros acuícolas	Muy variable, no se puede validar		
Cuantificación otras cargas	Alto rango, erosión sobreestimada		
Contenido P lago	Valores dudosos, muy variable		
Descarga efluente	no se presenta datos		
Modelos utilizados	correcto		
Balance de P	No se presenta balance, solamente carga		

3.3.2.2 Estudio Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) (2007)

En este estudio encargado por la CONAMA de la Región de Los Lagos se recopiló información histórica del lago Llanquihue y se realizó un muestreo del lago, de los afluentes y del efluente para complementar los datos históricos con el fin de estimar un balance de nutrientes. A continuación se revisa los alcances y las limitaciones más importantes de este estudio respecto al balance de nutrientes.

APORTE DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES

Metodología – Se determinaron los caudales de cada uno de los 8 afluentes principales y luego se tomaron muestras para su análisis químico. Se realizó solamente una campaña de muestreo el día 18 de Octubre del año 2006. Finalmente las cargas diarias aportadas por cada afluente se evaluaron mediante el producto del caudal y la concentración determinada.

Para poder calcular la carga anual de nutrientes se usó aparte de la mediciones reales hechas en este estudio, índices de exportación obtenidos de la literatura (Tabla 51). En base del uso de suelo y los índices se calculó finalmente los aportes de nutrientes al lago Llanquihue.

Tabla 51 Antecedentes nacionales sobre pérdida de nutrientes por ganadería y otros usos de suelo (2007).

Uso suelo	Tipo de suelo	kg N /ha/año	kg P /ha/año	Fuente
Bosque nativo	Andisoles	6,76	0,65	Oyarzun et al. 1997
Praderas ganaderas	Andisoles	15,10	1,18	
Cultivos extensivos	Andisoles	11,35	0,66	
Praderas sin aplicación de fertilizante	Andisoles	35 (1)		Alfaro y Salazar 2005
Praderas con aplicación de 150 kg N/ha	Andisoles	133 (1)		

(1) nitrógeno inorgánico

Resultados – La tabla 52 muestra la concentración de compuestos y la carga calculada de los diferentes ríos muestreados. Se observa que todos los valores de PT estan en el rango de 1 mg P/L con una carga de hasta 1,15 ton P/día.

Tabla 52 Concentración y cargas de P y N en los diferentes ríos muestreados en el Lago Llanquihue (2007).
Fuente: CENMA, 2007, tabla 3.1.5. celdas naranjas: valores erróneos

Tabla 3.1.5: Caudales y flujo másico M (cargas diarias, ton/día) de nitrógeno total y fósforo total para cada río muestreado. Para el cálculo de cargas diarias se consideraron los resultados de la campaña de terreno realizada en este estudio, Octubre 2006.

Lugar Unidades	Caudal (m^3/s)	N Total (g/m^3)	P Total (g/m^3)	M N total (ton/día)	M P Total (ton/día)
Maullín (efluente)	**54,06**	**3,17**	**0,87**	**14,81**	**4,06**
Camahueto o Tempe	3,02	4,15	0,95	1,08	0,34
Pescado	4,53	3,73	1,22	1,46	0,39
Blanco	1,81	4,29	0,73	0,67	0,27
Tepú	3,93	3,03	1,07	1,03	0,28
Las Cascadas	1,15	4,01	1,47	0, 40	0,51
Blanco Arenal	4,47	3,45	1,32	1,33	0,39
Estero Puma	3,70	3,59	1,34	1,15	0,42
Sumatoria afluentes	**22,61**	**26,25**	**8,10**	**7,12**	**2,60**

Evaluación

Los rangos de PT medidos estan completamente fuera de los rangos esperados. Por ejemplo, para el efluente del lago Llanquihue – el río Maullin – se debería esperar valores similares a los del lago, o sea ~ 0,006 mg P/L y no valores como 0,87 mg P/L (Tabla 52).

Muy probablemente todos los demas valores de PT son también erróneos y por ende las cargas calculadas. Estas estuvieron supuestamente 30 veces por sobre los valores estimados por Soto en 1993 como muestra la Tabla 40.

Tabla 53 Comparación de cargas teóricas diarias de fósforo total en afluentes del lago Llanquihue durante 1993 y 2006.
Fuente: CENMA 2007, tabla 3.1.7.

Tabla 3.1.7. Comparación de cargas teóricas diarias de fósforo total presente en afluentes del lago Llanquihue de los estudio Soto, 1993 y CENMA, 2006.

	M ($_{P\ Total}$)	
Unidades	**(ton/día)**	
Lugar	**Soto, 1993**	**CENMA, 2006**
Tepú	0,007	0,280
Blanco	0,004	0,271
Pescado	0,032	0,393
Blanco Arenal	0,003	0,393
Sumatoria afluentes	**0,046**	**1,337**

ESTIMACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES DE OTRAS FUENTES

Metodología – Se estimaron los aportes de nutrientes a través de los centros de cultivo, la ganadería y agricultura asociada, aguas servidas y pisciculturas. Estas estimaciones se basaron principalmente en datos de la literatura recopilados y datos proporcionados por servicios estatales (SISS).

Centros de cultivo: Basado en los datos de Soto (1993) que estimó una producción de 2000 toneladas de peces, que producen 9,5 kg P/ton peces producidos. Se utilizaron los mismos datos calculados por Soto (1993) para la carga actual P por medio de activiadades de cultivo de salmonidos en el lago.

Ganadería y agricultura asociada: Se estimó el uso de suelo y la exportación de nutrientes basandose en índices de la literatura como muestra la tabla 2.3.1 del informe:

Tabla 2.3.1: Antecedentes nacionales sobre pérdida de nutrientes por ganadería y otros usos de suelo

Uso suelo	Tipo de suelo	kg N /ha/año	kg P /ha/año	Fuente
Bosque nativo	Andisoles	6,75	0,65	Oyarzun et al. 1997
Praderas ganaderas	Andisoles	15,10	1,18	
Cultivos extensivos	Andisoles	11,35	0,66	
Praderas sin aplicación de fertilizante	Andisoles	35 (1)		Alfaro y Salazar 2005
Praderas con aplicación de 150 kg N/ha	Andisoles	133 (1)		

(1) nitrógeno inorgánico

Aguas servidas: Se recopiló información sobre el número de habitantes por comuna y calculó su aporte estimado de nutrientes al lago.

Piscicultura: Se realizó una estimación de aporte de nutrientes para dos pisciculturas en base al volumen diario descargado y a la concentración de P y N en la descarga.

Carga total: Finalmente se calculó la sumatoria de las cargas difusas y puntuales para el lago Llanquihue.

Resultados

Se obtuvo las siguientes estimaciones de cargas de P:

Centros de cultivo: un potencial de aporte de 19 ton P/año.

Ganadería y agricultura asociada: El aporte por estas actvidades se estimó a 30,8 Ton/año.

Factores	Ton Nutriente /año (35,6 % superficie pradera)	Ton Nutriente /año (25,9 % superficie pradera)
15.1 Kg N/hás	394,6	287,1
1,18 Kg P/hás.	30,8	22,4

Aguas servidas: La carga estimada a través de aguas servidas fue 50,6 ton P/año de acuerdo a la tabla 2.4.1 del informe CENMA.

Tabla 2.4.1: Estimación de aporte de nutrientes por aguas servidas

Comuna	Número habitantes	Habitantes con descarga fuera de la cuenca	Habitantes con descarga en la cuenca	Aporte de fósforo ton (1)	Aporte de nitrógeno ton (2)
Puerto Varas	32912	18637	14275	19,5	44,3
Llanquihue	16337	11415	4922	6,7	15,3
Frutillar alto	15525	6936	7540	10,3	23,4
Frutillar bajo		1049			
Puerto Octay	10236	0	10236	14,0	31,8
Total	75010	38037	36973	**50,6**	**114,7**

(1) 3,75 gF/hab/dia Fuente:Depuracion de aguas residuales en pequeñas comunidades.Ramón Collado Lara.1992

(2) 8,50 gN/hab/dia Fuente:Depuracion de aguas residuales en pequeñas comunidades.Ramón Collado Lara.1992

Piscicultura: Se estimó el aporte de nutrientes para 2 piscicultura. En total aportaron 18,02 ton P/año al lago Llaquíhue (véase siguiente tabla).

Tabla 2.5.1: Estimación de aporte de nutrientes por la piscicultura

Piscicultura	N (mg/l)	P (mg/l)	Volumen diario	Ton Anual de N	Ton Anual de P
Marine Harvest Río Pescado	1,1	1,1	40.830.048	16,39	16,00
Marine Harvest Río Copihue 1	1,1	1	1.831.068	0,74	0,67
Marine Harvest Río Copihue 2	1	1	1.565.568	0,57	0,57
Marine Harvest Río Copihue 3	1	1	732.672	0,27	0,27
Marine Harvest Río Copihue 4	1	1	1.406.592	0,51	0,51
TOTAL PISCICULTURAS				**18,48**	**18,02**

Carga total: En resumen, el conjunto de fuentes difusas y puntuales se estima que aportaron 110,02 ton P/año. De estos 47% provenían de aguas servidas, 20% de ganadería y agricultura, 16% de pisciculturas y 17% de centros de cultivo (Fig. 81).

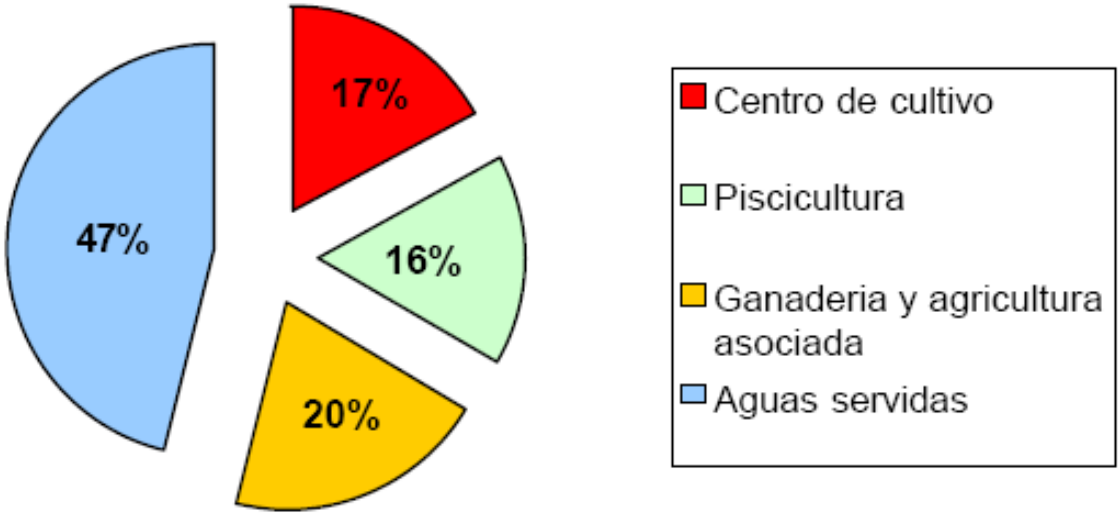


Fig. 81 Estimación del aporte de P por actividad en la cuenca del lago Llanquihue (Figura 2.6.1, Informe CENMA 2007)

Evaluación

Centros de cultivo: El potencial de aporte de 19 ton P/año es muy subestimado, porque la producción de peces en 2006 fue 23.000 ton y no 2000 ton.

Ganadería y agricultura asociada: Los valores parecen razonables.

Aguas servidas: Estos valores son bastante altos ya que consideran una descarga directa de todos los "habitantes con descarga en de la cuenca".

Seguramente no toda la descarga no tratada llega directamente al lago, especialmente cuando se descarga a pozos septicos.

Piscicultura: Llama la atención que se calcula la descarga de solamente dos centros, mientras en la cuenca hay mas pisciculturas instaladas, por lo menos 4 con monitoreo contínuo. El valor de 18 ton P/año parece alto considerando que corresponde principalmente a una sola piscicultura (Marine Harvest, Río Pescado)

No se presenta un balance final de P, ni modelos para calcular la carga crítica y actual.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye lo siguiente (Tabla 54):

El estudio de Cenma (2007) es un estudio que tuvo como principal enfoque recopilar y evaluar datos históricos. Además realizó algunas mediciones en terreno para complementar informaciones y realizar una estimación de las cargas de nutrientes al lago Llanquihue. Presenta varias deficiencias, debido a lo siguiente:

- se midieron los caudales de 8 ríos durante una vez en el año, con un método artesanal,
- se utilizaron promedios anuales de datos de caudales generados por Campos (1988).
- las mediciones de P en los afluentes son erróneos y por ende tambíen la carga calculada.
- Para la estimación de las cargas difusas se utilizó una aproximación a la superficie de praderas y ganadería existente en la cuenca, y algunos índices de la literatura. No se realizó un estudio de usos del suelo.

Tabla 54 Resumen de la evaluación del estudio de CENMA (2007) .

Parámetro	**Evaluación**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	Coherente con línea base		
Cuantificación cargas afluentes	Valores medidas incorrectas Estimacion en base de literatura coherente		
Cuantificación carga precipitación	No se presenta datos		
Cuantificación carga centros acuícolas	Incompleta		
Cuantificación otras cargas	Coherente		
Contenido P lago	No se presenta datos		
Descarga efluente	datos incorrectos		
Modelos utilizados	No se presenta modelos		
Balance de P	No se presenta balance, solamente carga		

3.3.3 Producción de peces

En el lago Llanquihue se evidencia la existencia de 15 concesiones otorgadas con producción activa que alcanzan en promedio 4360 ton/año en el período 1995-2004 y 7075 ton/año en el período 2005 – 2012 (Tabla 55; Fig. 82). Se observan dos máximos productivos en los años 2007 y 2011 con un valor de 8770 y 7780 ton/año. La concesión de mayor volumen de producción con el 20% de la producción total de salmones de las actividades acuícolas en el lago Llanquihue durante 2005-2012 corresponde a la concesión N° 100100 ubicada en el AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 1. Le siguen las concesiones N° 100507 (12%) y 1001866 (10%) ubicadas en ENSENADA PLAYA MAQUI , y AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 2 (Fig. 83). El resto de los centros productivos presenta una producción en el rango de 9% – 2% de la producción total. La comparación de la producción anual promedio muestra una alta

heterogeneidad entre centros de cultivo y muestra un patrón propio para cada concesión (véase tablas Anexo 2).

Tabla 55 Producción bruta promedia de salmónidos en el lago Llanquihue durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**1995-2004**	**2005-2012**
PUERTO PÉREZ ROSALES	100070	203	251
AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 1	100100	685	1427
BAHÍA RINCONES	100204	397	632
BAHÍA DOMEYKO	100332	103	664
SECTOR YERBAS BUENAS 2	100369	149	154
SECTOR YERBAS BUENAS 1	100370	57	201
BAHÍA EL VOLCÁN	100390	260	524
ENSENADA PLAYA MAQUI	100507	274	847
BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 1	100510	219	276
BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 2	100511	77	330
SECTOR LOS PUERTOS	100546	66	382
AL NORTE DE PUERTO OCTAY	100545	102	224
SECTOR LOS PUERTOS	100627	177	280
SECTOR EL VOLCÁN	100628	178	204
AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 2	101866	1414	678
	TOTAL	**4360**	**7075**

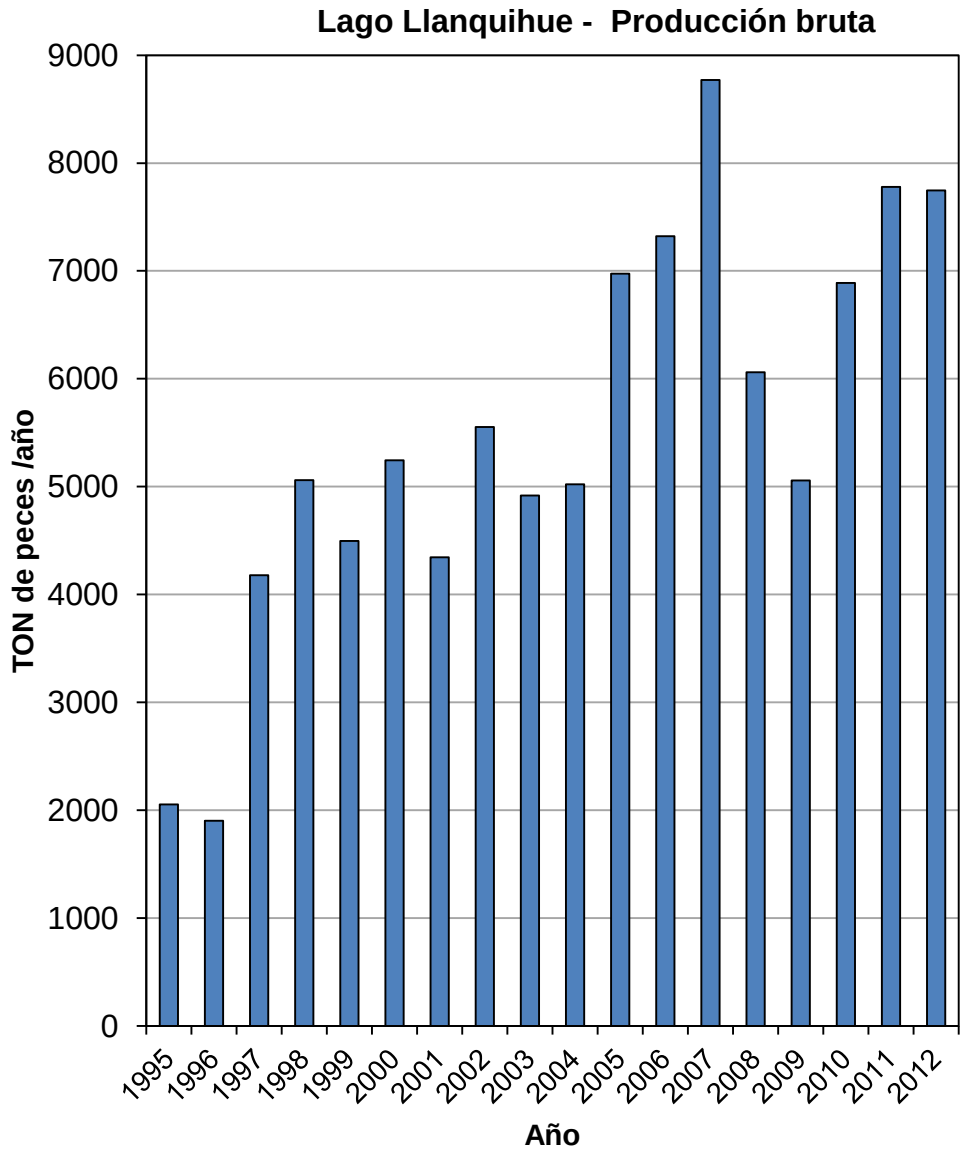


Fig. 82 Producción bruta anual de salmones (ton/año) en el Lago Llanquihue durante el periodo 1995-2012.

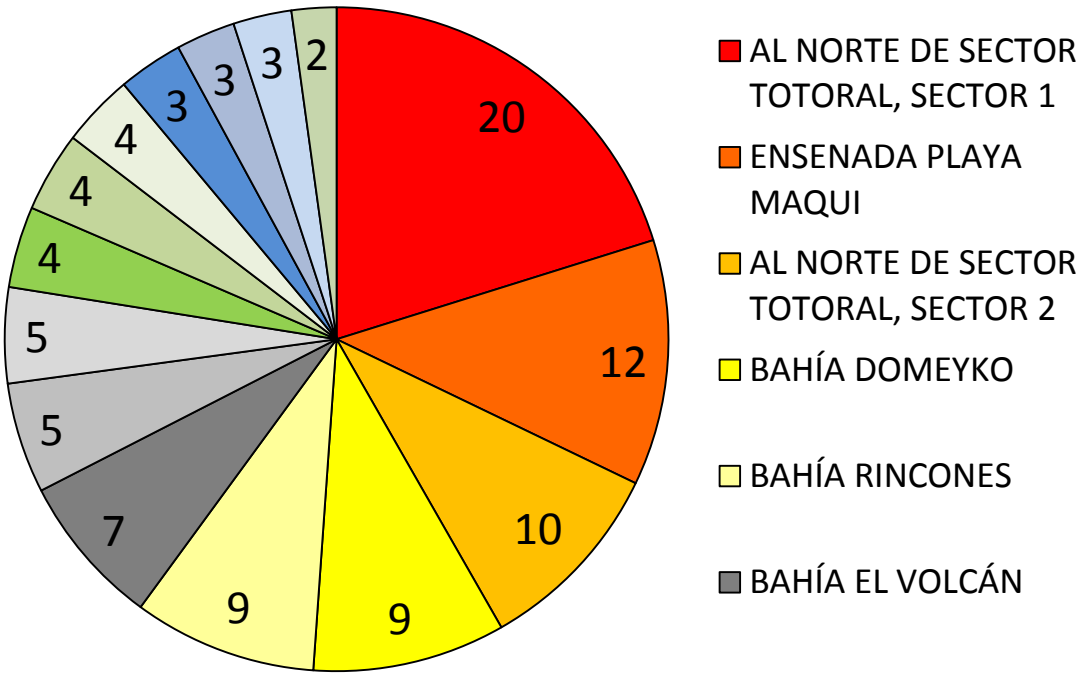


Fig. 83 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Llanquihue durante el periodo 2005-2012.

3.3.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Anexo 2). La carga estimada de P total fluctúa entre un 14-16 ton/año (1995/6), y un máximo de 60-70 ton/año (2011) (Fig. 84, Tabla 56 y 57). En general, se evidencia que la carga de P sufre un incremento sostenido a través de los años de operación entre el año 1995 al 2003, cuando se alcanzan niveles por sobre 50 ton/año. A partir de éste año en adelante el aporte de P tiende a mantenerse en torno a las 40-70 ton/año; no obstante, en dos oportunidades (2008, 2009), el aporte de P disminuye a nivel entre 40 y 50 ton/año.

El porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P fue el mismo que el de la producción de peces. La concesión de mayor carga

de P con el 20% de la carga total de salmones de las actividades acuícolas en el lago Llanquihue durante 2005-2012 corresponde a la concesión N° 100100 ubicada en el AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 1. Le siguen las concesiones N° 100507 (13%) y 1001866 (11%) ubicadas en ENSENADA PLAYA MAQUI , y AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 2. El resto de los centros productivos presenta una carga relativa en el rango de 2% – 9% de la carga total de P.

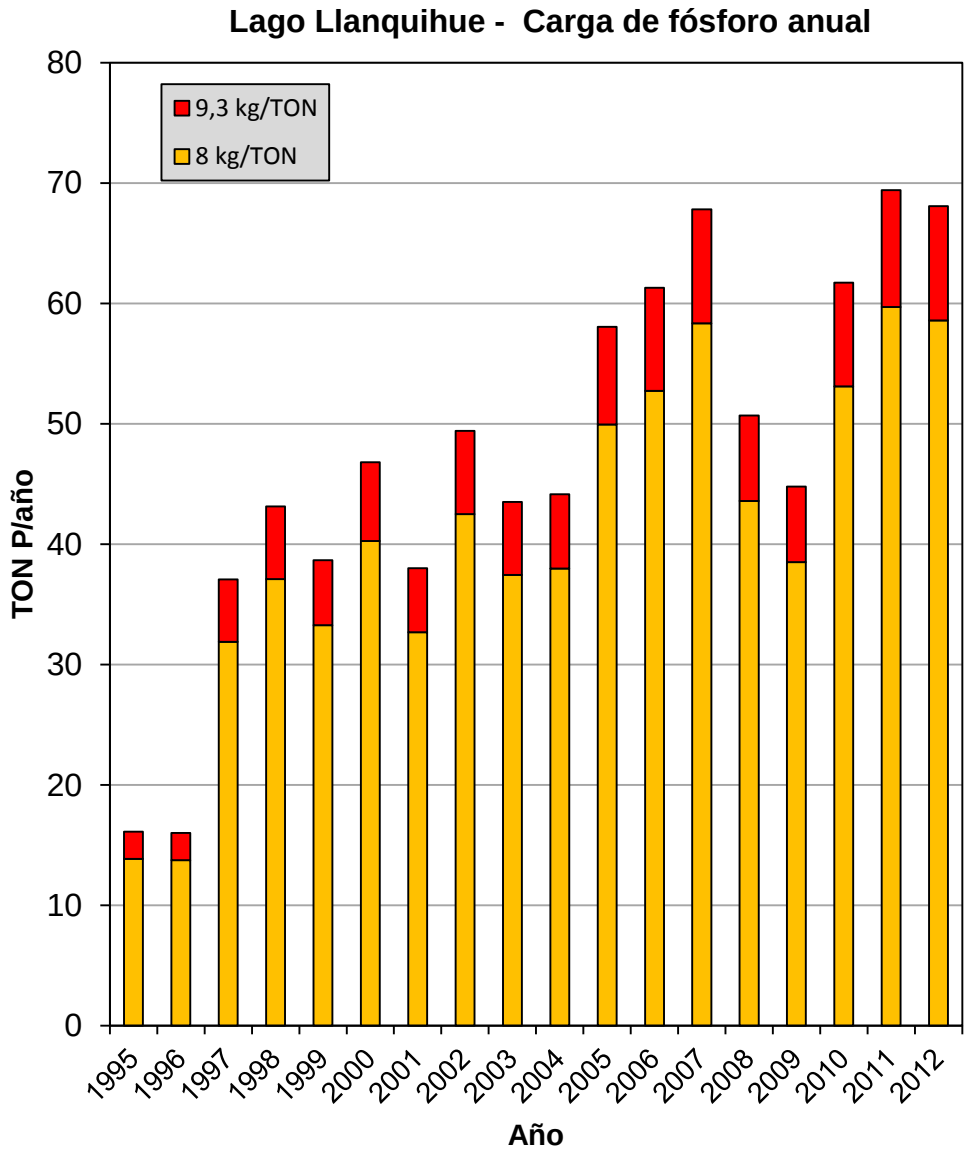


Fig. 84 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Llanquihue

La comparación de la carga anual muestra una alta heterogeneidad entre centros de cultivo y muestra un patrón propio para cada concesión (Tabla 56).

Tabla 56 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Llanquihue durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 1	100100	20
ENSENADA PLAYA MAQUI	100507	12
AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 2	101866	10
BAHÍA DOMEYKO	100332	9
BAHÍA RINCONES	100204	9
BAHÍA EL VOLCÁN	100390	7
SECTOR LOS PUERTOS	100546	5
BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 2	100511	5
SECTOR LOS PUERTOS	100627	4
BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 1	100510	4
PUERTO PÉREZ ROSALES	100070	4
AL NORTE DE PUERTO OCTAY	100545	3
SECTOR EL VOLCÁN	100628	3
SECTOR YERBAS BUENAS 1	100370	3
SECTOR YERBAS BUENAS 2	100369	2

Cabe mencionar que esta carga probablemente esta subestimada para los años noventa, cuando todavía no se controlaba con eficiencia el uso de alimento no ingerido mediante el uso de detectores de alimento y/o sistemas para la captación de dicho alimento.

.

Tabla 57 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	100070		100100		100204		100332		100369		100370		100390		100507	
Año	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**	**MIN**	**MAX**
1995	0,0	0,0	6,5	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,9	0,2	0,2	1,1	1,2	0,1	0,1
1996	0,7	0,8	0,4	0,5	0,0	0,0	0,7	0,9	0,4	0,5	0,4	0,5	0,0	0,0	0,4	0,5
1997	1,5	1,7	5,3	6,2	0,9	1,1	0,7	0,8	0,9	1,0	0,3	0,4	0,0	0,0	0,3	0,3
1998	1,8	2,1	0,2	0,3	1,0	1,2	0,9	1,0	0,5	0,6	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1999	1,6	1,9	3,1	3,6	2,2	2,6	0,9	1,1	0,7	0,8	0,4	0,5	1,8	2,1	0,0	0,0
2000	2,3	2,6	6,1	7,1	6,7	7,8	0,0	0,0	3,6	4,2	0,0	0,0	3,4	3,9	0,0	0,0
2001	1,4	1,7	6,6	7,7	3,5	4,0	0,3	0,3	1,6	1,9	0,2	0,2	3,4	3,9	2,9	3,4
2002	1,3	1,5	10,2	11,8	5,8	6,8	1,4	1,6	1,2	1,4	0,5	0,6	2,9	3,4	2,4	2,8
2003	1,5	1,7	8,9	10,3	4,6	5,3	0,8	1,0	0,8	1,0	0,7	0,8	2,4	2,8	4,6	5,4
2004	1,8	2,1	5,8	6,7	4,7	5,5	0,8	0,9	1,3	1,5	0,8	0,9	3,5	4,0	4,7	5,4
2005	3,5	4,1	8,8	10,3	9,1	10,6	1,0	1,1	0,7	0,8	0,6	0,7	4,3	5,0	6,4	7,4
2006	2,9	3,4	12,4	14,4	4,7	5,4	0,9	1,0	0,9	1,1	0,5	0,6	4,2	4,9	9,2	10,7
2007	3,5	4,1	10,3	12,0	5,5	6,4	0,2	0,2	2,2	2,6	0,0	0,0	4,8	5,6	6,4	7,5
2008	1,1	1,2	11,8	13,8	0,6	0,7	3,8	4,4	1,5	1,7	0,2	0,2	4,2	4,9	4,2	4,9
2009	2,8	3,2	8,3	9,6	0,0	0,0	4,2	4,9	1,1	1,2	1,5	1,7	0,0	0,0	6,1	7,1
2010	1,3	1,5	8,8	10,3	3,0	3,4	12,6	14,7	0,0	0,1	1,9	2,2	2,2	2,6	7,3	8,4
2011	0,0	0,0	9,8	11,4	7,0	8,1	9,0	10,4	3,4	4,0	3,6	4,2	3,1	3,7	10,2	11,9
2012	0,0	0,0	11,9	13,8	6,0	7,0	4,8	5,6	0,0	0,0	3,4	4,0	5,2	6,0	4,3	5,0
TOTAL	**28,9**	**33,6**	**135,2**	**157,2**	**65,2**	**75,8**	**43,1**	**50,1**	**21,8**	**25,3**	**15,4**	**17,9**	**46,5**	**54,1**	**69,6**	**80,9**

Continuación Tabla 57

N° centro	100510		100511		100546		100545		100627		100628		101866		TOTAL	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,9	0,4	0,5	0,2	0,2	1,1	1,2	2,9	3,4	**13,9**	**16,1**
1996	0,0	0,0	0,9	1,1	0,6	0,6	0,8	1,0	0,4	0,5	1,3	1,5	6,6	7,7	**13,8**	**16,0**
1997	0,5	0,6	0,8	1,0	0,6	0,7	1,0	1,1	0,7	0,8	0,6	0,7	17,8	20,7	**31,9**	**37,1**
1998	1,1	1,3	0,4	0,5	0,8	0,9	1,4	1,6	2,1	2,5	2,1	2,5	24,5	28,5	**37,1**	**43,1**
1999	2,1	2,4	2,0	2,3	0,5	0,5	0,6	0,7	2,4	2,8	1,4	1,7	13,5	15,7	**33,3**	**38,7**
2000	0,8	0,9	0,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,4	1,2	1,4	14,2	16,5	**40,3**	**46,8**
2001	1,8	2,1	0,6	0,7	0,2	0,3	0,2	0,2	2,2	2,6	1,1	1,3	6,7	7,8	**32,7**	**38,0**
2002	2,8	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	2,3	2,7	1,6	1,9	9,9	11,5	**42,5**	**49,4**
2003	3,1	3,6	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	0,8	0,9	0,6	0,7	8,4	9,8	**37,4**	**43,5**
2004	3,4	4,0	0,0	0,0	1,6	1,8	1,5	1,8	1,8	2,1	0,9	1,1	5,5	6,4	**38,0**	**44,1**
2005	2,5	2,9	1,6	1,8	2,6	3,1	1,4	1,6	2,6	3,0	0,4	0,4	4,4	5,2	**49,9**	**58,1**
2006	0,1	0,1	4,2	4,9	3,6	4,2	1,6	1,8	2,1	2,4	1,5	1,7	4,0	4,6	**52,7**	**61,3**
2007	0,4	0,4	3,5	4,0	8,8	10,2	1,3	1,5	2,6	3,0	0,0	0,0	8,8	10,2	**58,3**	**67,8**
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	9,7	2,2	2,5	1,7	1,9	0,0	0,0	3,9	4,5	**43,6**	**50,7**
2009	0,0	0,0	0,9	1,1	1,0	1,2	0,0	0,0	3,3	3,8	2,8	3,2	6,7	7,8	**38,6**	**44,8**
2010	4,4	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	2,1	2,5	2,1	2,5	7,1	8,2	**53,1**	**61,7**
2011	0,0	0,0	2,6	3,0	0,0	0,0	2,8	3,3	2,0	2,3	0,0	0,0	6,5	7,6	**60,0**	**69,8**
2012	9,9	11,5	6,1	7,1	0,0	0,0	3,6	4,2	1,6	1,9	1,7	2,0	0,0	0,0	**58,6**	**68,1**
TOTAL	**32,8**	**38,1**	**24,5**	**28,5**	**29,7**	**34,5**	**19,1**	**22,2**	**32,0**	**37,2**	**20,4**	**23,8**	**151**	**176**	**736**	**855**

3.3.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

CENTRO BAHÍA RINCONES 100204

Fig. 85 muestra que**:**

Fango: El contenido de fango en las estaciones, para ambos años fue en varios casos sobre el 80%, siendo más altos que los porcentajes presentados en los sitios de referencia, los cuales presentaron aprox. valores del 50%. En el 2010 la estación E5, presenta valores significativamente más bajos, que no llegan a más del 20 % de fango.

Materia orgánica: Durante los años 2010 y 2011, los porcentajes de materia orgánica son bajo 10% tanto en los sitios control y estaciones de referencia siendo incluso bajo el 5% para el segundo año. Durante el 2010 los sitios E1 a E4 presentan valores significativamente más altos que los sitios de referencia.

Potencial de redox: Los valores de redox fueron en general entre 120 y 280 mV Las estaciones E1, E3 y E5, presentaron los valores más altos (sobre los 320 mV). Entre los sitios de referencia, se aprecia una disminución significativa de la capacidad de redox que en 2010 presenta 240 mV aprox. llegando a 160 mV en 2011.

Es muy difícil de interpretar los datos existentes para el año 2011, específicamente en relación a los contenidos porcentuales de materia orgánica, donde se observan valores muy parejos y con promedios (X ± SD) muy bajos, en todas las estaciones, sin embargo se observan elevados valores de la fracción fango. Aparentemente se trataría de un lugar nuevo y donde no hubo diferencias tanto entre las estaciones y los sitios control.

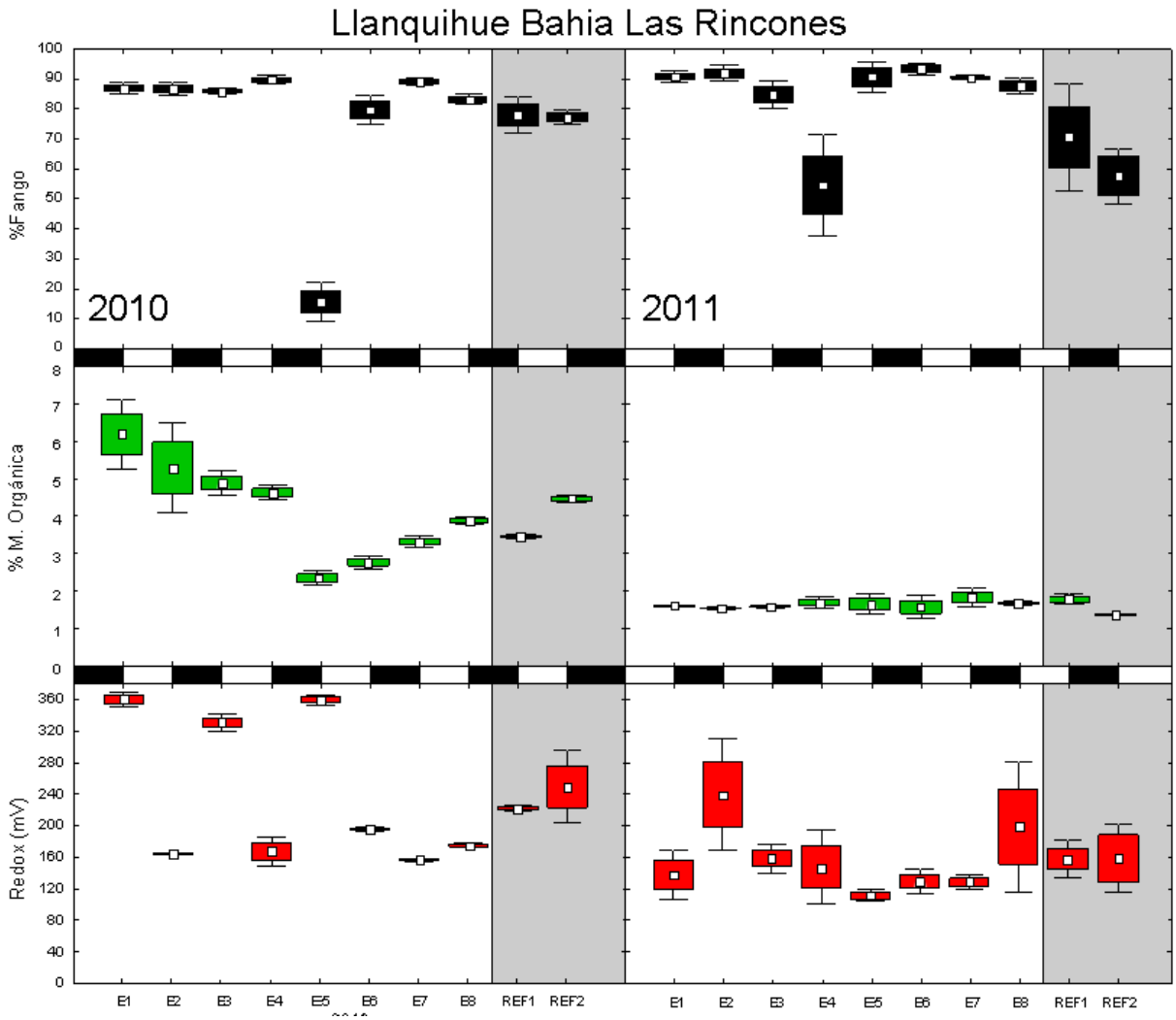


Fig. 85 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Rincones 100204 (2010, 2011).

CENTRO PLAYA MAQUI 100505

Fig. 86 muestra que**:**

Fango: Los sitios de referencia presentan diferencias significativas en sus contenido de fango, siendo las más altas en el sitio 1. Durante el 2010 los porcentajes de fango fueron bajo el 15% aprox., aumentando hacia 2011 en los sitios E1 a E4 con porcentajes sobre 35%.

Materia orgánica: Durante los años 2010 y 2011, el porcentaje de materia orgánica fue bajo 10%, tanto en los sitios control, como en las estaciones de muestreo, siendo significativamente más bajos durante 2010 (bajo el 5%). Hacia 2011 se presenta un alza en los valores de materia orgánica, lo cual se refleja principalmente en el sitio de referencia 1.

Potencial de redox: Los valores de redox durante el 2010 fueron en general de 200 mV, disminuyendo significativamente en 2011, con excepción de

la estación E 6 y el sitio de referencia 2 que presentan valores sobre los 250 mV.

Debido a que se observa una distribución coherente de los datos correpondientes al porcentaje de fangos, porcentaje de materia orgánica y potencial redox, se considera una adecuada metodología de análisis y procedimeiento de toma de muestras.

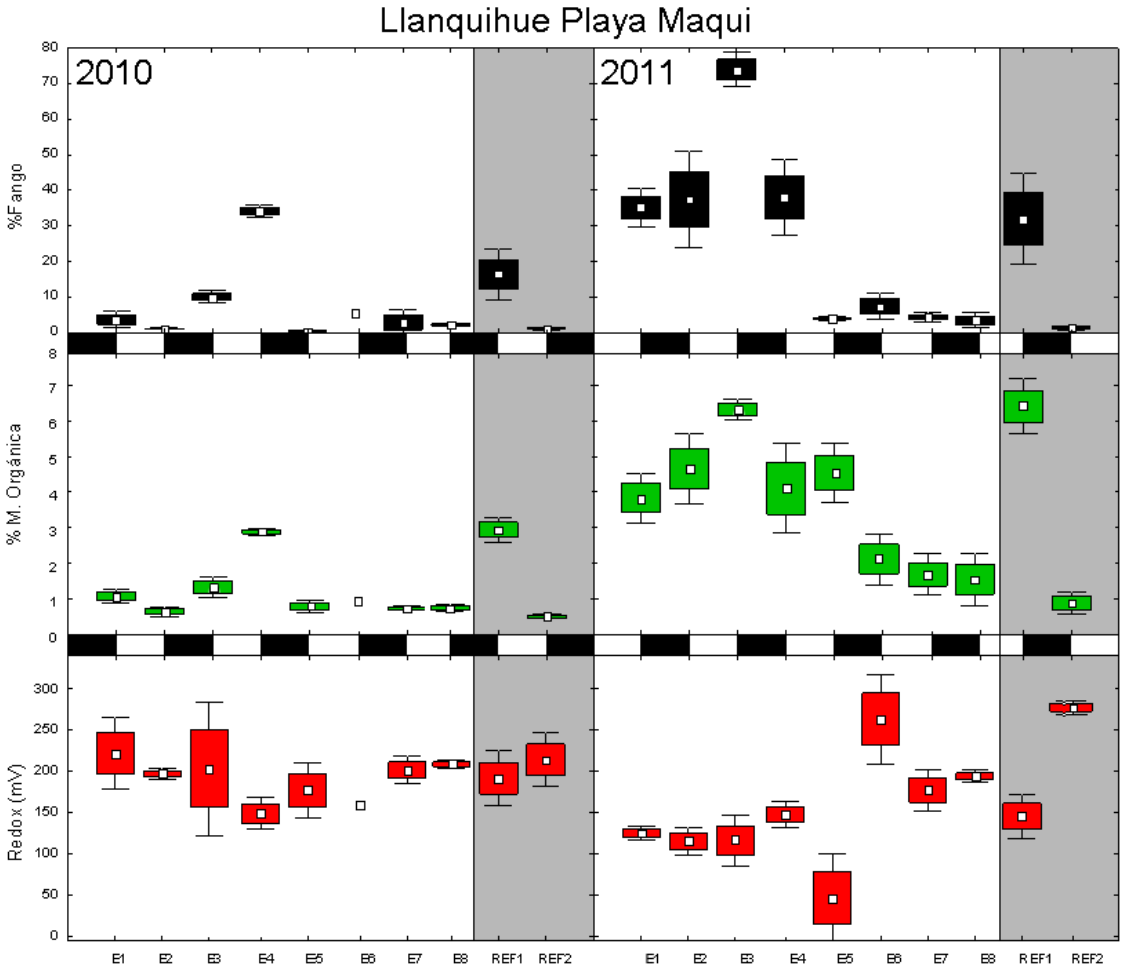


Fig. 86 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Playa Maqui 100505 (2010, 2011).

CENTRO ENSENADA BAHÍA1 100370

Fig. 87 muestra que**:**

Fango: Durante el 2010 los valores informados para este parámetro, no superan el 25%, sin diferencias relevantes entre las estaciones y los sitios de referencia. Los mayores porcentajes de fango los presentan los sitios E5 y E6, con un 40% aprox.

Materia orgánica: El porcentaje de materia orgánica esta bajo 10% tanto en los sitios control, como en las estaciones de muestreo. Los mayores porcentajes de materia orgánica, los presentan los sitios E5 y E6, con un 8% aprox.

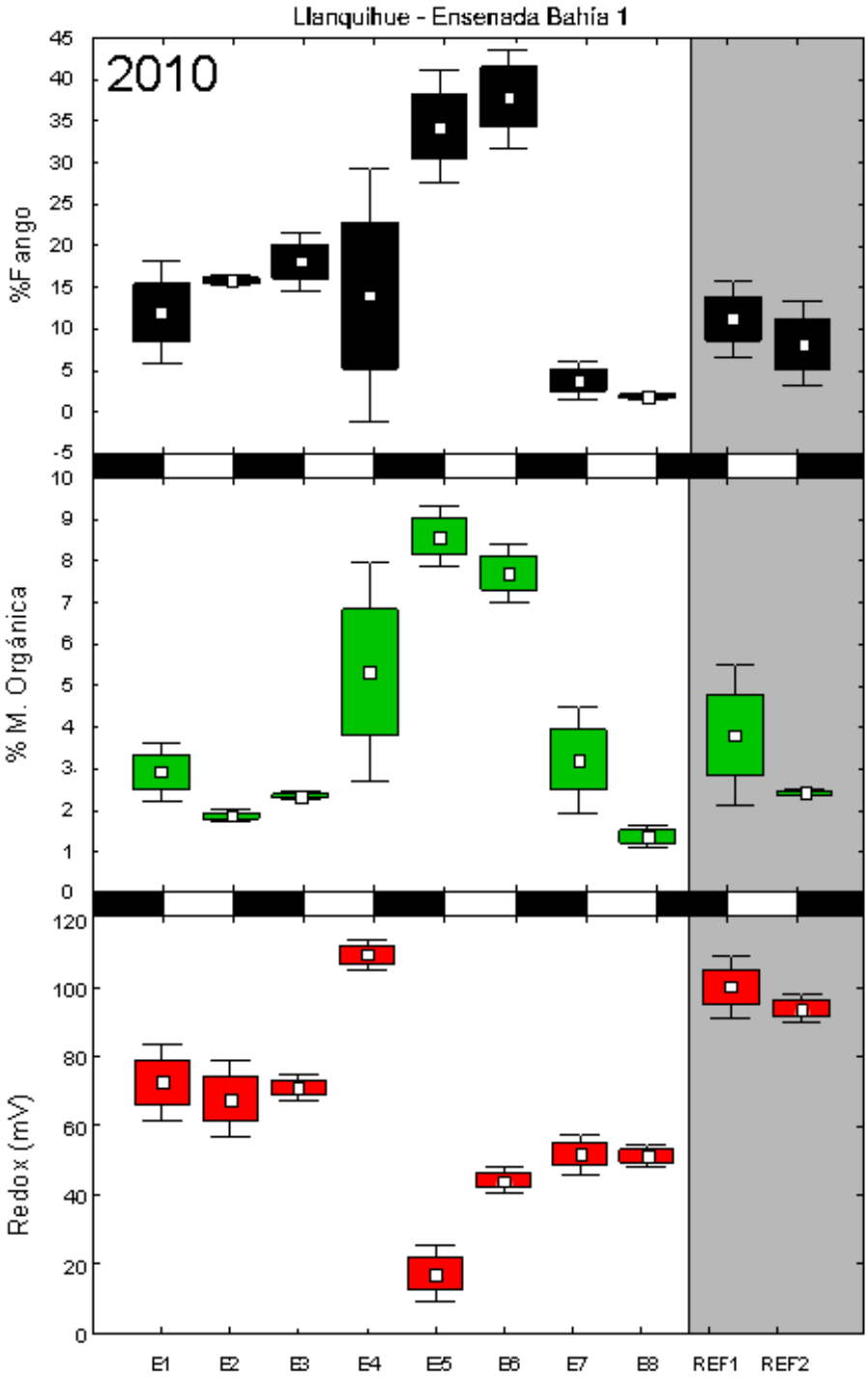


Fig. 87 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Ensenada Bahía 1 10370 (2010).

Potencial de redox: En general los valores de redox son muy bajos en este Centro, lo que indica una baja oxigenación. En los sitios de referencia,

los valores son de 100 mV aprox., que es mayor a lo observado en las estaciones de muestreo, con potenciales entre 40 y 80 mV. El valor más bajo lo presenta la estación E5 con 20 mV. Según el RAMA todos los sitios sería “anóxicos”. Eventualmente los datos de redox no fueron corregidos a valores obtenidos con la elcctroda de hidrógeno.

Debido a que se observa una distribución coherente de los datos correpondientes al porcentaje de fangos, porcentaje de materia orgánica y potencial redox, se considera una adecuada metodología de análisis y procedimeiento de toma de muestras.

CENTRO BAHÍA MAITEN B1 100511

Fig. 88 muestra que**:**

Fango: Los porcentajes más altos de fango se observan en los sitios de referencia con un 70%. Las estaciones de muestreo presentaron entre un 30 y 45% de fango.

Materia orgánica: Los sitios de referencia presentaron sobre un 10 % de materia orgánica, lo cual estuvo sobre los valores reportados para las estaciones de muestreo cuyos porcentajes están bajo el 8% de materia orgánica.

Potencial de redox: Los valores de Potencial redoxindican un ambiente muy bien oxigenado, entre los 220 y 350 mV. Con excepción de las estaciones E3 y E4, los sitios de referencia presentaron valores más bajos que los sitios de estudio.

Debido a que se observa una distribución coherente de los datos correpondientes al porcentaje de fangos, porcentaje de materia orgánica y potencial redox, se considera una adecuada metodología de análisis y procedimeiento de toma de muestras.

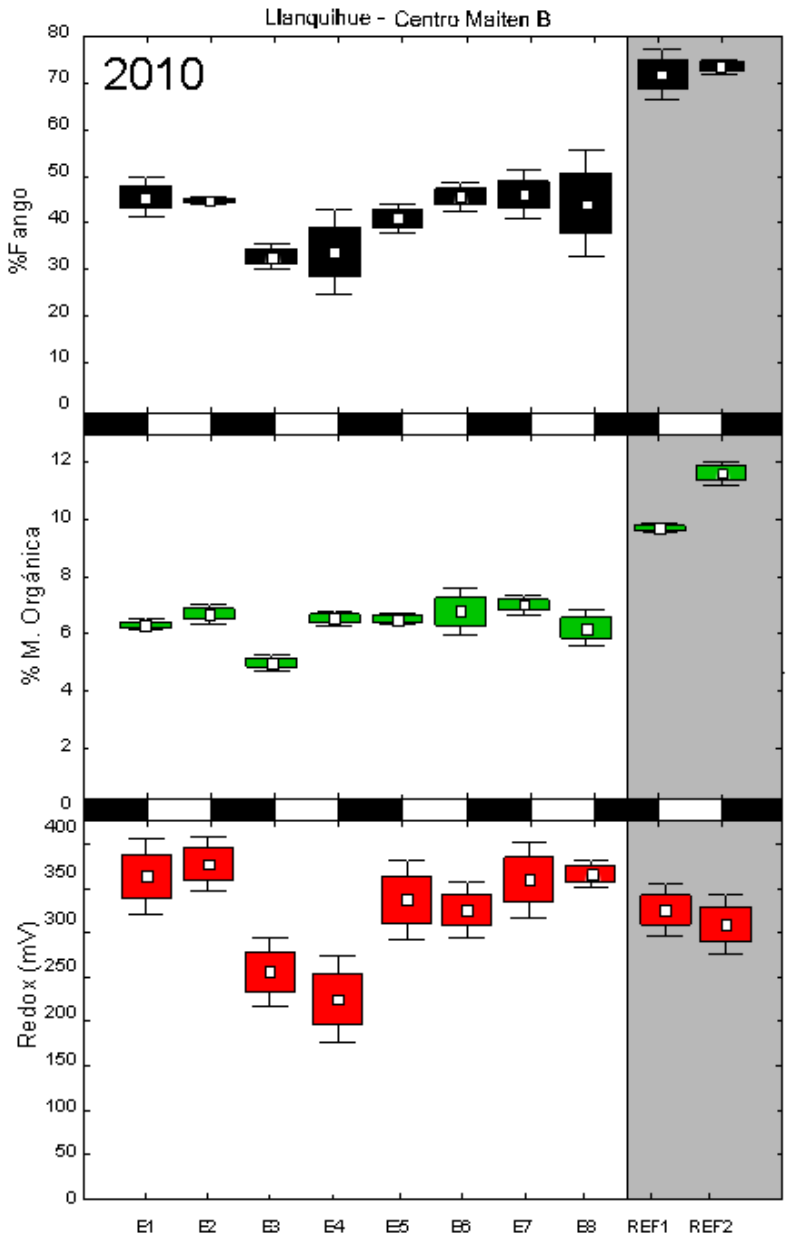


Fig. 88 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Maitén B 100511 (2010).

CENTRO BAHÍA MAITEN C1 100332

Fig. 89 muestra que**:**

Fango: En general los porcentajes de materia orgánica fueron altos para ambos años,sobre el 50%; con una tendencia al aumento durante 2011, con porcentajes sobre el 70% en los sitios en estudio. Los valores de los sitios de referencia presentaron diferencias significativas entre sí en ambos años, pero en todos los casos con porcentajes sobre el 40% de fango.

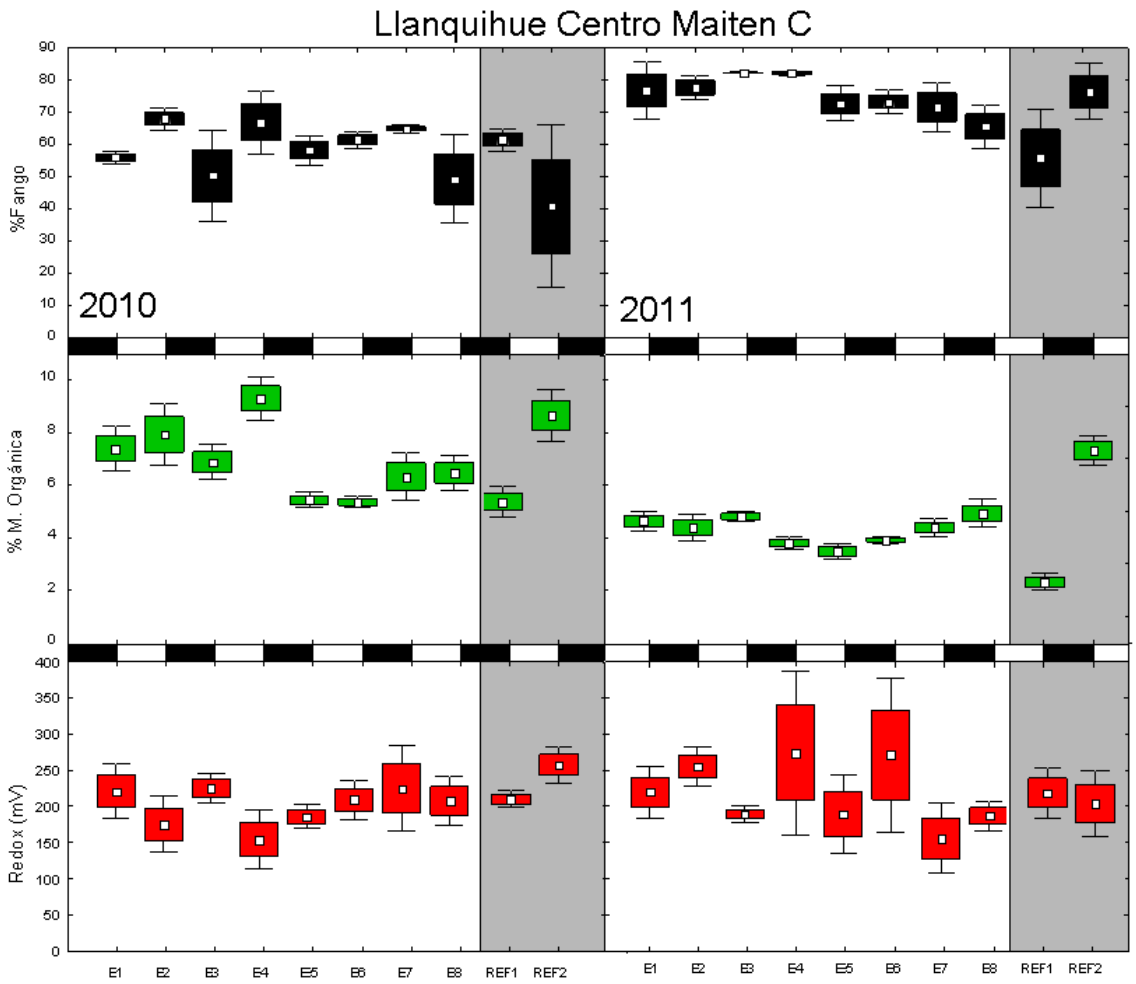


Fig. 89 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Bahía Maitén C 100332 (2010-2011).

Materia orgánica: El porcentaje de materia orgánica esta bajo el 10% tanto en los sitios control, como en las estaciones de muestreo. Los mayores porcentajes de materia orgánica, se presentan durante el 2010 en E1, E2, E4 y el sitio de referencia 2 con un 7% aprox. Durante el 2011, se observa una disminución del contenido de materia orgánica con valores por debajo del 6%.

Potencial de redox: Los valores de Potencial redox indican un ambiente muy bien oxigenado, entre los 150 y 350 mV. Los sitios de estudio presentaron valores similares a los reportados en los sitios de referencia con 220 mV.

Se observa una distribución coherente de los datos, aunque es llamativa la disminución que se observa en el porcentaje de materia orgánica durante el año 2011, en todas las estaciones.

CENTRO MONTE ALEGRE 100627

Fig. 90 muestra que**:**

Fango: En 2010 todas las estaciones presentaron porcentajes de fango de no más de 30 %, lo cual es más bajo que los valores reportados en los sitios de referencia 1 y 2 (40%). Hacia el 2011 se presenta una tendencia al aumento en las estaciones por sobre el 40% de materia orgánica, sin presentar diferencias significativas con los sitios control

Materia orgánica: El porcentaje de materia orgánica esta bajo 6% tanto en los sitios control, como en las estaciones de muestreo. Los mayores porcentajes de materia orgánica, se presentan durante el 2011 en E7 y E8 con porcentajes de un 7%. Salvo estas estaciones, no se presentan diferencias significativas entre los sitios de referencia y las estaciones en estudio en todo el periodo

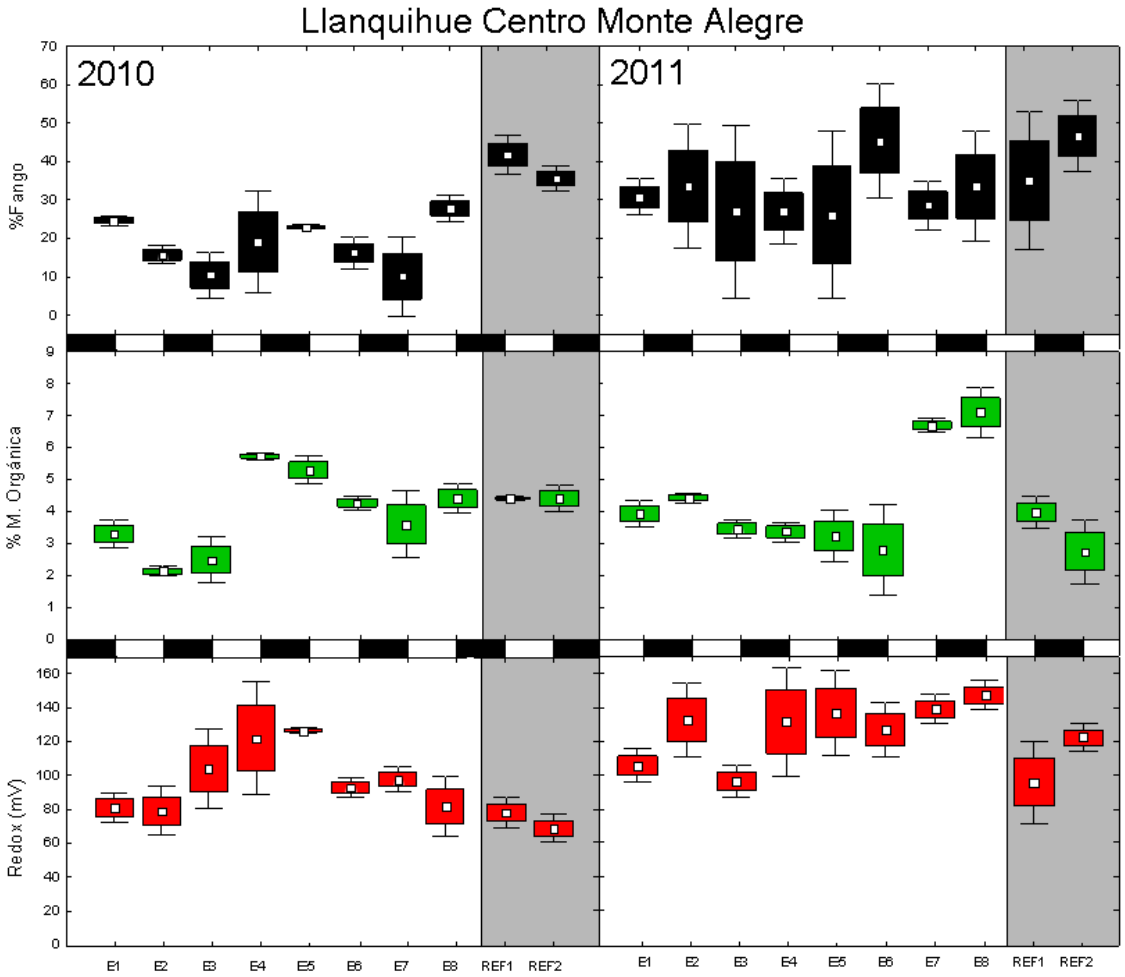


Fig. 90 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Monte Alegre 100627 (2010-2011).

Potencial de redox: Los valores de Potencial redox fueron bajo 100 mV en los sitios de referencia en el año 2010, siendo estos valores más bajos que

los reportados en las estaciones de estudio durante el periodo 2010 a 2011, los que varían entre 80 y 140mV. Estos valores explican ambientes con baja oxigenación.

Debido a que se observa una distribución coherente de los datos correpondientes al porcentaje de fangos, porcentaje de materia orgánica y potencial redox, se considera una adecuada metodología de análisis y procedimeiento de toma de muestras.

CENTRO PHILLIPI 1 100100

Fig. 91 muestra que**:**

Fango: En ambos años los sitios de referencia reportan los más altos porcentajes de Fango sobre entre un 60 y 80%. Estos valores son significativamente más altos que los reportados en los sitios en estudio, con valores entre un 10 y 40%.

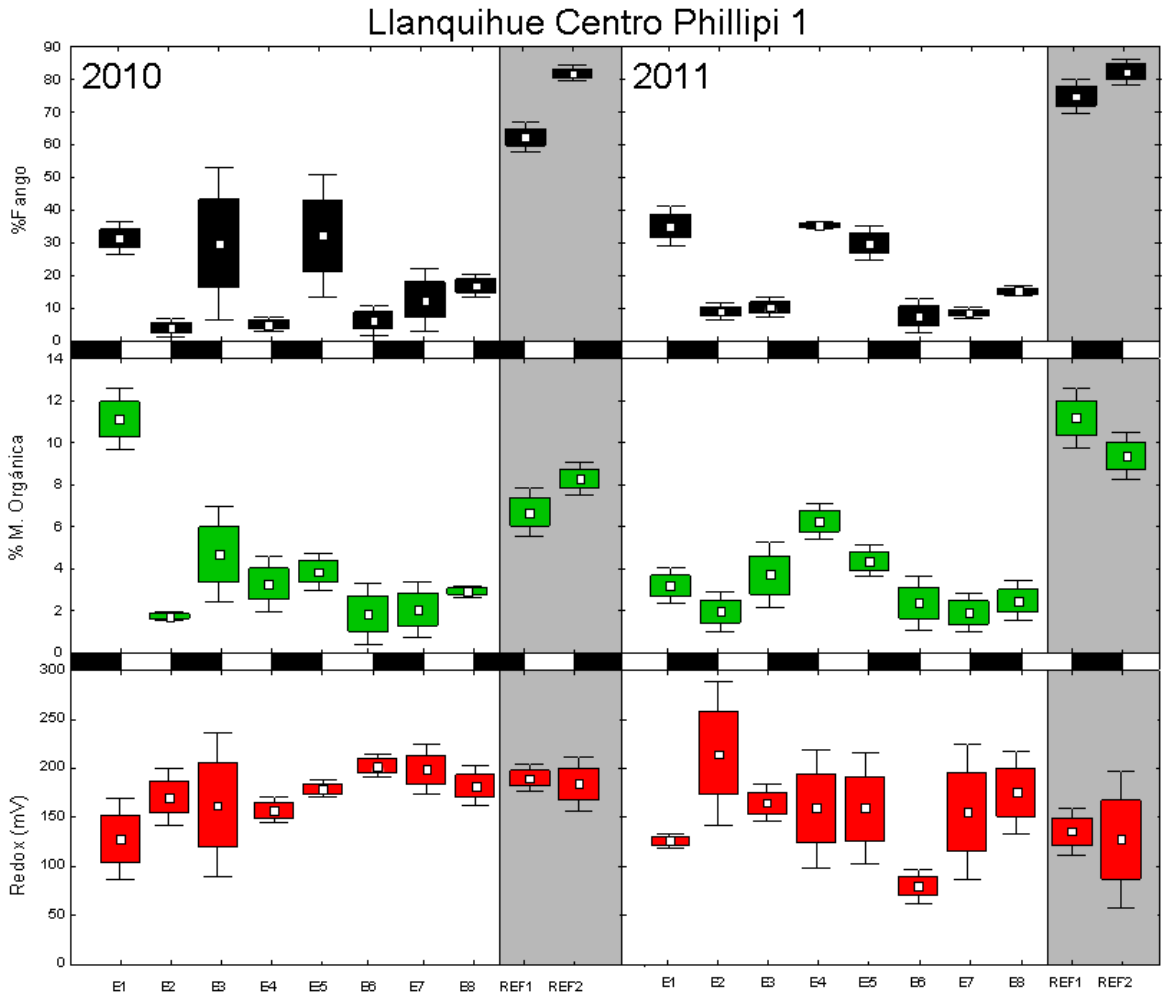


Fig. 91 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Phillipi 1 100100 (2010-2011).

Materia orgánica: Con excepción de E1 en 2010, todos los valores de materia orgánica informados en las estaciones de muestreo fueron bajo el 6 %, siendo significativamente más bajos que lo reportado en los sitios de referencia con un 8 y 12%.

Potencial de redox: Los valores de redox fueron en promedio 200mV, sin deferencias significativas entre las estaciones de muestreo y los sitios de referencia en 2010. En el 2011 el sitio E2 fue levemente más alto que los sitios de referencia (150 mV)

Se presenta una distribución coherente de los datos, aunque llama la atención la elección de los sitios control, por los mayores y elevados contenidos de la fracción fango y de materia orgánica.

CENTRO PHILLIPI 2 101866

Fig. 92 muestra que**:**

Fango: En los sitios en estudio, se observan altos porcentajes, sobre el 80% durante el 2011. Los valores más bajos los presentan los sitios de referencia 1 y 2 durante el 2010, por debajo del 50% de fango.

Materia orgánica: El porcentaje de materia orgánica esta bajo 10% tanto en los sitios control, como en las estaciones de muestreo. Hacia el 2011 hay una disminución de los porcentajes por debajo del 5%. En general no se presentan diferencias significativas entre sitios de referencia y las estaciones en estudio, a excepción de la estación de referencia 2 en el año 2010.

Potencial de redox: Durante el 2010 los valores de redox son de 150 mV aprox. sin diferencias significativas con los sitios de referencia. En 2011 con excepción de E1, todos los sitios en estudio presentaron valores de potencial menores (120 mV) a los sitios de referencia (150-200 mV).

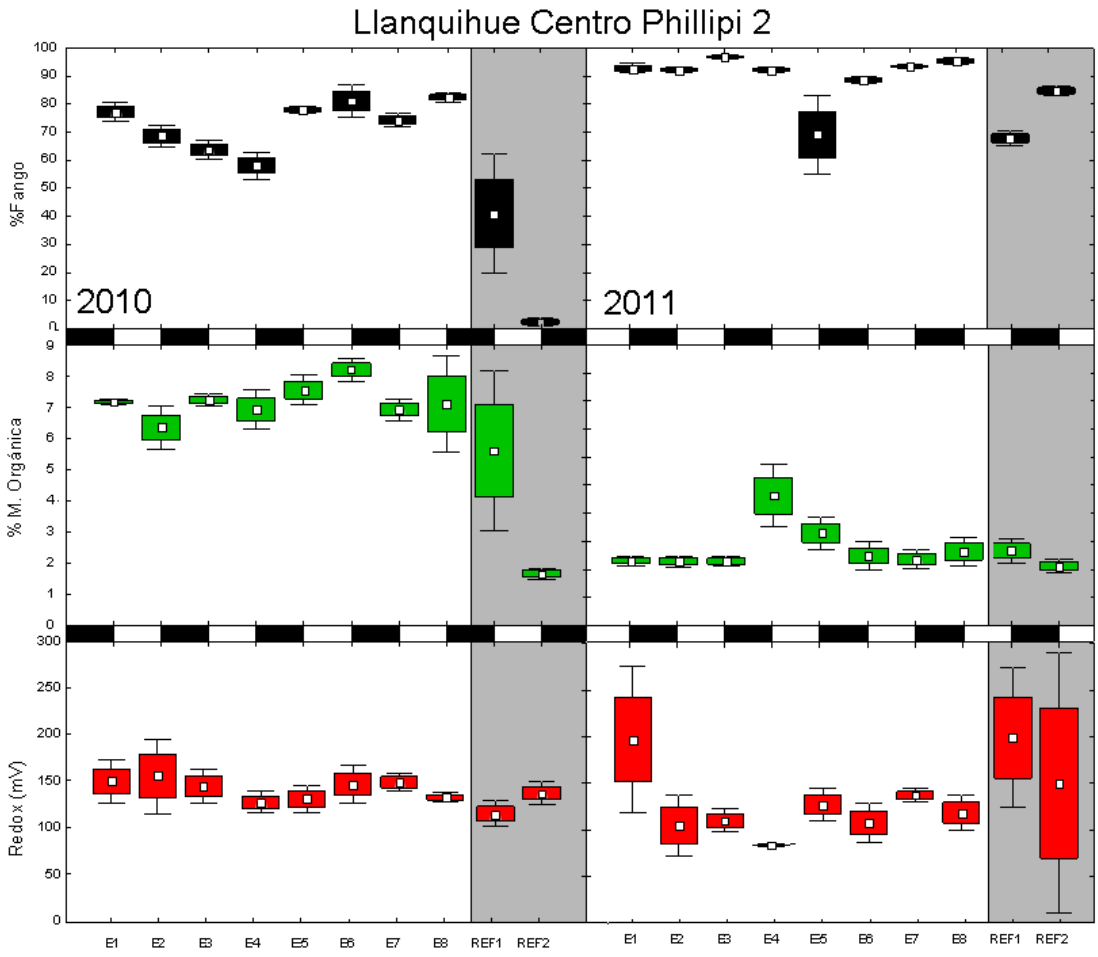


Fig. 92 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Phillipi 2 101866 (2010-2011).

Es muy llamativa la disminución en el porcentaje de materia orgánica durante todas las estaciones del año 2011, lo que podría sugerir que el área de muestreo fue desplazada y las muestras fueron tomadas en un lugar diferente a las obtenidas el año 2010.

CENTRO PUERTO ROSALES100070

Fig. 93 muestra que**:**

Fango: Los sitios de referencia presentaron valores levemente más altos (65% aprox.) que los sitios en estudio con porcentajes bajo el 60% de fango. Los valores más bajos se reportan en E1 y E3.

Materia orgánica: El porcentaje de materia orgánica fue alto en los sitios de referencia, entre un 12 y 16%. Estos valores no poseen diferencias significativas entre estaciones, con excepción de E8 que presenta valores bajo 6%.

Potencial de redox: Los valores de potencial redox fueron aprox. 150 mV para los sitios de referencia y las estaciones en estudio, con excepción de E1, E4 y E5 que tienen valores de 300 mV.

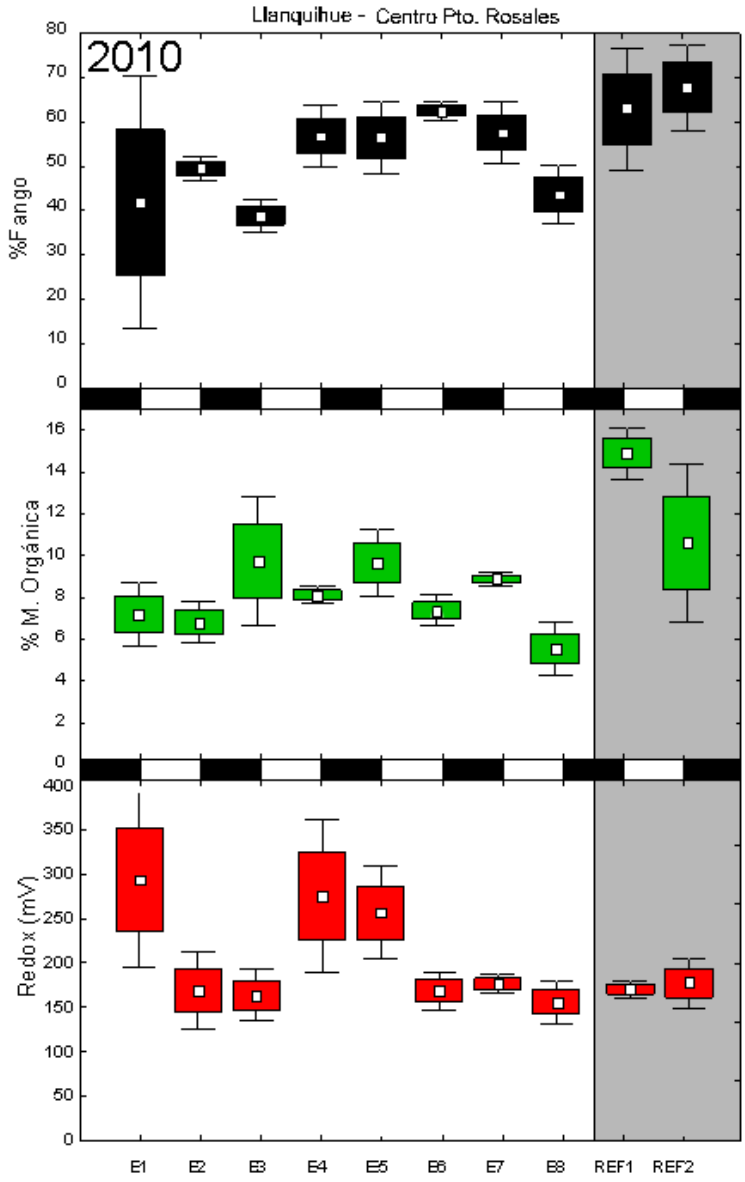


Fig. 93 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Puerto Rosales 100070 (2010).

Se observa una distribución coherente de los datos, aunque llama la atención los valores de fango y materia orgánica en los sitios control.

CENTRO PUERTO OCTAY 100545

Fig. 94 muestra que**:**

Fango: En el año 2010 los valores de porcentaje de fango están sobre el 50 % a excepción de los sitios E2, E3 y E4 que presentan porcentajes entre un 10 a 30 % de fango. Durante el 2011 se presentan los valores más altos en contenido de fango, en todas las estaciones, con excepción de E4 y el sitio de referencia 1. Todos los valores fueron sobre el 80%. Hacia 2012 se evidencia una baja con valores aprox. de un 60 %, los cuales fueron levemente más altos que los informados en los sitios de referencia con aprox un 50%.

Materia orgánica: Los valores de materia orgánica fueron bajo el 10% en todos los sitios de estudio y sitios de referenciapara todos los años, evidenciándose una tendencia a la baja durante el 2012 con valores bajo el 4%. Las mayores diferencias entre estaciones y sitios de referencia fueron durante el 2011, donde las primeras presentan porcentajes entre 8 y 10%, mientras que la referencia fue entre un 2 y 6%.

Potencial de redox: Con excepción de 2011, los valores de potencial redox fueron aprox. 140 mV. Durante ese año, se registran los valores más bajos, particularmente, en los sitios E2, E4, E6 y E7 con valores entre 20 y 40mV, lo que indica ambientes con muy bajo contenido de oxigeno.

Es muy llamativa la disminución en el porcentaje de materia orgánica durante el año 2012, en todas las estaciones, lo que podría sugerir que el área de muestreo fue desplazada y las muestras fueron tomadas en un lugar diferente a los años 2010 y 2011.

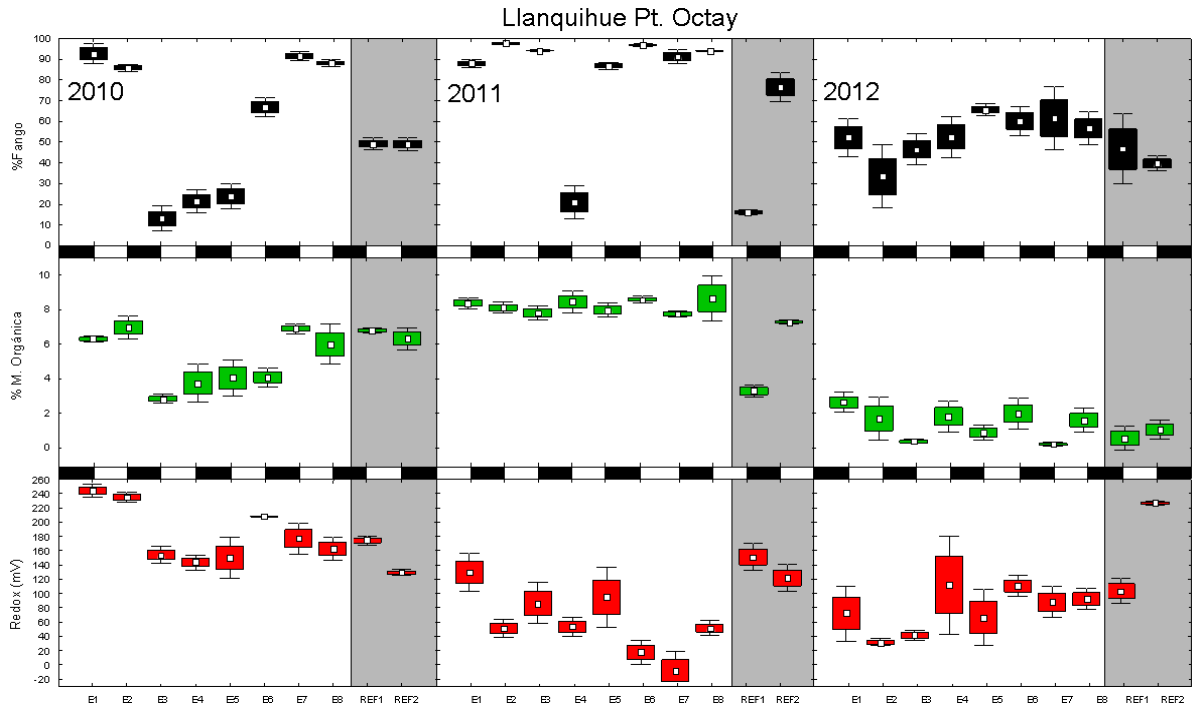


Fig. 94 Información ambiental (sedimento) del Lago Llanquihue, Centro Puerto Octay 100545 (2010 - 2012).

3.3.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.3.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

En el lago Llanquihue las estaciones centrales C1 y C2 de profundidad mostraron temperaturas en el rango de 10,40 – 11,31 °C, con promedios de 10,66 ± 0,26 °C en la estación C1 y 10,72 ± 0,21 °C en la estación C2. Las temperaturas más altas se observan en superficie (epilimnion) con una leve termoclina entre la sub-superficie a los 10m de profundidad (est. C1 y C2) (Fig. 95, Anexo 3). Sobre estas profundidades respectivas se observa una disminución gradual muy leve hacia el hipolimnion, hasta los 200 (C2) y 300m (C1) respectivamente con muy poca variación.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de temperaturas entre 12,74 °C (en superficie) a 10,53 °C (en el fondo) (Fig 96, Anexo 3). Las temperaturas promedias en los centros de cultivo fue la siguiente: Bahía Ensenada (100370) 11,07 ± 0,51 °C; Bahía el Volcán (100390) 10,99 ± 0,44 °C; Philippi (100100) 11,37 ± 0,48 °C; Maiten (100332) 11,27 ± 0,79 °C; Maiten A (100510) 11,41 ± 0,78 °C; Philippi 2 (101866) 11,35 ± 0,52 °C; Rosales (100070) 12,54 ± 0,30 °C; Playa Maqui (100507) 11,36 ± 0,72 °C; Rincones (100204) 11,44 ± 0,78 °C; Pto. Octay (100545) 11,62 ± 0,33 °C; Montealegre (100627) 11,97 ± 0,58 °C; Bahía Cox (100628) 11,49 ± 0,39 °C. La distribución vertical de temperaturas en las concesiones de los centros de cultivo presenta una tendencia similar a la descrita para las estaciones centrales con temperaturas superficiales levemente más altas y resaltan las temperaturas más elevadas en el centro Pto. Rosales.

pH y CONDUCTIVIDAD

El pH en las estaciones centrales del lago Llanquihue C1 y C2 de profundidad mostraron valores en el rango de 6,96 – 7,75, con promedios de 7,65 ± 0,14 en la estación C1 y 7,10 ± 0,10 en la estación C2 (Anexo 3). Se observaron

valores levemente más altos en la est. C1 que en la est. C2. En la est. C1 se observa un leve aumento de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo. En la est. C2 se observa una tendencia a la disminución de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo. En general ambas estaciones presentan valores de pH con muy poca variación..

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de valores de pH entre 6,93 a 7,82 (Anexo 3). Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Bahía Ensenada (100370) 7,27 ± 0,03; Bahía el Volcan (100390) 7,20 ± 0,24; Philippi (100100) 7,16 ± 0,04; Maiten (100332) 7,11 ± 0,10; Maiten A (100510) 7,27 ± 0,17; Philippi 2 (101866) 7,38 ± 0,10; Rosales (100070) 7,23 ± 0,04; Playa Maqui (100507) 7,32 ± 0,23; Rincones (100204) 7,49 ± 0,13; Pto. Octay (100545) 7,41 ± 0,09; Montealegre (100627) 7,53 ± 0,06; Bahía Cox (100628) 7,59 ± 0,38. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presenta valores similares a los observados en la estación central C1 (Anexo 3).

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto las centrales como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron casi ninguna variación manteniéndose en valores entre los 89-94 µS/cm, observándose el valor de 89 µS/cm solamente en el estrato superficial de la estación correspondiente a la est. Central C1.

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en las estaciones centrales C1 y C2 del lago Llanquihue mostró valores en el rango de 9,69 - 11,87 mg/L, con promedios de 11,01 ± 0,66 mg/L en la estación C1 y 11,10 ± 0,34 mg/L en la estación C2. Estos valores indican una buena oxigenación en la mayor parte de la columna de agua cercana a los 100% (Anexo 3, Fig. 95). Se observaron valores más altos en la est. C1a 30m de profundidad. Esta tendencia a un máximo de oxígeno a 30m de profundidadse repitió en la est. C2 con valores de 11,37 mg/L. En general se observó un leve aumento en el oxígeno disuelto hasta los 30m de profundidad, seguido por una disminución gradual de los valores de oxígeno disuelto hasta el fondo, encontrando saturación completa de oxígeno hasta los

80m de profundidad. A profundidades mayores se observó una disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto hasta alcanzar valores de 9,69 mg/L (C1) y 10,41 mg/L (C2) con una leve subsaturación de oxígeno del 87% sobre el fondo de la estación C1 a 300m de profundidad (Anexo 3, Fig. 95).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 10,71 - 11,32 mg/L y para la saturación de oxígeno entre 97 - 107% (Fig. 96).

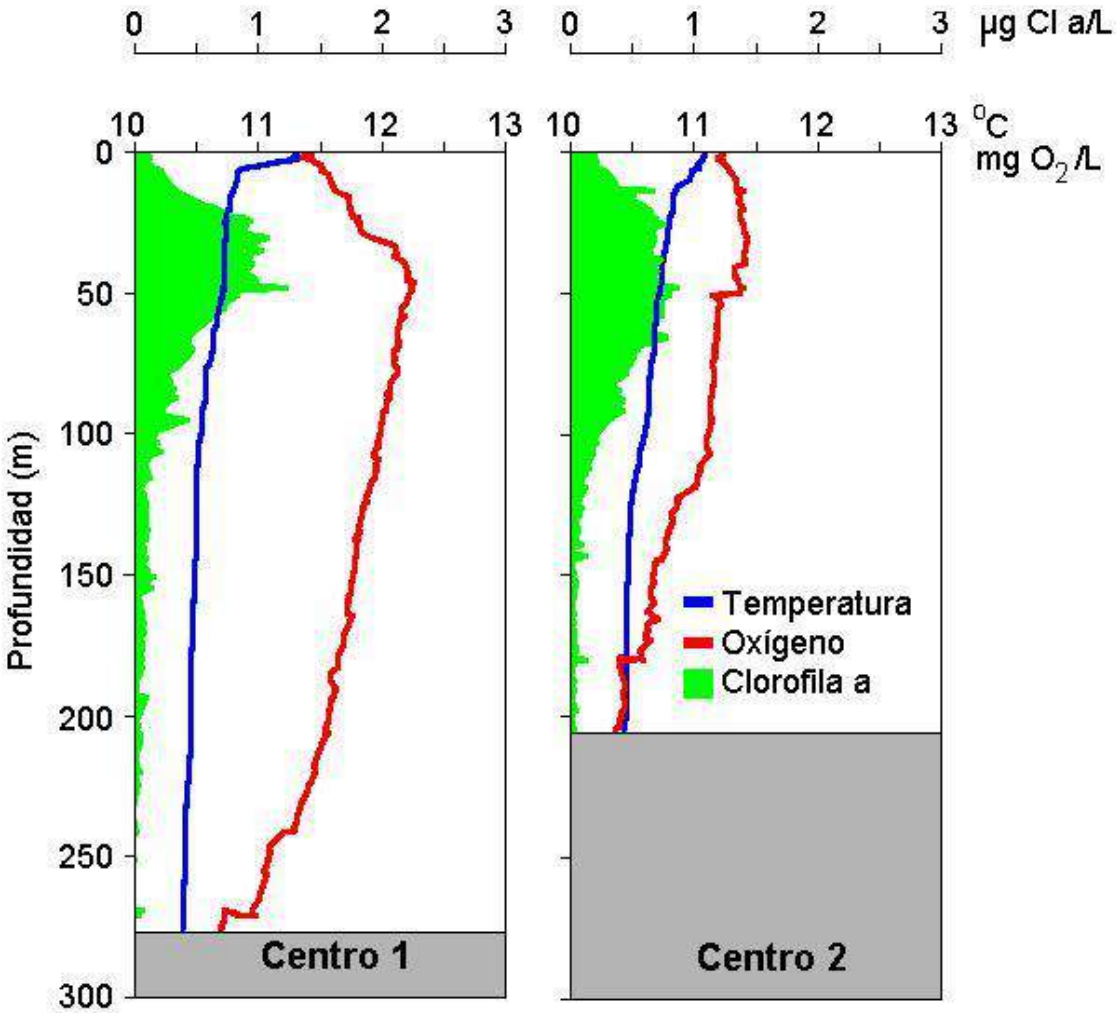


Fig. 95 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en las estaciones de referencia en el lago Llanquihue

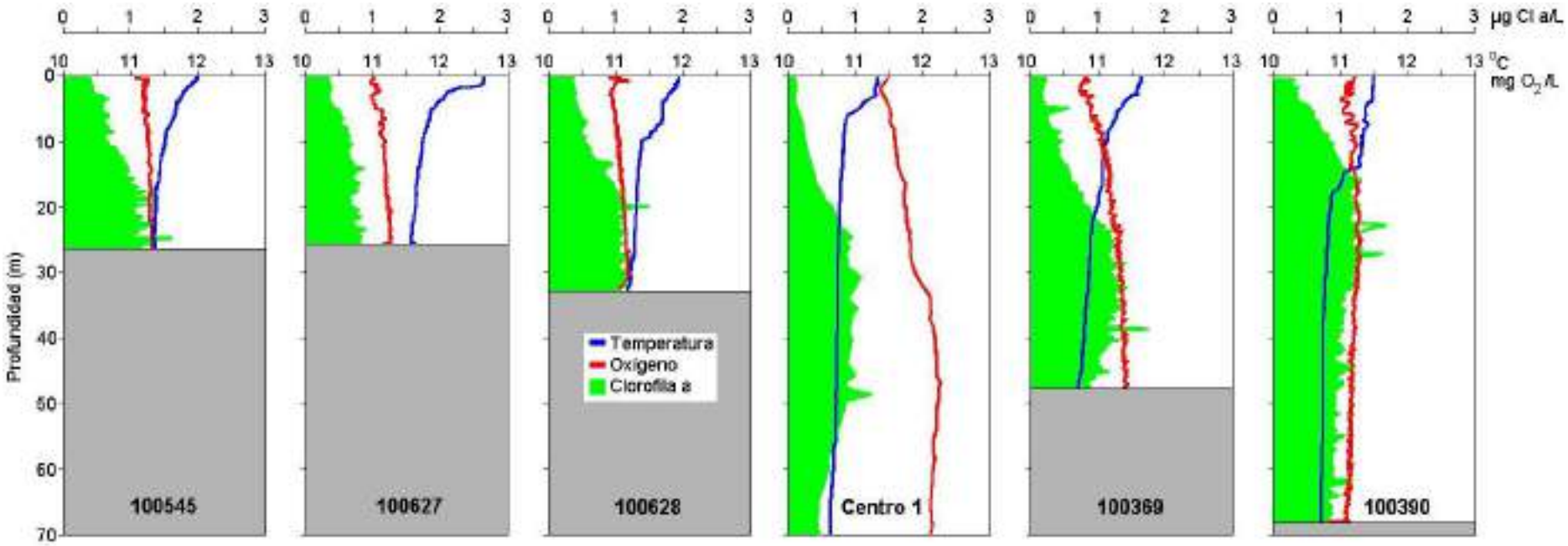
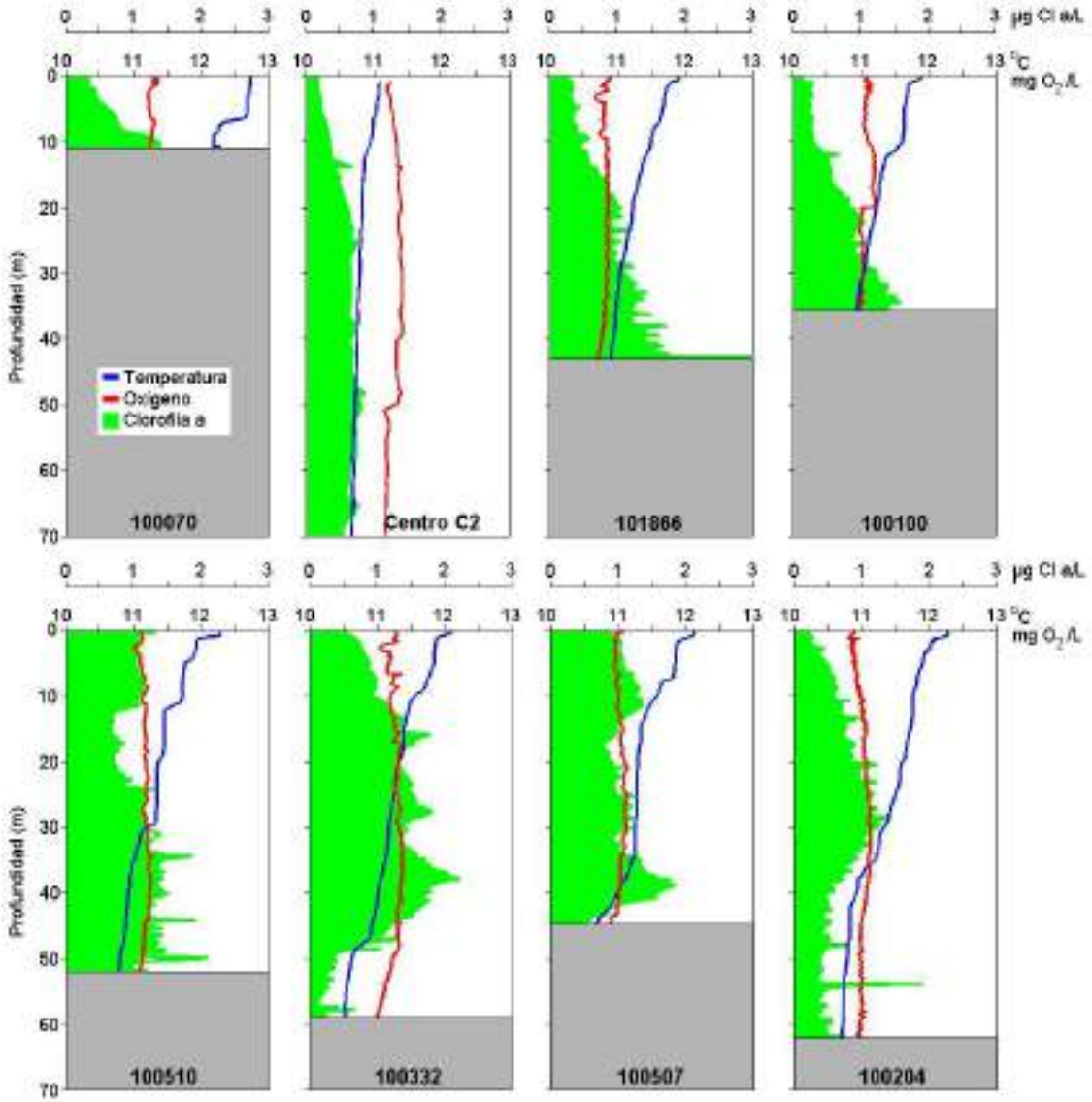


Fig. 96 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Llanquihue.



Continuación figura 96

La distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó una tendencia variada, observándose generalmente un aumento subsuperficial para las concesiones Bahía Ensenada (100370), Bahía el Volcan (100390), Maiten (100332), Maiten A (100510), Playa Maqui (100507), Rincones (100204), Pto. Octay (100545), Montealegre (100627), Bahía Cox (100628), exceptuando las concesiones Philippi (100100), Philippi 2 (101866), Rosales (100070), donde concentración de oxígeno disuelto y la saturación correspondiente disminuyó levemente (Fig. 96, Anexo 3).

Se concluye que en general la oxigenación de la columna de agua en las estaciones correspondientes a los centros de cultivos fue muy buena. Solamente en las estaciones referenciales se encontró un leve subsaturación (85%) sobre el fondo.

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en las estaciones centrales del lago Llanquihue se observó una profundidad de disco secchi de 25m en la estación centro C1 y 17m en la est. centro C2. La zona eufótica se extendió a los 37,4m y 43,8m con un coeficiente de atenuación (kd) de 0,123 y 0,105 m^{-1} respectivamente (Tabla 58, Fig. 97).

La transparencia en la cercanía de los centros de cultivo fluctuó entre 11,5 m (centro 101866) y 22 m (centro 100628) lo que corresponde todavía a valores característicos de condiciones oligotróficas (> 10 m).

Tabla 58 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Llanquihue.
n.d.: no determinado

Estación	transparencia (m)	´= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro C1	25	4,59	37,4	0,123
Centro C2	17	16,71	43,8	0,105
100545	19	n.d.	n.d.	n.d.
100204	19	n.d.	n.d.	n.d.
100627	16	n.d.	n.d.	n.d.
100628	22	n.d.	n.d.	n.d.
100507	18	n.d.	n.d.	n.d.
100332	17	n.d.	n.d.	n.d.
100510/511	16	n.d.	n.d.	n.d.
100100	14	n.d.	n.d.	n.d.
101866	15	n.d.	n.d.	n.d.
100070	11,5	n.d.	n.d.	n.d.
100370	22	n.d.	n.d.	n.d.
100390	22	n.d.	n.d.	n.d.

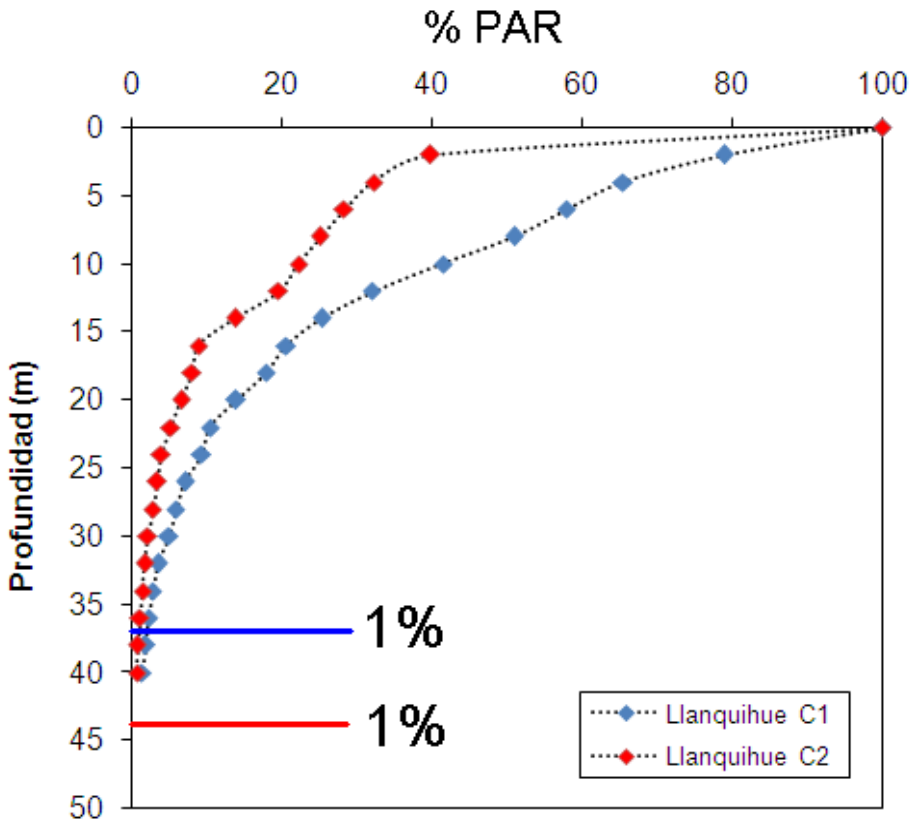


Fig. 97 Perfiles verticales de PAR y profundidad eufótica en el lago Llanquihue.

Nitrógeno

En las estaciones centrales muestreadas del lago Llanquihue las especies de nitrógeno presentaron valores bajos (Fig. 98, Anexo 3). En la estación central C1 el nitrito se mantuvo por debajo de los límite de detección (<0,002 mg N/L) El amonio presentó valores debajo el límite de detección (<0,002 mg N/L) en los primeros 20m de profundidad, y luego una cierta variabilidad con valores bajos no superando los 0,0045 mgN/L (promedio: 0,0025 ± 0,0012 mgN/L). El nitrato fue practicamente ausente en el epilimnion y aumentó recién bajo de 20 m de profundidad. Mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre <0,002 – 0,0230 mgN/L con un promedio de 0,0118 ± 0,0065 mgN/L, una sub-máximo subsuperficial a 20m (0,0104 mgN/L) y valores máximos en el fondo alcanzando los 0,0230 mgN/L. El nitrógeno total mostró una cierta variabilidad en sus valores con un rango de variación entre valores de 0,0310 – 0,0438 mgN/L y en promedio 0,0362 ± 0,0046 mgN/L. A su vez se observó que gran parte del nitrógeno contenido estuvo compuesto por nitrógeno orgánico. Los valores en general fueron muy bajos.

En la estación central C2 la distribución vertical de todas las especies de nitrógeno fueron muy similares a las encontrados en la estación C1 (Fig. 98, Anexo 3). El amonio y nitrito se mantuvieron a niveles de los límite de detección o levemente sobre este (<0,002 – 0,0024 mgN/L). El nitrato mostró valores muy bajos hasta 50 metros de profundidad, aumentando gradualmente en los estratos más profundos (<0,002 – 0,0191 mgN/L; promedio 0,0148 ± 0,0049 mgN/L). El nitrógeno total mostró un rango de variación se mantuvo entre los valores 0,0321 – 0,051 mgN/L con un promedio de 0,0437 ± 0,014 mgN/L. En esta estación de muestreo también se observó que gran parte del nitrógeno contenido se compone de nitrógeno orgánico.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos (Fig. 98, Anexo 3) mostraron todas para los parámetros amonio y nitrito valores inferiores al límite de detección (<0,002 mgN/L) o muy cerca de él, con la excepción de la est. Maiten A donde se alcanzaron valores de 0,0040 mgN/L para amonio. El nitrato mostró un rango de valores entre <0,002 a 0,0088 mgN/L y para el nitrógeno total entre 0,0258 a 0,1801 mgN/L. Los valores de nitrato y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue:

Bahía Ensenada (100370) <0,0040 mgN/L – 0,0328 ± 0,0012 mgN/L; Bahía el Volcan (100390) <0,002 mgN/L – 0,0327 ± 0,0069 mgN/L; Philippi (100100) <0,002 mgN/L – 0,0271 ± 0,0012 mgN/L; Maiten (100332) <0,0029 mgN/L – 0,0476 ± 0,0134 mgN/L; Maiten A (100510) <0,002 mgN/L – 0,0382 ± 0,0105 mgN/L; Philippi 2 (101866) <0,002 mgN/L – 0,0583 ± 0,0182 mgN/L; Rosales (100070) <0,002 mgN/L – 0,0786 ± 0,0116 mgN/L; Playa Maqui (100507) <0,002 mgN/L – 0,0936 ± 0,0761 mgN/L; Rincones (100204) <0,0053 mgN/L – 0,0336 ± 0,0073 mgN/L; Pto. Octay (100545) <0,002 mgN/L – 0,0361 ± 0,0048 mgN/L; Montealegre (100627) <0,0041 mgN/L – 0,0462 ± 0,0207 mgN/L; Bahía Cox (100628) <0,0088 mgN/L – 0,0557 ± 0,0266 mgN/L.

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, nitrato, amonio entre las estaciones de referencia (C1 y C2) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Llanquihue. Para el nitrógeno total se encontraron valores elevados en las estaciones Philippi 2, Pto. Rosales, Playa Maqui, Montealegre y Bahía Cox, respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los puntos de muestreo de referencia (C1 y C2).

FÓSFORO

En las estaciones centrales muestreadas del lago Llanquihue las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente bajos y característicos para lagos oligotróficos (Fig. 98, 99, Anexo 3).

En la estación central C1 el fósforo soluble se mantuvo por debajo del límite de detección (<0,002 mgP/L), y el fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0046 – 0,0083 mgP/L y un promedio de 0,0060 ± 0,0010 mgP/L. En la estación central C2 el fósforo soluble presentó valores bajos cercanos al límite de detección con valores máximos de 0,0027 sobre el fondo. El fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0052 – 0,0139 mgP/L y un promedio de 0,0069 ± 0,0025 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble y fósforo total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Bahía Ensenada (100370) <0,002 mgP/L – 0,0060 mgP/L

± 0,0012; Bahía el Volcan (100390) <0,002 mgP/L– 0,0057 mgP/L ± 0,0008; Philippi (100100) <0,002 mgP/L – 0,0054 mgP/L ± 0,0002; Maiten (100332) <0,002 mgP/L – 0,0057 mgP/L ± 0,0018; Maiten A (100510) <0,002 mgP/L – 0,0058 mgP/L ± 0,0009; Philippi 2 (101866)<0,002 mgP/L – 0,0051 mgP/L ± 0,0006; Rosales (100070) 0,0028 mgP/L ± 0,0009 – 0,0126 mgP/L ± 0,0020; Playa Maqui (100507) 0,0041 mgP/L – 0,0072 mgP/L ± 0,0014; Bahía Rincones (100204) 0,0026 mgP/L – 0,0057 mgP/L ± 0,0014; Pto. Octay (100545) <0,002 mgP/L – 0,0055 mgP/L ± 0,0004; Montealegre (100627) 0,0026 mgP/L ± 0,0007 – 0,0064 mgP/L ± 0,0013; Bahía Cox (100628) 0,0030 mgP/L – 0,0062 mgP/L ± 0,0011 (Anexo 3 , Fig. 99).

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de fósforo soluble y fósforo total entre las estaciones de referencia (C1 y C2) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Llanquihue, con excepción de la est. Pto. Rosales donde se encontraron valores **significativamente elevados** (Fig. 101).

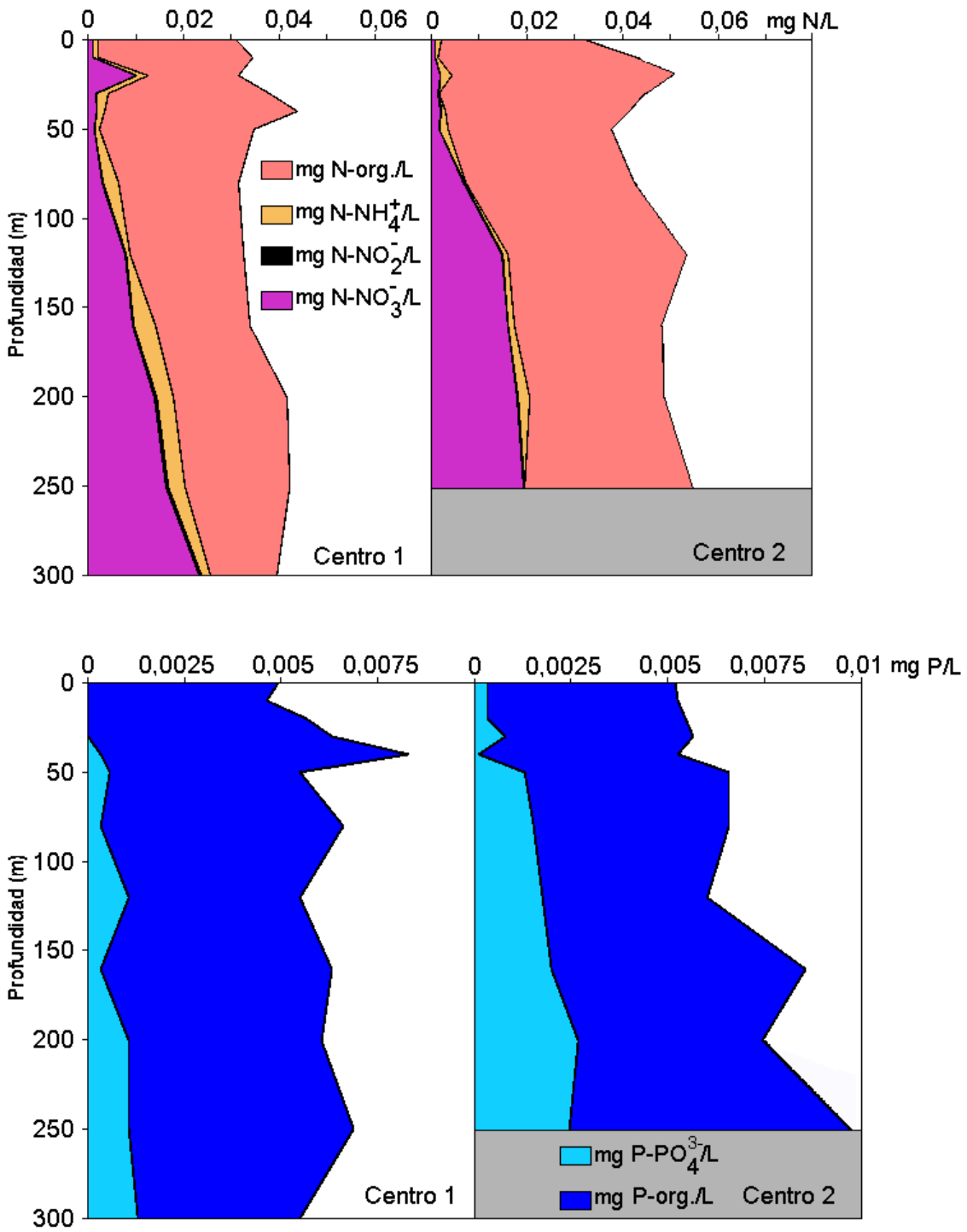


Fig. 98 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Llanquihue.

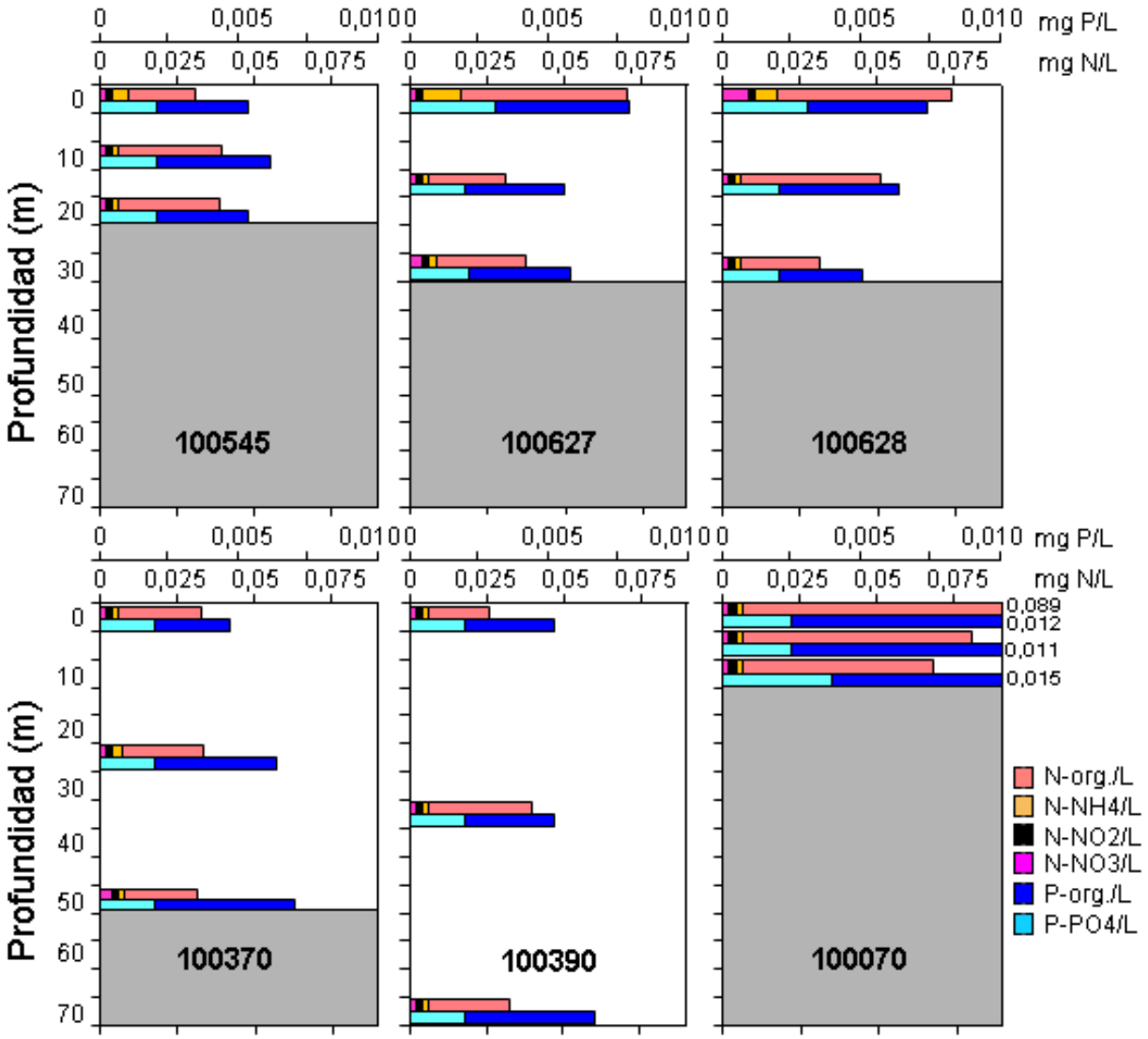


Fig. 99 Fracciones de N y P en seis estaciones muestreadas en el lago Llanquihue.

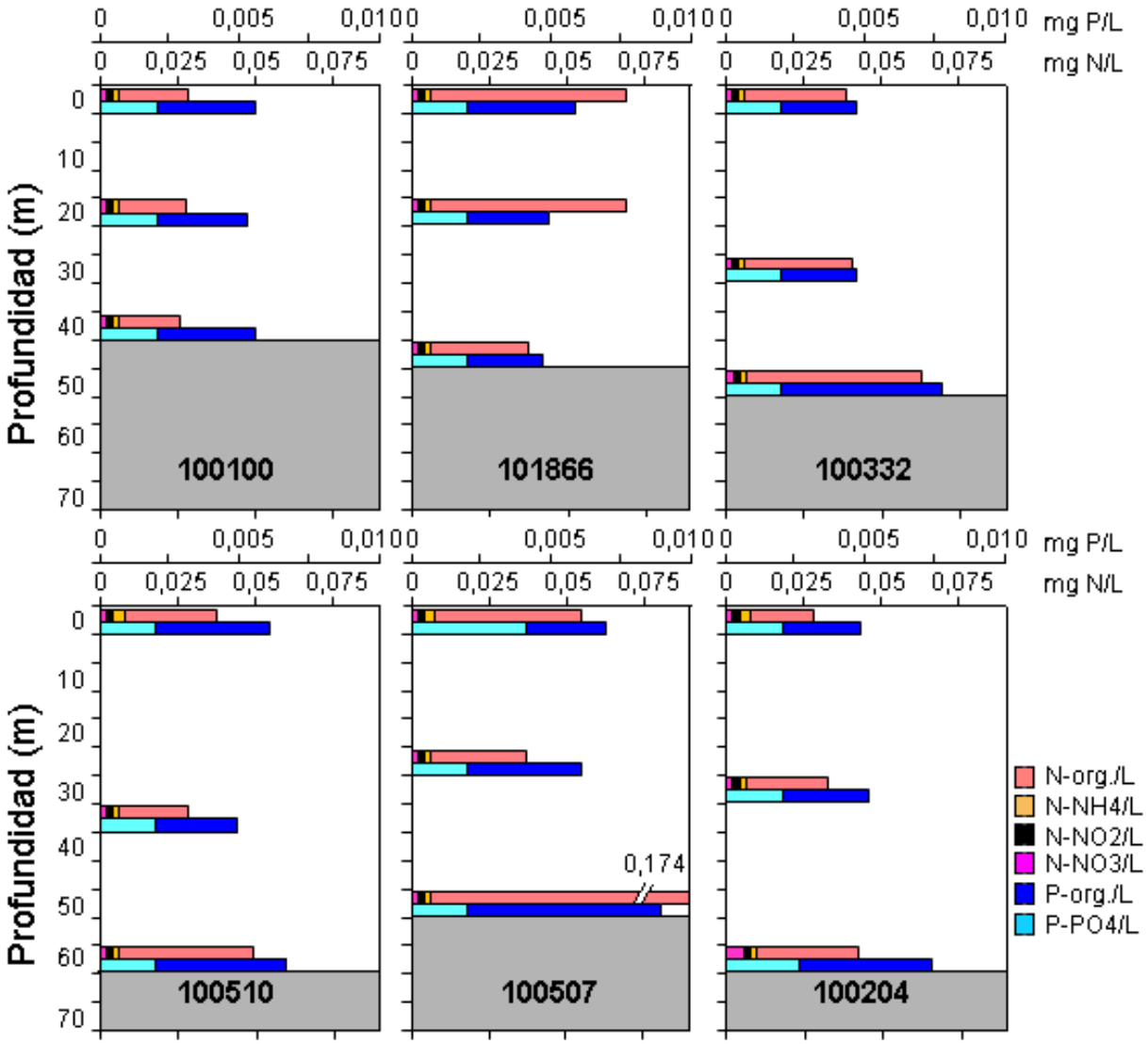


Fig. 100 Cont. Fracciones de N y P en seis estaciones muestreadas en el lago Llanquihue.

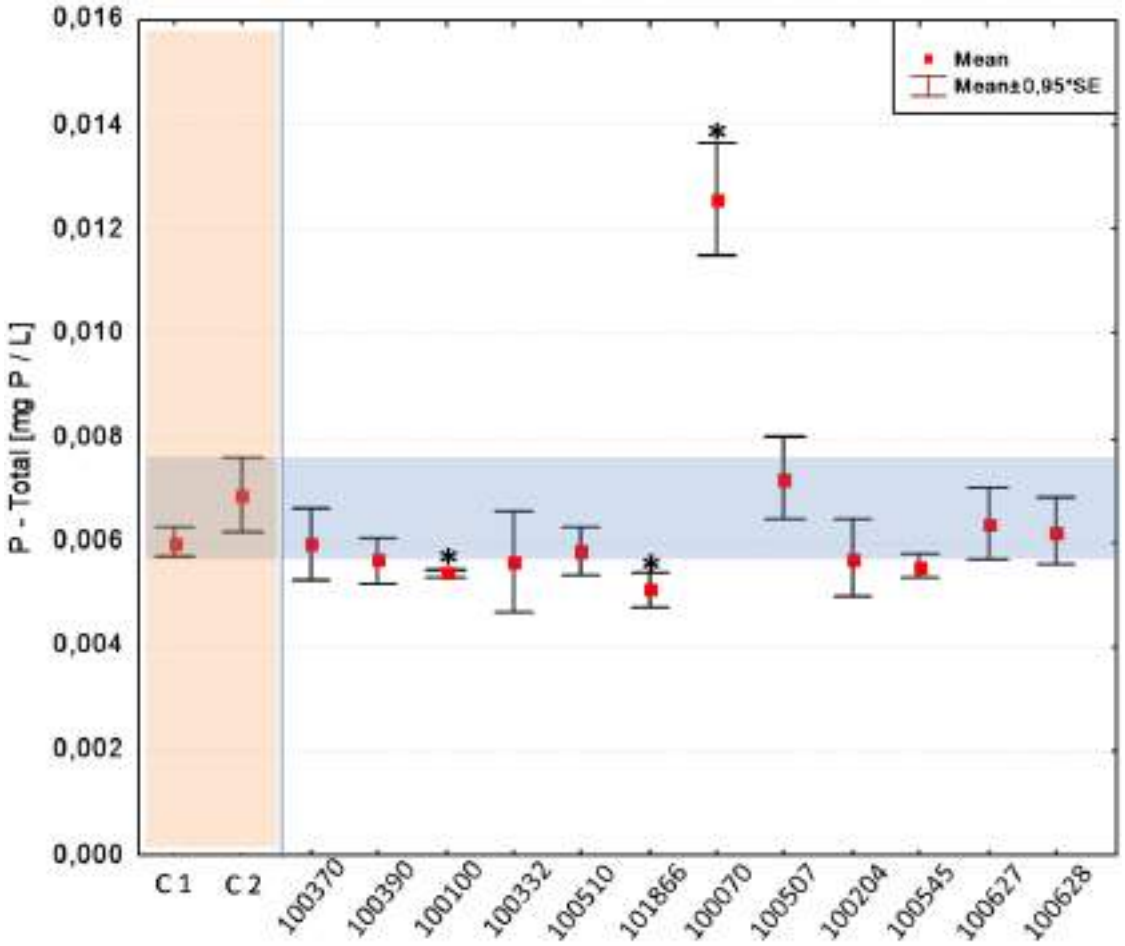


Fig. 101 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue.
Box-wiskers plot. * = diferencia significativa

3.3.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los resultados de los análisis de clorofila a para las estaciones centrales del lago Llanquihue (C1 y C2) mostraron valores bajos característicos para un lago oligotrófico, con un rango de variación entre los 0,5 – 1,0 µg/L chl a y un promedio de 0,6-0,7 µg/L chl a(Fig. 95, 102, Anexo 3).

En comparación con las estaciones centrales, las demás estaciones evidenciaron en promedio – con excepción de las estaciones 100070, 100100, 100627 – significativamente mayores (hasta 2-3 veces) concentraciones de clorofila a (Fig. 96, Fig. 101).

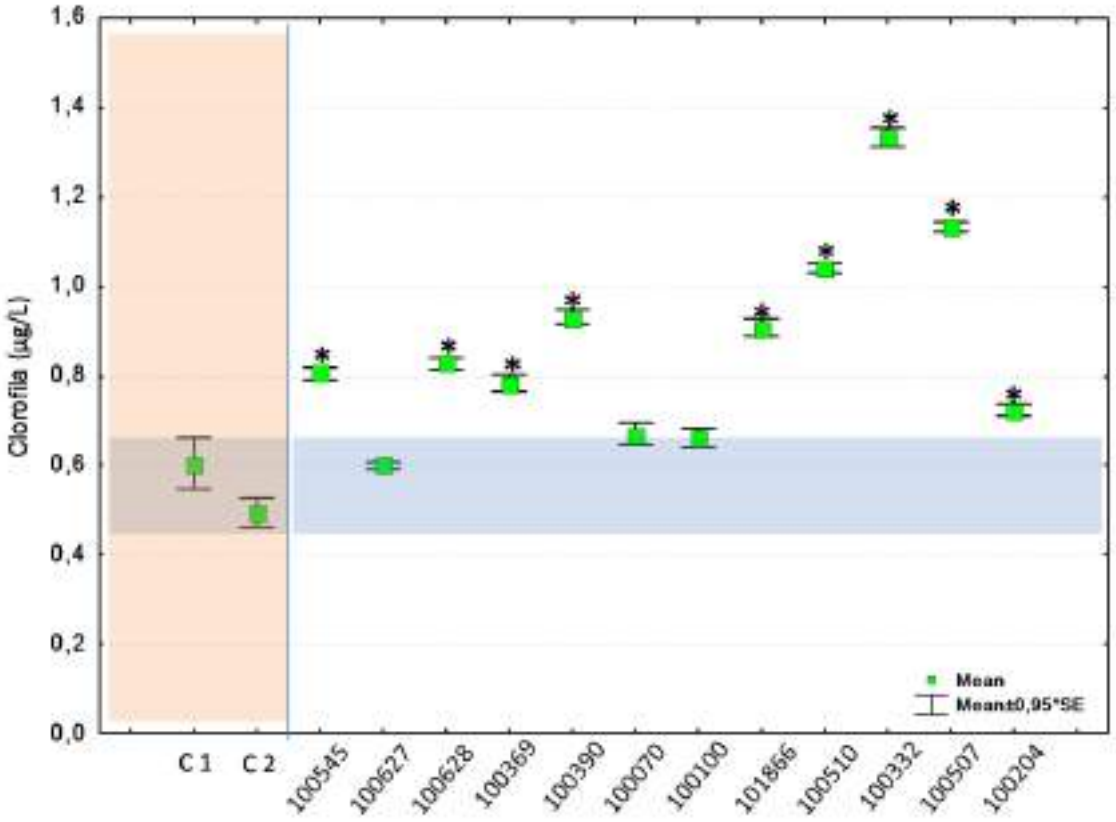


Fig. 102 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue. Box-wiskers plot. * = diferencia significativa

FITOPLANCTON

Para el Lago Llanquihue se analizaron un total de 28 muestras de fitoplancton, 14 de ellas corresponden a muestras cualitativas de red (55 um) y 14 a muestras cuantitativas. Estas muestras fueron colectadas según la metodología descrita en punto 2.3.3. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 40m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 4. Los resultados aquí presentados no contemplan el picoplancton (algas < 5 µm). La densidad celular de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo varió entre 1.54 y 8.84 E+05 cel/L, figura 103 y tabla 59. La estación de muestreo código: 100332 fue la que presentó la mayor densidad de microalgas. En total se registraron 88 especies de fitoplancton, de las cuales 43 corresponden a Diatomeas, 34 a Clorofíceas, 4 Crisofíceas, 1 Cianobacterias, 3 Criptofíceas y 3 Dinofíceas (mayor información ver Anexo 4). La estructura comunitaria de fitoplancton del lago Llanquihue se caracterizó

por la marcada dominancia de especies de clorofíceas, con abundancias entre el 45 y el 79 % de dominancia relativa, Figura 104, siendo las especies más representativas *Chlorella sp*, *Chlamydomonas* spp, *Sphaerocystis schroeteri* y *Dictyosphaerium* spp (Anexo 4). Las Criptofíceas co-dominaron el fitoplancton de este lago, siendo esencialmente representado por *Rhodomona minuta* con abundancias que fluctuaron entre un 19 y 52 %, Figura 103 y Tabla 59. Las diatomeas en este ambiente estuvieron mayoritariamente representadas por *Cyclotella ocellata*, mientras que las *Mallomonas* spp. fueron las dominantes para el grupo de las Crisofíceas. Tanto las diatomeas como las crisofíceas presentaron una baja densidad celular. Las Dinofíceas estuvieron pobremente representadas al igual que las cianobacterias. De hecho se registró una sola especie colonial de cianobacteria, *Aphanothece* sp, en la estación 100628 con valores de abundancia relativa menores al 0.1 %.

En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Llanquihue.

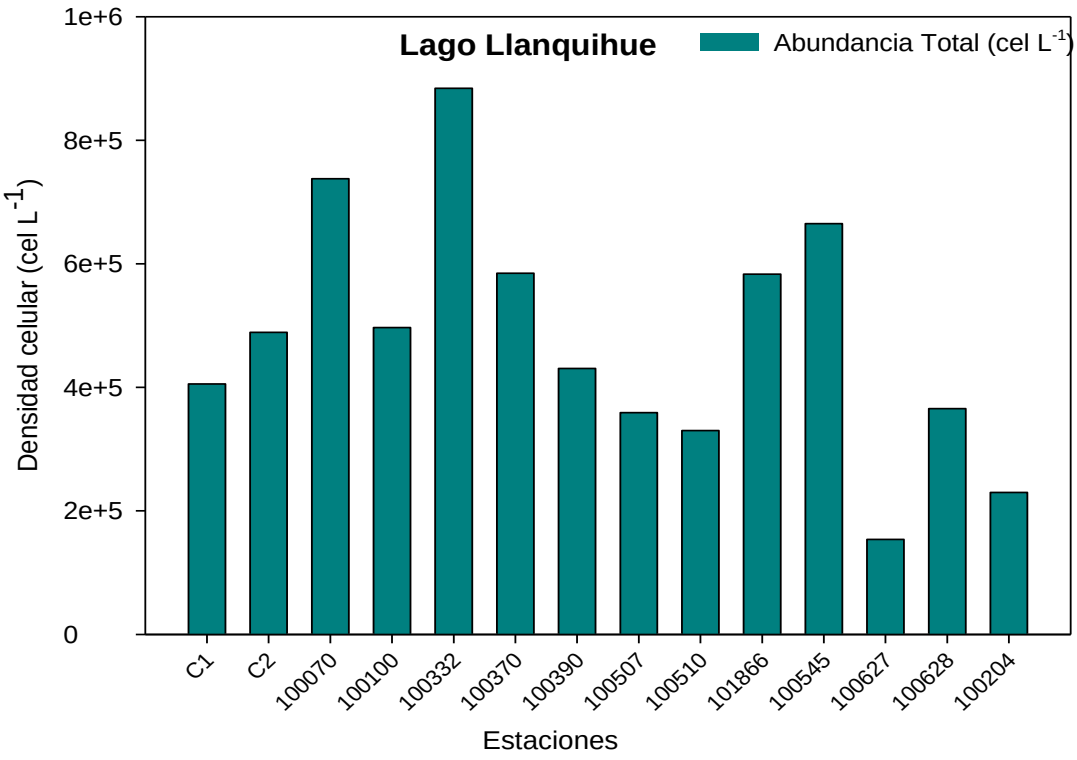


Fig. 103 Densidad celular de microalgas registradas en las 14 estaciones de muestro pelágico del lago Llanquihue.

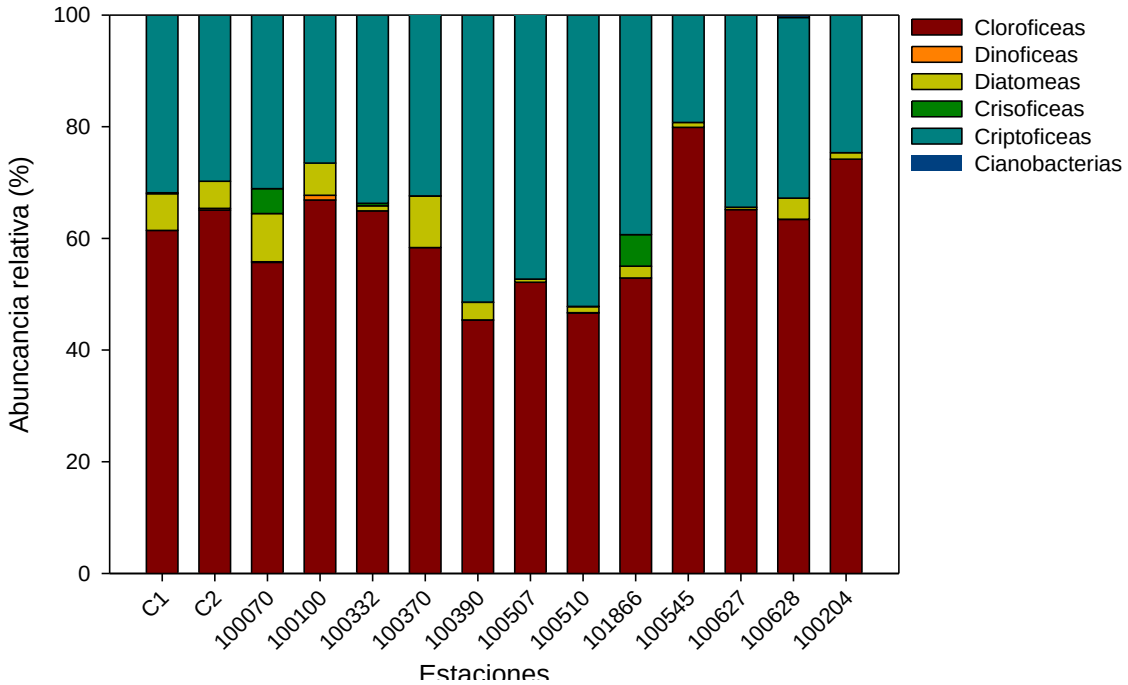


Fig. 104 Abundancia relativa de los principales grupos de microalgas registradas en las 14 estaciones del lago Llanquihue.

La comunidad de fitoplancton del lago Llanquihue, como ya se mencionó, estuvo dominada en términos de abundancia por algas del grupo de las Clorofíceas. La dominancia de este grupo de microalgas por sobre las diatomeas, y en general por sobre todos los grupos de fitoplancton sugiere fuertemente que en el lago Llanquihue los compuestos de nitrógeno disueltos en el agua no son limitantes, en cuanto a nutrientes, para el desarrollo de las microalgas durante el periodo de muestreo.

No se registran cambios importantes en composición florística del fitoplancton en las distintas partes del lago. En términos generales las características del fitoplancton del lago Llanquihue fueron bastante homogéneas.

Tabla 59 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 14 estaciones de muestreo del lago Llanquihue.

Lago	Llanquihue							
Estacion	***C1***	***C2***	***100070***	***100100***	***100332***	***100370***	***100390***	***100507***
Densidad Total (cel/L)	4.06E+05	4.89E+05	7.38E+05	4.97E+05	8.84E+05	5.85E+05	4.31E+05	3.59E+05
Grupo	%	%	%	%	%	%	%	%
Clorofíceas	61.4	65.1	55.7	66.9	64.9	58.3	45.4	52.1
Dinofíceas	0.0	0.3	0.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Diatomeas	6.6	4.8	8.6	5.8	0.9	9.2	3.2	0.6
Crisofíceas	0.2	0.0	4.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
Criptofíceas	31.8	29.8	31.1	26.5	33.7	32.4	51.4	47.3
Cianobacterias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Lago	Llanquihue					
Estacion	***100510***	***101866***	***100545***	***100627***	***100628***	***100204***
Densidad Total (cel/L)	3.30E+05	5.83E+05	6.65E+05	1.54E+05	3.66E+05	2.30E+05
Grupo	%	%	%	%	%	%
Clorofíceas	46.6	52.9	79.9	65.2	63.4	74.2
Dinofíceas	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diatomeas	1.1	2.1	0.9	0.4	3.8	1.2
Crisofíceas	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Criptofíceas	52.2	39.3	19.2	34.4	32.3	24.6
Cianobacterias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0

ZOOPLANCTON

Para el Lago Llanquihue se analizaron un total de 14 muestras cuantitativas de zooplancton. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 60m de profundidad para cada una de las estaciones pelágicas y entre 0 a 30m o 60m de profundidad en las estaciones de muestreo cercanas a los centros de cultivos dependiendo de la profundidad máxima registrada. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 5 géneros representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Diaptomus diabolicus*, y *Mesocyclops* sp.) y a cladoceros (*Daphnia* sp., *Neobosmina chilensis* y *Ceriodaphnia dubia*). Se observa una gran variabilidad en el reporte de abundancias entre los dos control respecto de los sitios en estudio (Fig. 105, Tabla 60). En los sitios control el promedio de las abundancias es 81 ind/L, mientras que la mayor abundancia la encontramos en el centro 100545 donde se reportan 233,8 ind/L; al otro extremo, las menores abundancias corresponden al centro 100100 y 101866 con aprox. 6 ind/L.

Respecto a la dominancia de organismos, en los centros 100545 y 100070 fue mayormente representado por cladóceros, mientras que en el resto de los sitios fue de mayor importancia los estadios naupliares, con excepción de los centros 100510, 100507 y 100204 donde las mayores abundancias están representadas por copepoditos calanoideos.

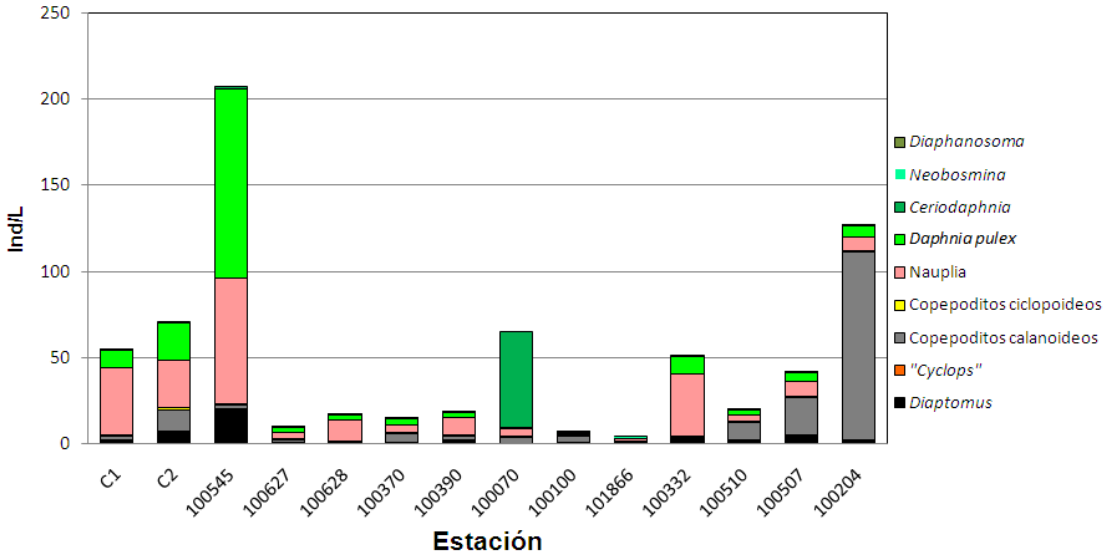


Fig. 105 Abundancia de zooplancton en el lago Llanquihue durante primavera 2012.

Tabla 60 Abundancia de microcrustáceos en el lago Llanquihue durante primavera 2012.
♂: macho ♀: hembra, H: huevos

Especies/estación		C1 09.10.12	C2 18.10.12	100545 18.10.12	100627 18.10.12	100628 18.10.12	100370 9.10.12	100390 09.10.12	100070 09.10.12
Copépodos									
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	1,23	4,76	13,16	0,24	0,06	0,25	0,93	0,10
	♀	0,35	1,73	3,76	0,13	0,06	0,10	0,61	0,00
	♀+H	0,29	0,43	3,13	0,02	0,01	0,16	0,43	0,00
Copepoditos calanoidos		12,34	38,95	28,83	1,84	2,34	2,45	12,20	2,29
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copépodos ciclopoideos									
"Mesocyclops" sp.	♂	0,00	0,14	0,21	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
	♀	0,00	0,14	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoditos ciclopoidos		0,47	1,73	0,42	0,12	0,06	0,10	1,24	0,10
Nauplia		39,37	27,41	73,33	4,17	11,82	4,14	10,07	4,77
Cladóceros									
Daphnia pulex		10,76	21,93	109,69	3,40	3,62	4,12	3,46	0,10
Neobosmina chilensis		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ceriodaphnia dubia		0,18	0,58	1,25	0,09	0,05	0,12	0,05	55,48
Diaphanosoma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (Ind/L)		**65,0**	**97,8**	**233,8**	**10,0**	**18,0**	**11,4**	**29,0**	**62,8**

Continuación tabla 60

Especies/estación Copépodos		100100 09.10.12	101866 09.10.12	100332 09.10.12	100510 09.10.12	100507 09.10.12	100204 09.10.12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	0,41	0,78	1,98	1,13	1,97	0,65
	♀	0,27	0,51	1,10	0,72	1,80	0,73
	♀+H	0,34	0,35	1,04	0,31	1,14	0,45
Copepoditos calanoidos		2,09	1,59	6,11	2,04	4,30	3,76
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copépodos ciclopoideos							
"Mesocyclops" sp.	♂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	0,06
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	♀+H	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoditos ciclopoidos		0,06	0,04	0,05	0,07	0,35	0,24
Nauplia		1,09	1,16	36,61	3,76	8,77	8,29
Cladóceros							
Daphnia pulex		1,36	0,45	10,19	3,54	5,87	7,15
Neobosmina chilensis		0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Ceriodaphnia dubia		0,02	0,82	0,26	0,03	0,09	0,11
Diaphanosoma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (Ind/L)		**5,6**	**5,8**	**57,4**	**11,6**	**24,4**	**21,5**

3.3.6.3 Sedimento

En el lago Llanquihue se muestrearon 13 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo Bahía Domeyko, Maitén A (100510), Bahía Domeyko, Maitén B (100511), Bahía Domeyko, Maitén C (100332), Bahía Cox (100628), Bahía Ensenada (100370), Bahía Rincones (100204), Bahía Volcán (100390), Monte Alegre (100627), Puerto Phillipi 1 (100100), Puerto Phillipi 2 (101866), Playa Maqui (100507), Puerto Octay (100545) y Puerto Rosales (100070). En la tabla 61 se presentan los resultados sobre el análisis granulométrico:

En las estaciones cercanas al Centro Bahía Domeyco, Maitén A, predominó la fracción fango, especialmente en la estación 1 donde representó el 55 % de la muestra, acompañada en menor proporción la grava (11 %). En la estación 2 el fango contribuyó con el 20 % y donde fue más importante el aporte de la arena muy fina con el 58 %.

En la estación 1 del centro Bahía Domeyco, Maitén B, predominó la fracción fango, siendo su contribución al valor total de 65 %, en tanto que en las estaciones 2 y 3 fue más importante el aporte de la arena muy fina con el 20 y 36 %, respectivamente .

De igual manera, en la estación 1 del Centro Bahía Domeyco, Maitén C, predominó la fracción fango con una contribución del 59 %, siendo también importante el aporte de la arena muy fina con el 26 %. En la estación 2 dominó la arena muy fina (20 %) , al igual que en la estación 3 donde representó un 36 % del total.

En el centro Bahía Cox destacó la participación de las fracciones finas, donde el fango fluctuó entre 30 % (estación 1) y 18 % (estación 2), y las arenas fina y muy fina que presentaron su mayor aporte (31 y 29 %, respectivamente) en las estaciones 2 y 3.

En el centro Bahía Ensenada se observó un gran aporte de la fracción grava, especialmente en la estación 3 (60 %) y en la estación 1 (31 %). En la estación 2 predominó la arena muy fina con el 36 %.

En el centro Bahía Rincones dominó la fracción fango en la estación 1 (63 %) y las fracción arena fina (27 %) en la estación 2 y arena media (20 %) en la estación 3.

.En el centro Bahía Volcán los mayores aportes correspondieron a la fracción fango, variando entre 41 % (estación 1) y 17 % (estación 2). También fue importante el aporte de la arena en sus distintas fracciones sedimentarias y para las tres estaciones.

Una situación parecida ocurrió en el centro Monte Alegre donde predominó la fracción fango en la estación 1 con valores por sobre el 50 %. En las estaciones 2 y 3 fue más importante el aporte de la arena muy fina con valores cercanos al 40 %.

En el centro Puerto Phillipi 1, se presentaron situaciones muy diferentes entre las tres estaciones. En la estación 1, dominó la fracción fango (69 %), en la estación 2, dominaron las arenas medias y finas (32 y 21 %, respectivamente) y en la estación 3, los mayores aportes correspondieron a la fracción arena gruesa con un 23 %.

Una situación parecida se observó en el centro Puerto Phillipi 2, donde se obtuvieron valores muy diferentes entre las tres estaciones. En las estaciones 1 dominó la fracción fango (66 %), mientras que en la estación 2, los mayores aportes correspondieron a arena muy finas con un 38 % y arena media (27 %) en la estación 3.

En el centro Playa Maqui se presentó un dominio de la fracción fango (42 %), en la estación 1, mientras que en las estaciones 2 y 3, dominó la arena media (31 %, en ambos casos).

En la estación 1 del centro Puerto Octay la fracción mejor representada fue el fango, que alcanzó al 58 %, en las estaciones 2 y 3, respectivamente, la fracción de mayor aporte fue la arena fina (34 %) y la arena muy fina (40 %).

En el centro Puerto Rosales, dominó la fracción fango (57 %), en la estación 1, mientras que los mayores aportes en las estaciones 2 y 3 correspondieron a la fracción arena muy finas (74 y 64 %, respectivamente).

La característica de los sedimentos, representada por los estadígrafos sedimentológicos, señala las principales tipologías del depósito (Tabla 62). El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena fina y muy fina, aunque en varias estaciones el tamaño medio correspondió a arenas gruesas, especialmente en el centro Ensenada.

Tabla 61 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Llanquihue.
Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Bahía Domeyco, Maitén A 100510					
Grava	-1	4 - 2	11.84	1.75	2.01
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.93	0.92	0.94
Arena gruesa	1	1 - 0,5	5.29	3.87	2.79
Arena media	2	0,5 - 0,25	8.74	7.67	10.08
Arena fina	3	0,25 - 0,125	6.75	7.78	6.87
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	9.51	58.04	12.22
Fango	5	< 0,063	54.94	19.98	65.07
Centro Bahía Domeyco, Maitén B 100511					
Grava	-1	4 - 2	2.01	12.85	2.53
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.94	5.50	0.49
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.79	8.83	2.79
Arena media	2	0,5 - 0,25	10.08	16.32	12.21
Arena fina	3	0,25 - 0,125	6.87	18.87	28.35
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	12.22	20.00	36.33
Fango	5	< 0,063	65.07	17.63	17.30
Centro Bahía Domeyco, Maitén C 100332					
Grava	-1	4 - 2	0,04	2.53	1.75
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.21	0.49	0.92
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.18	2.79	3.87
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.54	12.21	7.67
Arena fina	3	0,25 - 0,125	10.32	28.35	7.78
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	26.06	36.33	58.04
Fango	5	< 0,063	58.65	17.30	19.98

Continuación tabla 61

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Bahía Cox 100628					
Grava	-1	4 - 2	3.26	8.34	3.70
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.66	1.48	2.77
Arena gruesa	1	1 - 0,5	5.80	2.84	6.64
Arena media	2	0,5 - 0,25	19.48	8.26	19.35
Arena fina	3	0,25 - 0,125	23.51	31.92	29.87
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	15.66	29.22	17.95
Fango	5	< 0,063	29.62	17.95	19.72
Centro Bahía Ensenada 100370					
Grava	-1	4 - 2	30.94	11.42	60.27
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.40	1.70	5.93
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.69	2.39	3.00
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.53	5.37	3.84
Arena fina	3	0,25 - 0,125	11.58	24.93	4.86
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	13.91	35.70	4.88
Fango	5	< 0,063	35.96	18.48	17.23
Centro Bahía Rincones 100204					
Grava	-1	4 - 2	0.12	1.75	1.95
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.38	3.97	4.90
Arena gruesa	1	1 - 0,5	0.41	9.11	15.16
Arena media	2	0,5 - 0,25	1.38	15.79	20.48
Arena fina	3	0,25 - 0,125	8.17	27.17	18.69
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	26.81	24.61	19.98
Fango	5	< 0,063	62.73	17.59	18.83
Centro Bahía Volcán 100390					
Grava	-1	4 - 2	2.48	14.42	10.11
Arena muy gruesa	0	2 - 1	7.10	9.49	11.54
Arena gruesa	1	1 - 0,5	11.09	14.98	19.10
Arena media	2	0,5 - 0,25	17.99	15.70	17.59
Arena fina	3	0,25 - 0,125	12.83	12.04	13.03
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	73.63	16.47	9.60
Fango	5	< 0,063	40.89	16.90	19.03

Continuación tabla 61

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Monte Alegre 100627					
Grava	-1	4 - 2	1.02	8.73	1.774
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.85	2.74	4.13
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.31	3.38	8.54
Arena media	2	0,5 - 0,25	6.48	5.23	15.65
Arena fina	3	0,25 - 0,125	11.75	19.95	12.48
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	23.94	40.50	38.78
Fango	5	< 0,063	53.64	19.47	18.66
Centro Puerto Phillipi 1 100100					
Grava	-1	4 - 2	14.33	7.70	13.22
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.03	2.59	10.33
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.63	7.93	23.08
Arena media	2	0,5 - 0,25	1.18	32.98	15.79
Arena fina	3	0,25 - 0,125	2.76	21.39	7.72
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	9.25	8.48	12.99
Fango	5	< 0,063	68.83	18.91	16.88
Centro Puerto Phillipi 2 101866					
Grava	-1	4 - 2	1.48	3.95	10.83
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.08	2.34	8.55
Arena gruesa	1	1 - 0,5	4.29	4.35	20.11
Arena media	2	0,5 - 0,25	7.13	9.21	27.27
Arena fina	3	0,25 - 0,125	7.38	22.05	10.19
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	11.90	38.33	5.80
Fango	5	< 0,063	65.74	19.78	17.25
Centro Playa Maqui 100507					
Grava	-1	4 - 2	2.12	1.39	8.04
Arena muy gruesa	0	2 - 1	3.27	1.98	4.54
Arena gruesa	1	1 - 0,5	12.71	8.28	14.65
Arena media	2	0,5 - 0,25	23.03	30.62	30.78
Arena fina	3	0,25 - 0,125	9.16	23.18	16.79
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	7.04	18.37	9.16
Fango	5	< 0,063	42.67	16.17	16.04

Continuación tabla 61

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Puerto Octay 100545					
Grava	-1	4 - 2	2.20	1.978	0.24
Arena muy gruesa	0	2 - 1	1.80	1.90	0.92
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.54	3.28	2.03
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.59	15.15	12.39
Arena fina	3	0,25 - 0,125	9.51	33.59	29.70
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	23.76	25.21	40.15
Fango	5	< 0,063	57.60	18.88	14.57
Centro Puerto Rosales 100070					
Grava	-1	4 - 2	2.37	2.04	3.07
Arena muy gruesa	0	2 - 1	3.04	1.58	3.17
Arena gruesa	1	1 - 0,5	14.13	1.17	3.87
Arena media	2	0,5 - 0,25	15.95	1.59	4.54
Arena fina	3	0,25 - 0,125	3.62	3.65	8.81
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	4.08	74.15	64.15
Fango	5	< 0,063	56.80	15.81	12.38

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estándar gráfica inclusiva, mostró una alta variabilidad en la gran mayoría de las estaciones del lago, donde predominaron las arenas pobremente seleccionadas. La Asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media indicó para la mayoría de los casos, sedimentos con un moderado exceso de gruesos y muy gruesos (Tabla 62).

Tabla 62 Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: Asimetría y C: curtósis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C) en el lago Llanquihue.

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Domeiko A	1	A	4,03	1,41	-0,68	4,02	Limo muy grueso
C. Maitén A		B	2,66	2,46	-0,80	1,10	Arena fina
		C	1,95	2,07	-0,15	0,86	Arena media
	2	A	3,03	1,55	-0,47	1,66	Arena muy fina
		B	3,37	1,01	-0,27	1,85	Arena muy fina
		C	3,58	0,82	-0,09	1,86	Arena muy fina
	3	A	4,44	0,71	-0,35	2,46	Limo muy grueso
		B	4,44	0,69	-0,34	2,34	Limo muy grueso
		C	2,79	1,43	-0,24	0,89	Arena fina
Domeiko B	1	A	4,44	0,71	-0,35	2,46	Limo muy grueso
C. Maitén B		B	4,44	0,69	-0,34	2,34	Limo muy grueso
		C	2,79	1,43	-0,24	0,89	Arena fina
	2	A	1,64	2,28	-0,21	0,74	Arena media
		B	2,22	1,91	-0,19	0,97	Arena fina
		C	2,24	1,95	-0,25	0,99	Arena fina
	3	A	3,09	0,99	0,04	0,98	Arena muy fina
		B	3,01	1,12	-0,14	0,95	Arena muy fina
		C	2,81	1,59	-0,41	1,41	Arena fina
Domeiko C	1	A	4,26	0,66	-0,38	1,50	Limo muy grueso
C. Maitén C		B	4,19	0,84	-0,49	2,00	Limo muy grueso
		C	3,35	0,90	-0,13	1,24	Arena muy fina
	2	A	3,09	0,99	0,04	0,98	Arena muy fina
		B	3,01	1,12	-0,14	0,95	Arena muy fina
		C	2,81	1,59	-0,41	1,41	Arena fina
	3	A	3,03	1,55	-0,47	1,66	Arena muy fina
		B	3,37	1,01	-0,27	1,85	Arena muy fina
		C	3,58	0,82	-0,09	1,86	Arena muy fina
	1	A	2,79	1,71	-0,15	0,79	Arena fina
100628		B	2,86	1,62	-0,11	0,84	Arena fina
		C	2,78	1,39	-0,03	0,98	Arena fina
	2	A	2,82	1,65	-0,26	1,51	Arena fina
		B	3,05	1,39	-0,18	1,56	Arena muy fina
		C	2,48	1,77	-0,33	1,45	Arena fina
	3	A	2,55	1,61	-0,01	1,04	Arena fina
		B	2,66	1,51	-0,05	0,98	Arena fina
		C	2,72	1,57	-0,14	1,18	Arena fina

Continuación tabla 62

Centro		Repl.	M	S	A	C	
100370	1	A	2,28	2,51	-0,62	0,52	Arena fina
		B	2,25	2,53	-0,61	0,50	Arena fina
		C	1,46	2,45	-0,14	0,54	Arena media
	2	A	3,23	0,88	0,07	0,87	Arena muy fina
		B	1,44	2,39	-0,12	0,57	Arena media
		C	3,31	0,85	-0,08	1,08	Arena muy fina
	3	A	0,36	2,43	0,79	0,87	Arena gruesa
		B	0,46	2,47	0,77	0,55	Arena gruesa
		C	0,34	2,45	0,81	1,88	Arena gruesa
Rincones 100204	1	A	4,39	0,50	-0,23	1,25	Limo muy grueso
		B	4,41	0,53	-0,25	1,49	Limo muy grueso
		C	3,45	0,78	-0,06	1,32	Arena muy fina
	2	A	2,69	1,38	-0,05	0,90	Arena fina
		B	2,65	1,39	0,05	0,96	Arena fina
		C	2,44	1,78	-0,44	0,94	Arena fina
	3	A	1,97	1,87	0,13	0,71	Arena media
		B	2,55	1,52	-0,02	0,87	Arena fina
		C	2,64	1,38	0,05	0,82	Arena fina
100390	1	A	3,10	1,84	-0,66	0,70	Arena muy fina
		B	3,37	1,53	-0,61	0,73	Arena muy fina
		C	1,99	1,94	0,06	0,81	Arena media
	2	A	1,92	1,98	0,10	0,82	Arena media
		B	1,37	2,22	0,15	0,87	Arena media
		C	1,89	2,26	-0,54	0,68	Arena media
	3	A	1,50	2,20	0,13	0,77	Arena media
		B	1,77	2,12	0,05	0,80	Arena media
		C	1,96	1,92	0,15	0,80	Arena media
100627	1	A	4,30	0,70	-0,41	1,83	Limo muy grueso
		B	3,74	1,24	-0,60	1,05	Arena muy fina
		C	3,14	1,08	-0,29	1,26	Arena muy fina
	2	A	3,04	1,54	-0,36	1,61	Arena muy fina
		B	3,35	0,80	-0,03	1,05	Arena muy fina
		C	2,02	2,32	-0,51	0,68	Arena fina
	3	A	2,62	1,65	-0,35	0,89	Arena fina
		B	3,52	0,75	-0,06	1,50	Arena muy fina
		C	2,30	1,68	0,03	0,84	Arena fina

Continuación tabla 62

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Phillipi	1	A	4,47	0,37	-0,10	0,92	Limo muy grueso
C. Phillipi 1		B	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	0,92	2,38	0,26	0,54	Arena gruesa
	2	A	1,62	2,31	-0,12	0,92	Arena media
		B	2,33	1,47	0,37	1,15	Arena fina
		C	2,52	1,48	0,14	0,96	Arena fina
	3	A	1,41	1,98	0,49	1,71	Arena media
		B	1,77	1,94	0,11	0,99	Arena media
		C	1,81	2,38	-0,42	0,56	Arena media
Phillipi	1	A	4,44	0,59	-0,30	1,88	Limo muy grueso
C. Phillipi 2		B	4,46	0,43	-0,19	1,17	Limo muy grueso
		C	2,36	1,71	-0,25	0,93	Arena fina
	2	A	2,86	1,37	-0,10	1,15	Arena fina
		B	3,40	0,97	-0,21	1,74	Arena muy fina
		C	2,66	1,77	-0,38	1,08	Arena fina
	3	A	1,66	1,92	0,16	1,16	Arena media
		B	1,86	1,99	0,19	0,98	Arena media
		C	1,48	2,22	0,06	0,91	Arena media
Maqui	1	A	3,35	1,62	-0,67	0,68	Arena muy fina
100507		B	3,15	1,71	-0,61	0,63	Arena muy fina
		C	2,20	1,73	0,17	0,90	Arena fina
	2	A	2,87	1,35	-0,38	1,34	Arena fina
		B	2,43	1,42	0,36	0,94	Arena fina
		C	2,30	1,42	0,35	1,20	Arena fina
	3	A	1,91	1,83	0,16	1,74	Arena media
		B	2,09	2,00	-0,15	0,98	Arena fina
		C	1,92	1,68	0,14	1,04	Arena media
Octay	1	A	3,75	1,58	-0,72	3,23	Arena muy fina
100545		B	4,40	0,62	-0,30	1,82	Limo muy grueso
		C	3,26	0,88	-0,24	1,49	Arena muy fina
	2	A	2,98	1,38	-0,12	1,33	Arena fina
		B	2,84	1,17	0,05	0,92	Arena fina
		C	2,76	1,43	-0,07	1,10	Arena fina
	3	A	2,82	1,13	-0,01	0,95	Arena fina
		B	2,91	1,11	-0,17	0,96	Arena fina
		C	3,23	0,78	-0,08	1,01	Arena muy fina

Continuación tabla 62

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Rosales 100070	1	A	3,56	1,48	-0,70	1,31	Arena muy fina
		B	4,15	0,97	-0,57	2,47	Limo muy grueso
		C	1,80	1,94	0,32	1,53	Arena media
	2	A	3,53	0,61	-0,07	1,66	Arena muy fina
		B	3,53	0,92	-0,25	2,80	Arena muy fina
		C	3,56	0,87	-0,18	2,42	Arena muy fina
	3	A	3,26	1,00	-0,37	2,22	Arena muy fina
		B	2,84	1,57	-0,60	2,86	Arena fina
		C	3,21	1,08	-0,41	2,33	Arena muy fina

Tabla 63 Lago Llanquihue: Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento.
Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro		Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Bahía Domeiko	Maitén A	100510	1	20 m	8,74	Café verdoso	olor a pescado
			2	22 m	4,22	Café verdoso	olor a pescado
			3	22 m	9,12	Café verdoso	olor a pescado y H_2S
Bahía Domeiko	Maitén B	100511	1	60 m	6,93	Café plomizo	sin olor
			2	28 m	10,43	Café verdoso	olor a pescado
			3	22 m	9,12	Café verdoso	olor a pescado y H_2S
Bahía Domeiko	Maitén C	100332	1	23 m	5,47	Café plomizo	sin olor
			2	22 m	9,12	Café verdoso	olor a pescado y H_2S
			3	22 m	4,22	Café verdoso	olor a pescado
Bahía Cox		100628	1	28 m	2,48	café plomizo	sin olor
			2	17 m	2,01	plomizo	olor a pescado
			3	34 m	2,71	café	sin olor
Bahía Ensenada		100370	1	35 m	5,19	café oscuro	sin olor
			2	23 m	2,07	café plomizo	sin olor
			3	42 m	1,96	café	sin olor
Bahía Rincones		100204	1	16 m	3,92	Color verdoso	Sin olor
			2	45 m	5,30	Color verdoso	Sin olor
			3	40 m	4,48	Color verdoso	Sin olor
Bahía Volcán		100390	1	55 m	1,84	café plomizo	sin olor
			2	28 m	4,06	café plomizo	sin olor
			3	25 m	1,85	café plomizo	sin olor

Continuación tabla 63

Centro		Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Monte Alegre		100627	1	10 m	8,70	café verdoso	olor a pescado
			2	22 m	1,79	café plomizo	sin olor
			3	10 m	4,62	café	olor a pescado y H_2S
Puerto Phillipi	C. Phillipi 1	100100	1	23 m	14,60	Café verdoso	olor agua estancada
			2	28 m	2,12	Café verdoso	sin olor
			3	25 m	2,30	Café verdoso	olor a H_2S
Puerto Phillipi	C. Phillipi 2	101866	1	25 m	7,90	Café verdoso	H_2S
			2	25 m	4,60	Café verdoso	H_2S
			3	30 m	1,05	café plomizo	sin olor
Playa Maqui		100507	1	40 m	3,34	Café plomizo	sin olor
			2	28 m	12,27	Negro	H_2S
			3	24 m	1,25	Negro	H_2S y combustible
Puerto Octay		100545	1	15 m	12,05	Café oscuro	olor a pescado
			2	10 m	6,39	café verdoso	olor a pescado
			3	30 m	9,84	café verdoso	olor a pescado
Puerto Rosales		100070	1	12 m	8,94	café verdoso	olor a pescado y H_2S
			2	55 m	11,68	café verdoso	olor a pescado y H_2S
			3	11 m	16,83	café verdoso	olor a pescado y H_2S

La materia orgánica (combustibles totales), presente en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo en el Lago Llanquihue, expresada en porcentaje, se indica en la Tabla 63y la figura 106. En general, para la mayoría de las estaciones no se observaron porcentajes muy elevados de materia orgánica, aunque hubo casos mayores al 10 %. Los máximos

valores registrados correspondieron a estaciones cercanas a los centros Bahía Domeyco, Puerto Phillipi 1, Playa Maqui, Puerto Octay y Puerto Rosales, todos acompañados de un fuerte olor a pescado y H_2S .

En la figura 106 se aprecian el porcentaje de fango, materia orgánica (ambos parámetros ya fueron descrito más arriba) y el potencial de Redox, medidos en todas las bahías muestreadas. Según este último parámetro, en todas las estaciones el sedimento está sobre el límite de aceptabilidad de Eh REDOX considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. En las estaciones estudiadas, los niveles indican condiciones oxigenadas que variaron entre (130- 200 mV) para las estaciones 100627, 100507, 100070 y de (> 400 mV) en las estaciones100370, 100390.

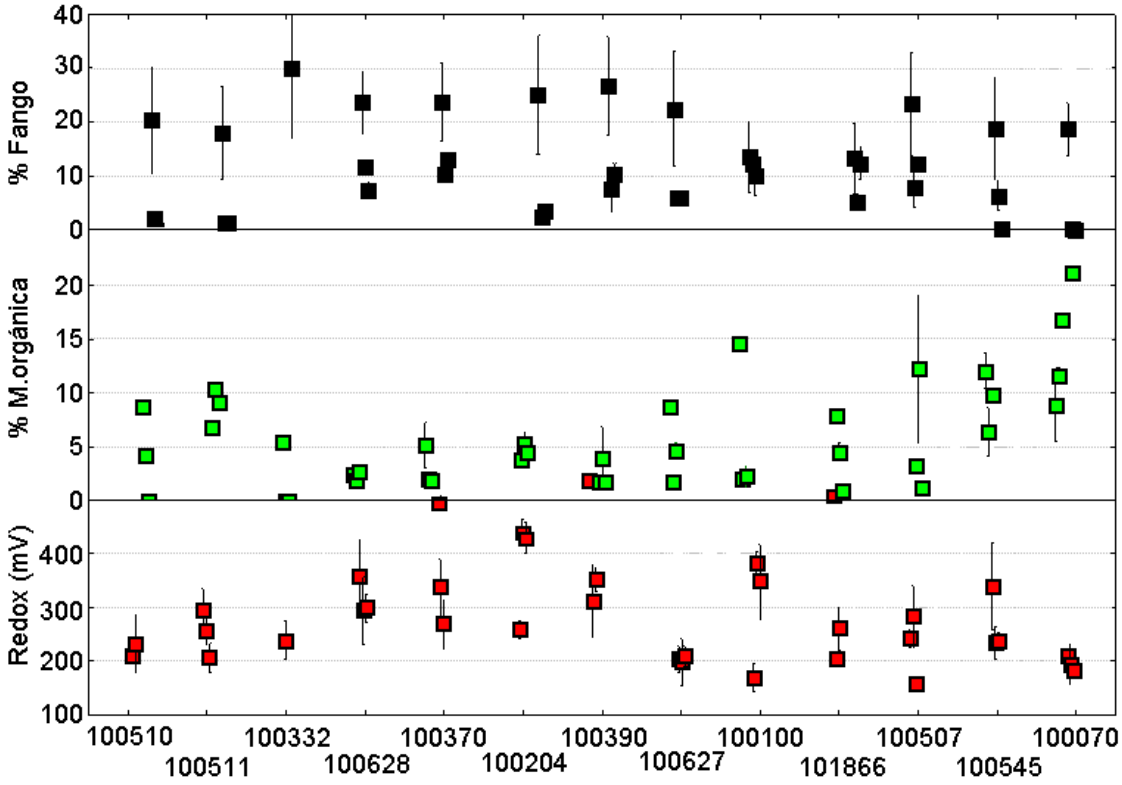


Fig. 106 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Llanquihue.

3.3.6.4 Prospección buceo

Durante la prospección de los buzos se tomaron fotos y videos de los transectos de buceo. El material visual completo se entrega en formato digital (CD) aparte. En esta sección se presentan algunas fotos seleccionadas junto a los resultados cuantitativos.

PUERTO ROSALES

Desde 2010 no existen actividades de acuicultura en Puerto Rosales. Sin embargo, una densa cama de luchecillo *Egeria densa*[11] está cubriendo completamente la línea de costa desde los 1.5 m hasta los 5 m de profundidad (Fig. 107, 108, 109). En P. Rosales la cobertura fue siempre 100 por ciento. A mayores profundidades estuvieron presentes fragmentos a la deriva de *E. densa* pero ellos no se asentaron en la profundidad, aunque la reproducción vegetativa a través de la fragmentación del talo es común en esta especie.
Invertebrados bentónicos fueron raros en la bahía, solo estuvieron presentes parches del chorito de agua dulce *Diplodon chilensis* en toda la profundidad, pero las densidades más altas fueron encontradas en aguas poco profundas, 2 m aproximadamente (Fig. 110) .

El buceo a lo largo del transecto en Puerto Rosales, indicó que el área no fue completamente limpiada después de detener el cultivo de salmones. Varios barriles, a veces completamente oxidados y bolsas plásticas industriales fueron encontrados bajo los antiguos centro de cultivo (Fig. 111).

[11] La identificación de *E. densa* fue realizado según las características mencionadas por Hauenstein (2004).

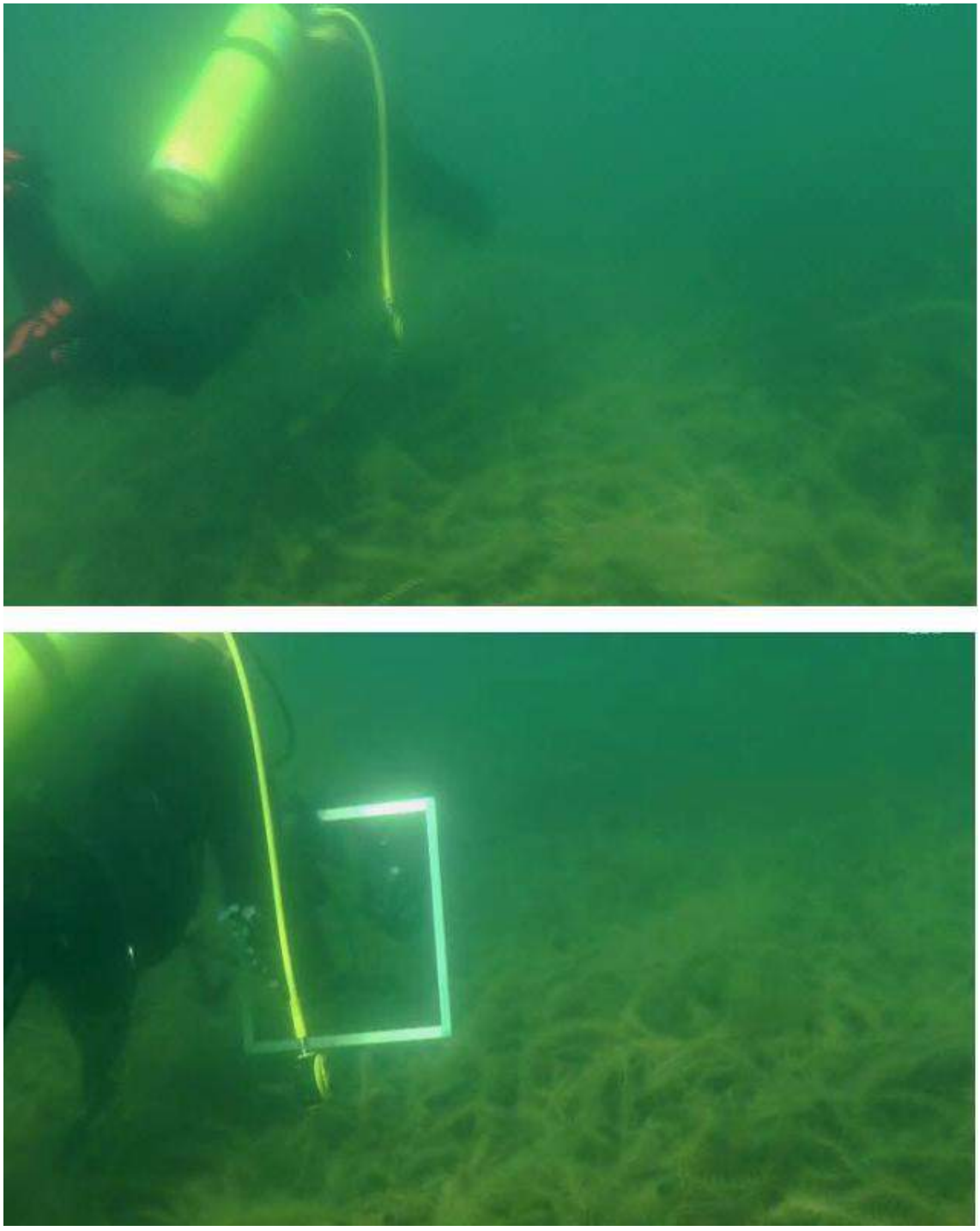


Fig. 107 Bahía Rosales: buzo midiendo extensa cobertura de *Egeria densa*

Fig. 108 *Egeria densa* Planchón encontrada en bahía Puerto Rosales, cubriendo grandes extensiones

Fig. 109 Alga verde filamentosa desarrollada sobre hojas de un individuo en descomposición de *Egeria densa*.

Fig. 110 *Diplodon chilensis* y *Egeria densa* en poca profundidad (1 m) en Puerto Rosales.

Fig. 111 Algunos ejemplos de basura encontrada en el fondo de Bahía Puerto Rosales.

CENTRO PHILLIPI II

Debido a la distancia entre la costa y la profundidad, en la cual las jaulas de salmones fueron instaladas, antes de que los centros de acuicultura fueran abandonados, no fue posible bucear directamente al Centro Phillipi II. Por lo tanto no se puede entregar información acerca de los posibles depósitos en el fondo bajo de las balsas jaulas. Solo un bloque concreto usado como anclaje fue encontrado a una profundidad de 32 m (Fig. 112).

Diplodon chilensis fue la especie dominante de la macrofauna a lo largo de todo el gradiente de profundidad (Figura 113, 114). Su abundancia varió a los 32 m entre 31 y 150 indviduos/ m^2 (69 $\pm$ 55 SD ind/m^2). Debido a la posición de los sifones de *D. chilensis,* direccionados a la columna de agua para capturar alimento, y no para el sedimento, es que se puede sugerir que el ambiente el mesotrofico (Lara, et al., 2002).

Aparte del bivalvo *D. chilensis* se encontraron esponjas (Familia Spongillidae) creciendo encima de las conchas de *D. chilensis*. Se registró un máximo de 12 colonias m^{-2}.

La vegetación cercana al antiguo centro de acuicultura Phillipi II no pudo ser estudiado en detalle, pero si se encontraron hasta profundidades de 27 m talos sobrevivientes de la hibernación de *Nitella spp* (Fig. 115).

Fig. 112 Un muerto de concreto a 32 m de profundidad en bahía Phillipi rodeado del chorito de agua dulce Diplodon chilensis.

Fig. 113 Estimación de abundancia de *Diplodon chilensis* en 32 m de profundidad en bahía Phillipi..

Fig. 114 Densas agregaciones de *Diplodon chilensis* están cubriendo el fondo de la Bahía Phillipi en profundidades entre 10 a 30 m.

Fig. 115 Especies de *Nitella* (Characeae) sobrevivientes desde el verano del 2012 a una profundidad de 27 m (Bahía Phillipi).

3.3.6.5 Correntometría

VELOCIDAD DE CORRIENTES

La Tabla siguiente muestra la estadística general de la intensidad de las corrientes registradas puntualmente en perfiles localizados en seis centros de cultivo en el lago Llanquihue.

De la totalidad de los centros de cultivo existentes en el lago Llanquihue, sólo en seis se autorizó la medición de corrientes Eulerianas en sectores asociados directamente a las balsas jaulas. Según las magnitudes de intensidad de las corrientes determinadas en estos centros, se observa un predominio de valores discretos cuyas magnitudes medias, en general, fluctúan entre 2,7 cm/s (centro 100628; Bahia Cox) y 7,5 cm/s en el centro 100370 localizado en Ensenada. Respecto de las intensidades máximas registradas, destacan Pto. Fonk y Ensenada, con valores extremos de 24 cm/s; mientras que los restantes centros registran intensidades máximas entre 8 y 17,7 cm/s.

Tabla 64 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a seis centros de cultivos existentes en el lago Llanquihue.

Códigos de Centros en lago Llanquihue						
	100507	**100204**	**100545**	**100627**	**100628**	**100370**
Estadígrafo	**Valores (cm/s)**					
Media	5,6	4,0	3,3	6,9	2,7	7,5
Max	17,7	14,9	13,0	24,2	8,0	24,9
Min	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	1,8
Mediana	4,0	7,4	2,5	6,6	2,5	8,5
Moda	2,5	4,8	2,5	2,5	2,5	2,5
Desv. Est.	3,1	3,4	2,3	2,8	1,0	5,3

En general, se evidencia en la mayoría de los centros (excepto Bahía Rincones), la partición modal es inferior a la medial, lo que pone de manifiesto, que la mayor cantidad de casos se concentra en valores inferiores a la media y que corresponden al limite inferior que el equipo puede registrar..

DIRECCIÓN DE CORRIENTES (FIG. 116-121)

El análisis de los componentes direccionales asociados al Centro de cultivos 100507 (sector Playa Maqui), permite evidenciar que en este sector, la dirección predominante de las corrientes se concentran en los cuadrantes de las componentes SSW y SSE, donde la mayor frecuencia se concentra en torno a la dirección Sur; lo que se relaciona directamente con la orientación del centro de cultivos, respecto de la boca de la bahía por la que se movilizan las masas de agua hacia el interior de la bahía. (Fig. 116).

En el sector de emplazamiento del centro N° 100204 (Bahía Rincones), se evidencia la ocurrencia de corrientes opuestas, en que la orientación más frecuente ocurre desde el cuadrante NNE y, por otro lado, con menor frecuencia se manifiestan corrientes que provienen del cuadrante SW. En general, las componentes más frecuentes de la dirección de las corrientes coinciden con el eje de orientación de la boca de la bahía (Fig. 117).

Tabla 65 Estadística básical de la Dirección de Corrientes medidas en centros de cultivo del lago Llanquihue.

Códigos de Centros en lago Llanquihue						
	100507	**100204**	**100545**	**100627**	**100628**	**100370**
Estadígrafo	**Valores (grados)**					
Media	159	172	160	140	128	253
Max	347	359	353	357	359	359
Min	33	1,0	11	3	14	1,0
Mediana	142	358	188	10	208	309
Moda	189	28	208	5	149	326
Desv. Est.	49	126	61	31	63	130

Estos antecedentes, permiten inferir la existencia de una dinámica compleja que evidenciarían el recambio de masa de agua, situación que depende de la fisiografía y los vientos predominantes.

En el centro de cultivo N° 100545 (Pto. Octay) las componentes direccionales de las corrientes se concentran mayoritariamente en el cuadrante SSE y una fracción mínima en el resto de los cuadrantes (Fig. 118). De este modo se puede inferir que las corrientes predominantes por lo general se encuentran asociadas al eje de la boca de las bahías.

En tanto que el Centro 100627 (Montealegre, Pto. Fonk), las componentes direccionales de las corrientes registran ocurrencia de casos, prácticamente en todos los cuadrantes, concentrándose las mayores frecuencias de incidencia en los cuadrantes NNE y SSE, en tanto que fracciones menores provienen de los cuadrantes NW y menos de un10% del cuadrante SW (Fig. 119).

En Bahía Cox las mediciones se realizaron en el centro de cultivo N° 100628, las componentes direccionales de las corrientes se concentran mayoritariamente en las provenientes desde los cuadrantes SE y SW, con una fracción mínima en el resto de los cuadrantes (Fig. 120). En general, se puede

establecer que las corrientes que afectan con mayor frecuencia a este el centro de cultivo provienen del Sur, situación que es coincidente con la orientación de la boca de esta bahía.

En el sector de Bahía Ensenada (centro 10370), se pudo establecer que en este sector predominan las corrientes que provienen exclusivamente del cuadrante NW y NNE, situación que tiene relación directa con fisiografía costera en sector de emplazamiento del centro de cultivo (Fig. 121).

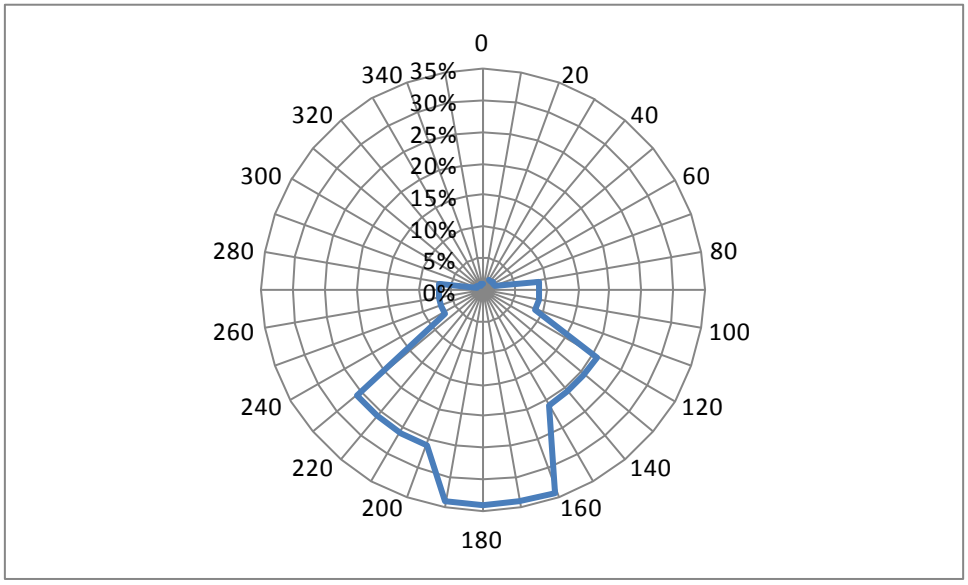


Fig. 116 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100507, ubicado en el lago Llanquihue

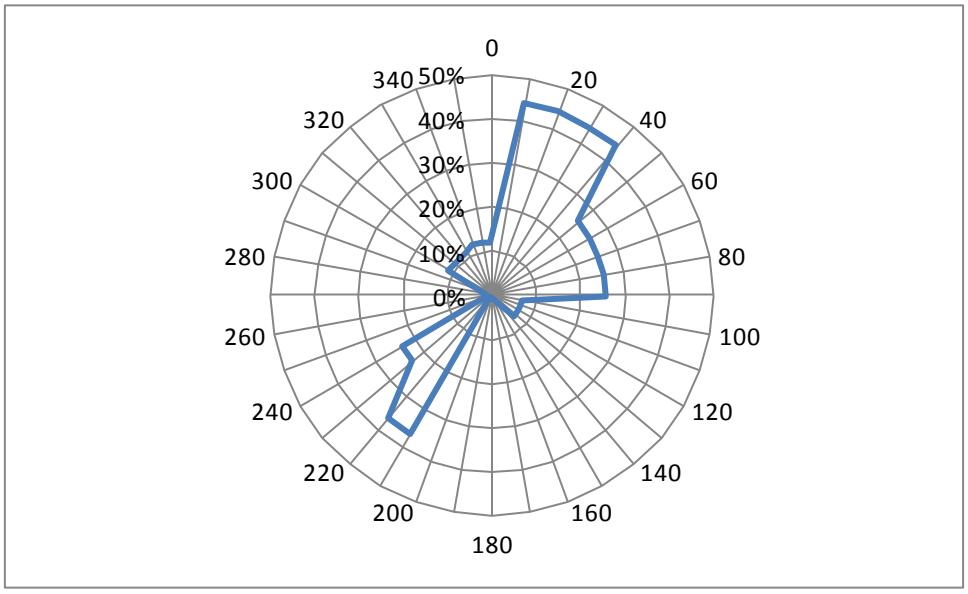


Fig. 117 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100204, ubicado en el lago Llanquihue

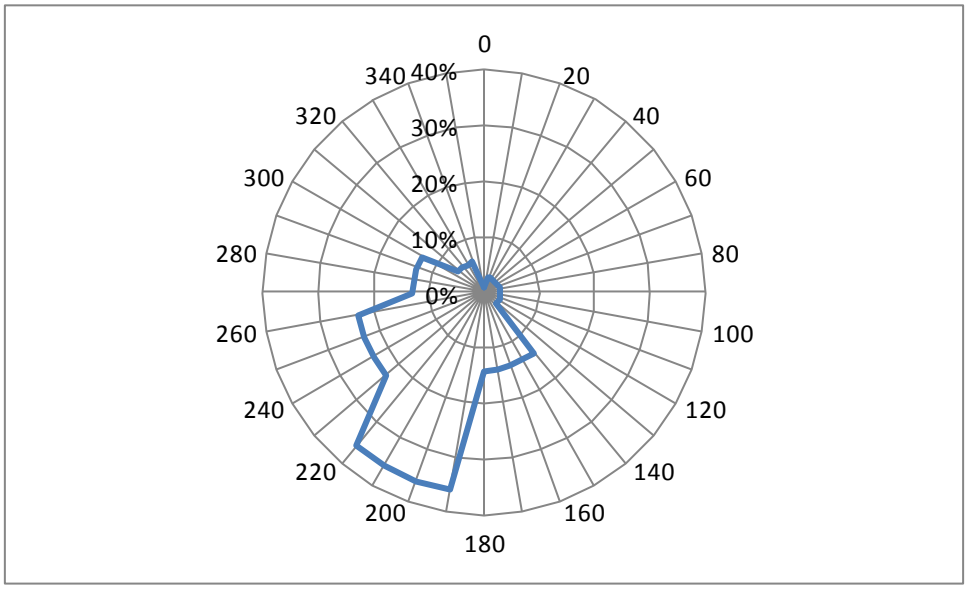


Fig. 118 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100545, ubicado en el lago Llanquihue

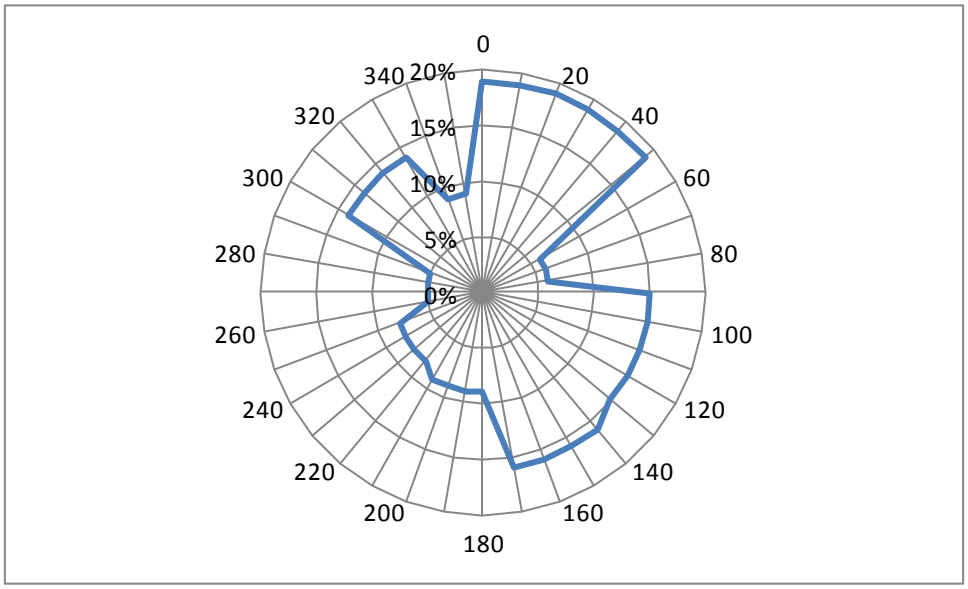


Fig. 119 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100627, ubicado en el lago Llanquihue

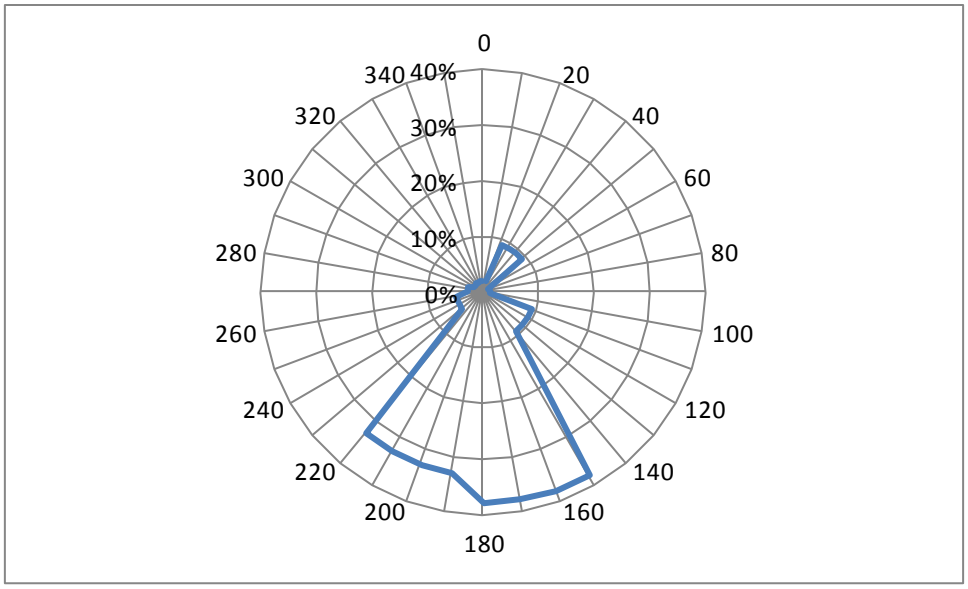


Fig. 120 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100628, ubicado en el lago Llanquihue

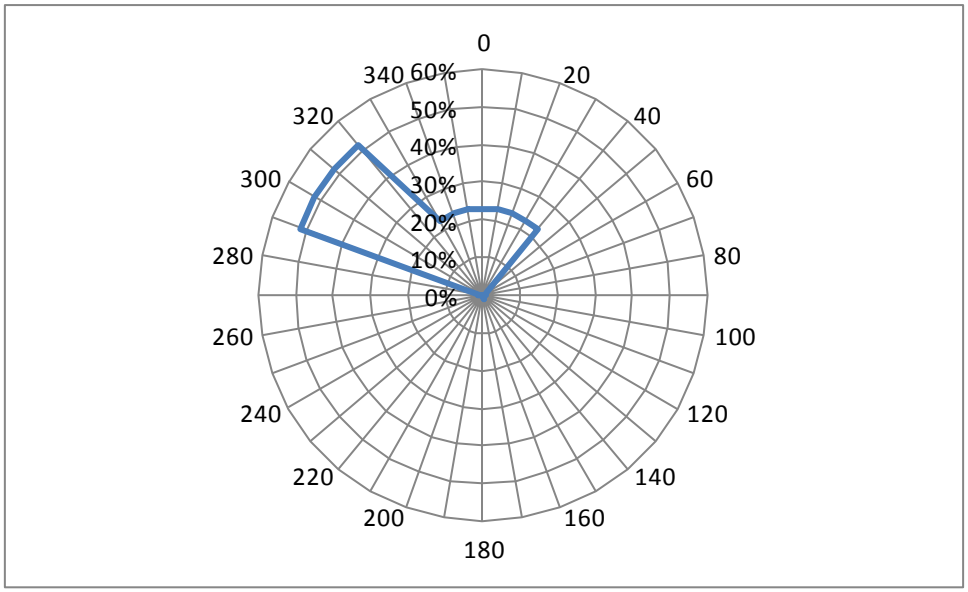


Fig. 121 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100370, ubicado en el lago Llanquihue

MEDICIONES LAGRANGIANAS (Fig. 122 – 128)

La correntometría en el lago Llanquihue se circunscribió a la determinación de las corrientes que afectan las bahías durante el período de invierno-primavera caracterizado por la homogeneidad térmica que muestran las aguas de los lagos Araucanos o Nordpatagónicos.

La correntometría Lagrangiana en el lago Llanquihue estuvo circunscrita a las bahías en donde se realizan labores de acuacultivos de acuerdo a la Propuesta Técnica (Fig. 124). Las primeras jornadas de trabajo en el lago se realizaron en condiciones meteorológicas caracterizadas por fuertes vientos del NW con velocidades superiores a los 40 km/h.

Bahía Rincones (Fig. 123): Dia 21 de diciembre. Se definió un transecto en la boca de la bahía en el que se fijaron tres estaciones, liberando en cada estación dos derivadores, uno de superficie (1 m) y otro de profundidad (15 m). Luego de una permanencia de poco más de tres horas se procedió a su recuperación. Durante su permanencia en el agua el viento soplo con intensidades crecientes entre los 18 a 22,7 km/h de velocidad máxima y de dirección NNW.

Todos los derivadores se desplazaron en la misma dirección del viento y con velocidades de entre 13 a 17 cm/s los derivadores superficiales y, entre 5,6 y 13,9 cm/s los de profundidad.

El valle en el que se encuentra la bahía Rincones encauza el viento que sopla coincidente con el eje mayor de la bahía por lo que su efecto produce una corriente de salida del agua desde la bahía que se manifiesta similar en su dirección tanto en superficie como en profundidad. Por tratarse de bahías con profundidades mayores a 50 metros en su boca podemos suponer ingresos de agua en compensación de la que sale por los estratos de agua profundos.

Bahías Phillippi y Domeyko (Fig. 124): Dia 19 de diciembre en horas de la mañana. Ambas bahías, por su cercanía, se trabajaron en conjunto. En bahía Domeyko se definió un transecto en la boca con dos estaciones y dos derivadores por estación, una superficial (1 m) y una profunda (15 m). A continuación en un transecto en la bahía Phillippi, se definieron tres estaciones con dos derivadores por estación.

Durante el desarrollo del muestreo, el viento provenía del NW y velocidades

máximas de 24,5 km/h.

Los derivadores de superficie, tanto en Domeyko como en Phillippi, se desplazaron en dirección SSW llegando algunos a la costa en las cercanías de los promontorios que limitan ambas bahías por el sur, con velocidades máximas de 30,5 cm/s. Según lo registrado con el anemómetro portátil, a bordo de la embarcación, la dirección del viento en la boca de la bahía Domeyko procedía del N y en Phillippi la dirección registrada era del NNE. Esta variación en la dirección del viento, en relación a la estación meteorológica ubicada en tierra, se explica porque el viento procedente del NW que soplaba en el momento se desvía según la dirección de la línea de costa del lago que está orientada de NE-SW de esta manera el viento, a diferencia de lo que sucedía en bahía Rincones que seguía la dirección del valle, en el caso de Domeyko y Phillippi lo hace casi en forma perpendicular al eje mayor de ambas bahías generando una corriente transversal como la descrita. Aun cuando se trata del mismo viento del NW y teniendo las bahías de Rincones, Frutillar, Domeyko y Phillippi una orientación similar, es la topografía de la costa y los valles en los que se encuentran las bahías las que determinan las variaciones en la dirección de los vientos reinantes.

Los derivadores de 15 metros de profundidad siguen la dirección hacia el sur que muestran los derivadores superficiales pero realizan una curva siguiendo el agua que sale de las bahías, variando su dirección en forma paulatina hacia el este. Las velocidades máximas que alcanzaron estos derivadores fue de 28,3 cm/s.

Bahía de Frutillar(Fig. 125): las condiciones climáticas imperantes el 19 de diciembre de 2012, cuando se trabajó en este sector no permitió desplegar un transecto según el programa inicial, sino solamente dejar dos estaciones con dos derivadores en cada una en las cercanías del centro Playa Maqui situado en la costa norte de la bahía.

Durante la operación, el viento procedía del NNW con velocidades máximas de 30,8 km/h. Las condiciones del lago fueron causa del extravío de uno de los

derivadores de superficie, posteriormente fue recuperado por personal del Centro Playa Maqui lo que fue comunicado a la Universidad Austral permitiendo su posterior recuperación. El derivador de superficie recuperado en la oportunidad alcanzó una velocidad de 14,5 cm/s. La trayectoria seguida por este derivador describe una curva suave de dirección ENE al comienzo, coincidente con la línea de costa más cercana para luego dirigirse hacia el ESE hacia el exterior de la bahía. Sin embargo, el otro derivador superficial, extraviado y recuperado más tarde, fue encontrado en la orilla cercana al Centro Playa Maqui.

Bahía Ensenada y Playa El Volcán (Fig. 126): Dia 9 de enero. Se establecieron dos transectos, el primero en la bahía Ensenada en el que se determinaron cuatro estaciones con dos derivadores en cada estación y un segundo transecto en playa El Volcán con tres estaciones en las que se liberaron un derivador por estación.

El viento reinante durante la permanencia de los derivadores en el lago fue del W con algunas variaciones en la dirección durante el día y con intensidades que fluctuaron entre 11,5 a 16,3 km/h.

Los derivadores superficiales del transecto sector Ensenada describieron una trayectoria semicircular dirigiéndose originalmente hacia el SW, modificándola paulatinamente hasta una dirección al SE al momento de su recuperación en las proximidades de la costa. A diferencia de los superficiales, los de profundidad siguieron una dirección hacia el W que se mantuvo durante su permanencia en el lago. Reacción similar a la observada en otros lagos en los que se aprecia una corriente profunda de dirección contraria y que hemos descrito como corriente de retorno, asumiendo que el agua transportada hacia el fondo de una bahía produce una corriente de reacción de compensación y en sentido contrario. Las velocidades de desplazamiento fueron moderadas con máximas de 14 cm/s, en el caso de los derivadores superficiales y de 11,4 cm/s los profundos.

En el sector playa El volcán, los dos derivadores de superficie ubicados en los extremos del transecto siguieron direcciones divergentes, el ubicado en el

sector N siguió una trayectoria hacia el norte, en cambio el ubicado en la estación S tomó una dirección hacia el E, dando la idea que el agua impulsada por el viento se abre en abanico al interior de la playa. En forma similar a Ensenada, el derivador de 15 metros toma una dirección hacia el W en reacción al movimiento de los derivadores superficiales.

Bahía Octay (Fig. 127): Dia 21 de diciembre en horas de la tarde. Se determinó un perfil en la boca de la bahía Octay en una dirección EW a partir de la punta de la península Centinela, se establecieron tres estaciones con dos derivadores por estación. Durante el muestreo el viento provenía del NNW con intensidades máximas de 28,1 km/h.
Tanto los derivadores de superficie como los de profundidad siguieron una dirección coincidente con la del viento reinante. La velocidad de los derivadores superficiales, alcanzó los 20,2 cm/s, por su parte los derivadores de profundidad alcanzaron velocidades máximas de 14,8 cm/s. Se trata de velocidades altas considerando especialmente que corresponden a la masa de agua entre 0 y 15 metros de profundidad. Uno de los derivadores de superficie se dejó en el agua, por un período de tiempo mayor para su seguimiento instrumental. Desafortunadamente, la información recogida se interrumpió -posiblemente- debido a las condiciones meteorológicas imperantes.

Bahía Cox y Playa Maitén (Pto. Fonck) (Fig. 128): Dia 20 de diciembre. En playa Cox se estableció un transecto con dos estaciones en la boca de la bahía y dos derivadores por estación, lo mismo para Playa Maitén. El viento reinante durante la operación fue del WNW con velocidades máxima de 34 km/h. La dirección del viento en la embarcación fue registrada como del W. En forma similar a otros lugares comentados, la dirección del viento sufre algunas modificaciones en su dirección debidas a la topografía de la costa y su orientación.

Los derivadores de superficie se desplazaron siguiendo la dirección del viento en el lago, su trayectoria casi rectilínea -en el caso de la bahía Cox- se mantuvo inalterable hasta las cercanías de la costa. De los derivadores de

superficie en playa Maitén, que inicialmente siguieron una dirección hacia el E de acuerdo al impulso del viento, uno de ellos al aproximarse a la punta que separa Playa Maitén de bahía Cox, alteró su dirección haciéndola paralela a la costa sobrepasando la punta para ingresar a la bahía Cox. Resulta interesante este movimiento que de acuerdo a la velocidad de las corrientes de ese día en cuestión de pocas horas, una masa de agua de playa Maitén tiene la capacidad de trasladarse hasta bahía Cox.

Las velocidades de los derivadores superficiales fluctuaron entre los 14,9 cm/s y los 32,6 cm/s, se trata de velocidades elevadas generadas por un viento de alta intensidad.

Los derivadores de profundidad en el caso de bahía Cox siguieron la dirección hacia el E coincidentes con lo mostrado por los derivadores de superficie pero con velocidades levemente menores de 24,7 cm/s. Los derivadores profundos de la bahía playa Maitén mostraron velocidades menores con una máxima de 9,4 cm/s y avanzaron en dirección hacia el N hacia el interior de la bahía.

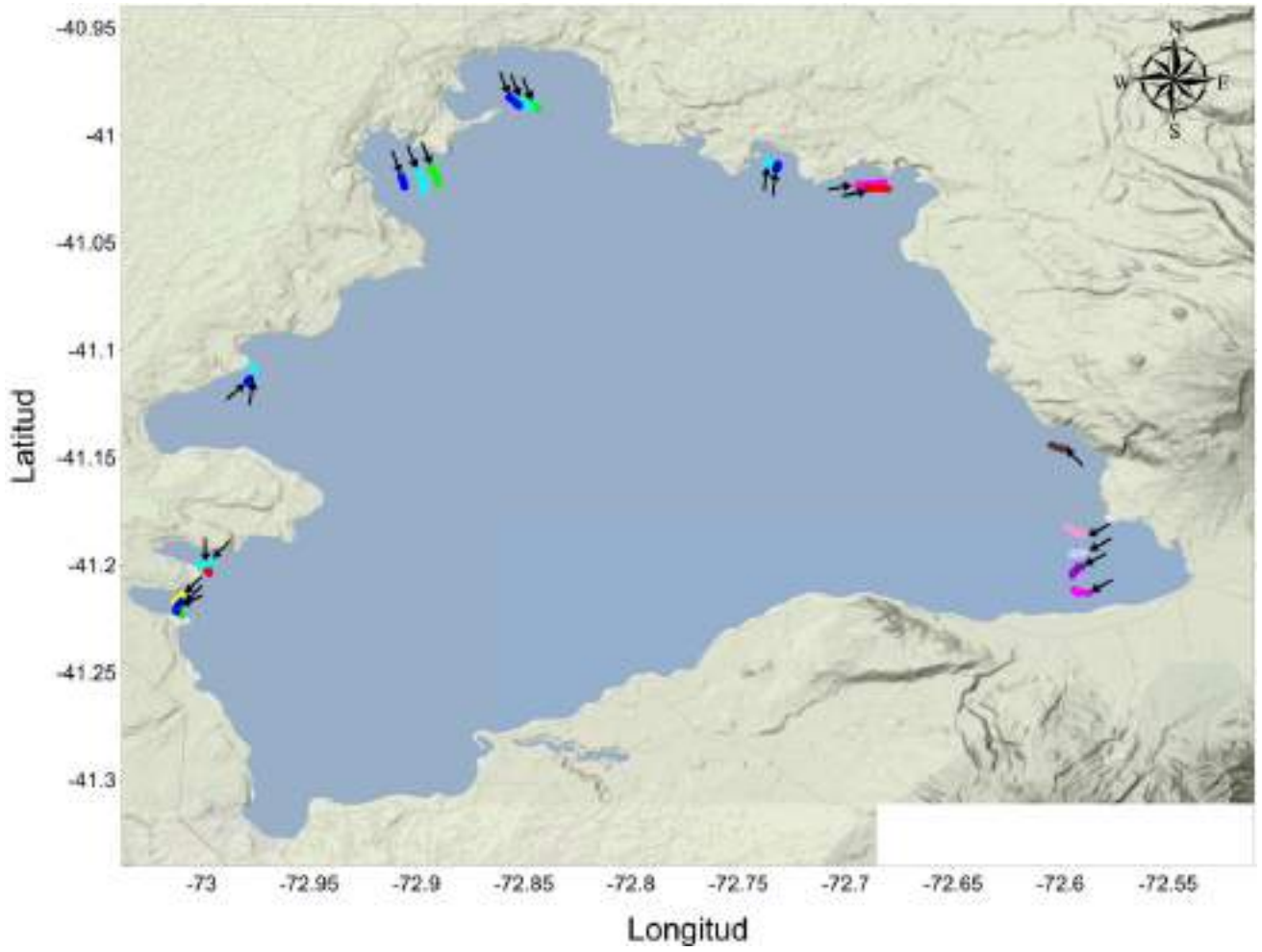


Fig. 122 Derivadores fondo en el lago Llanquihue

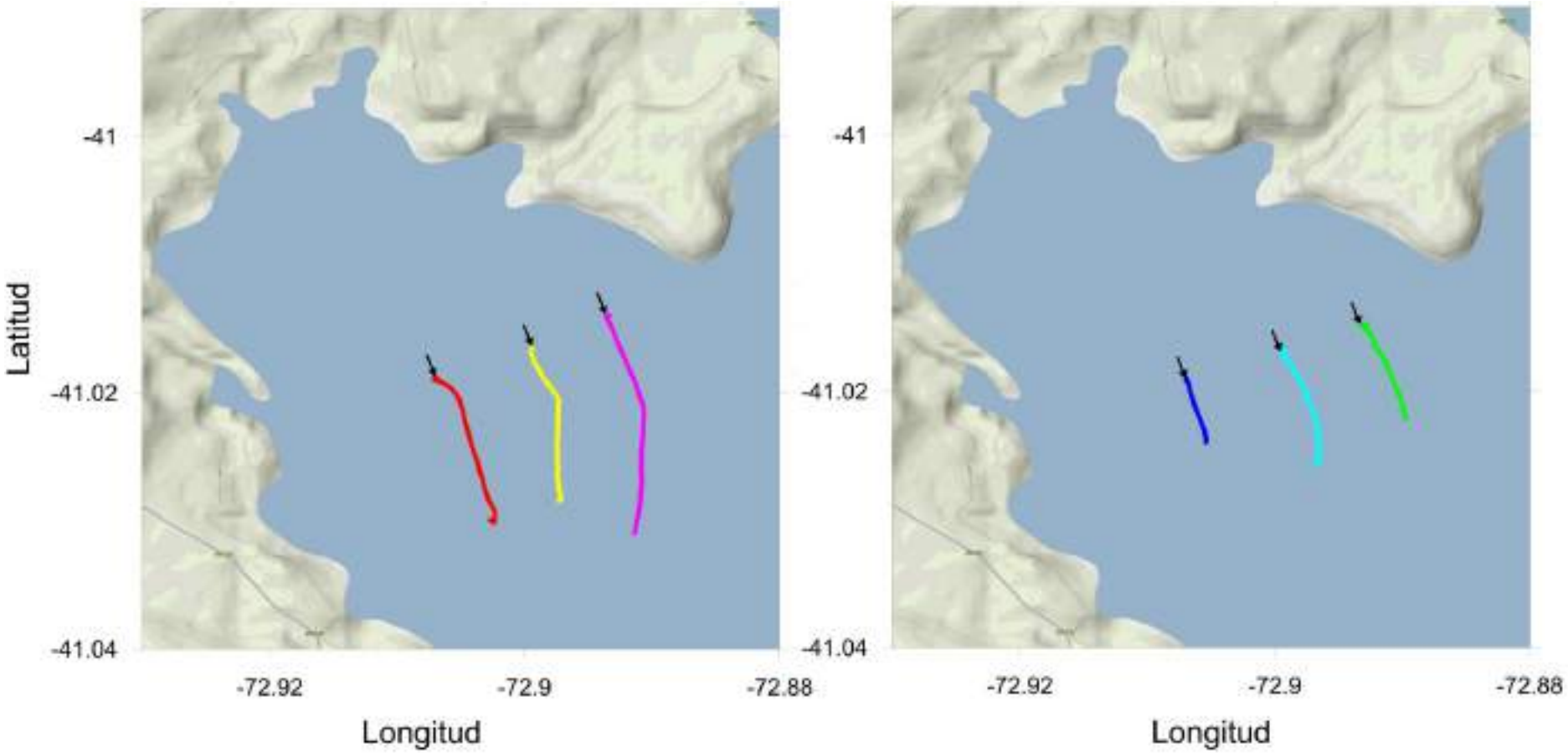


Fig. 123 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Rincones del lago Llanquihue.

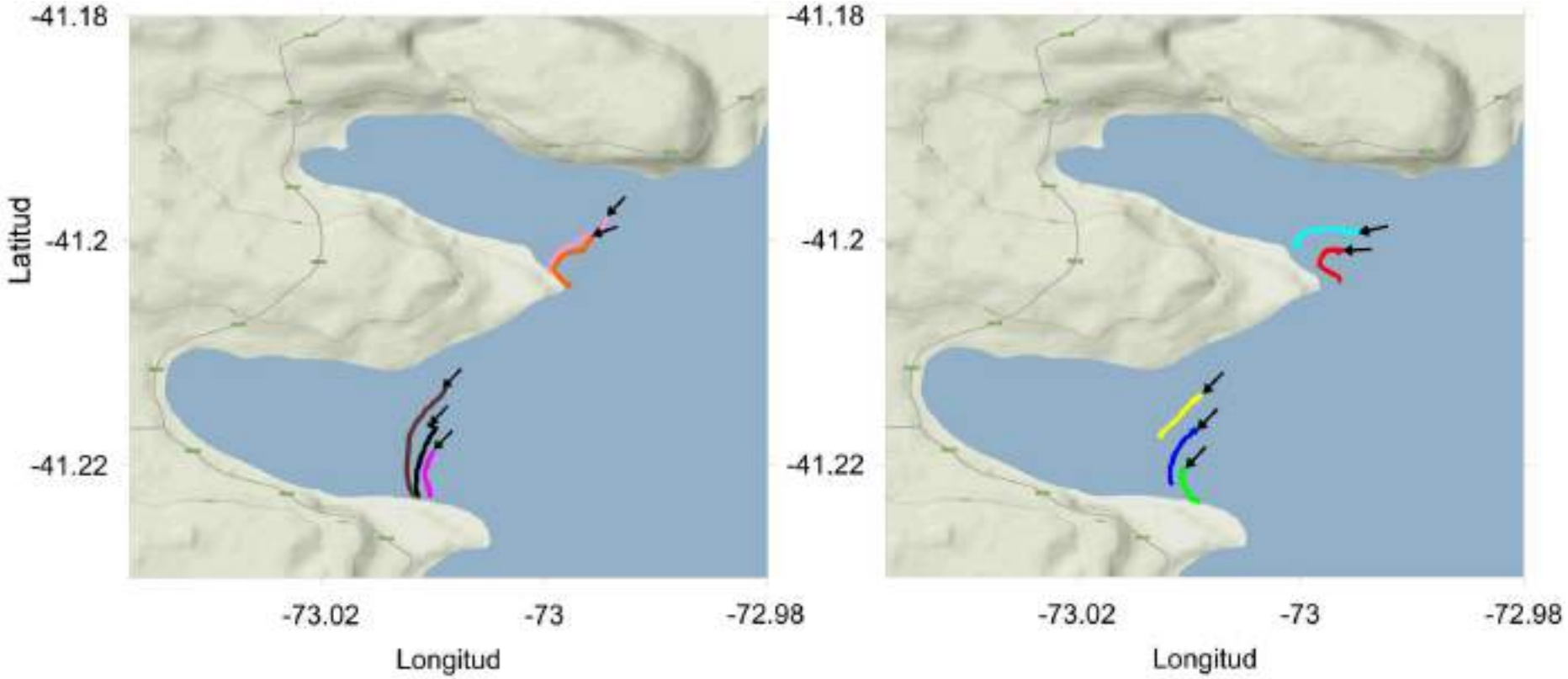


Fig. 124 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Domeyko - Philippi del lago Llanquihue

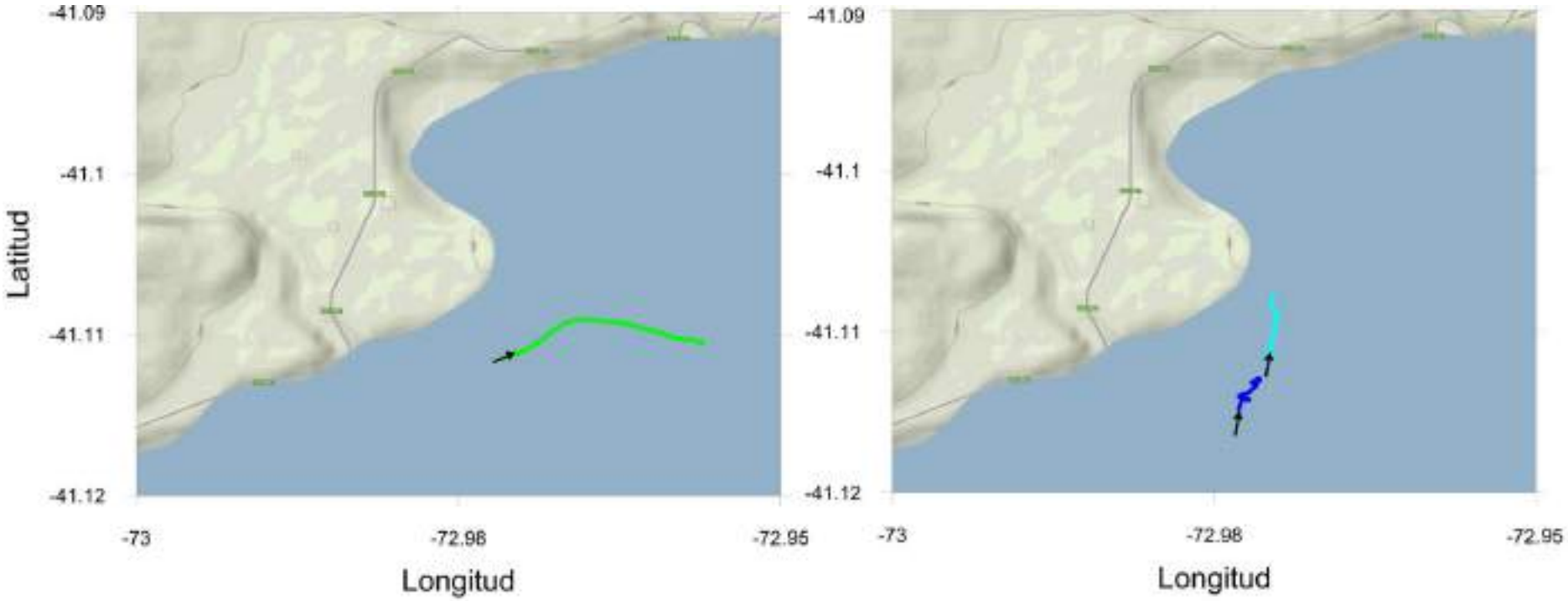


Fig. 125 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Playa Maqui del lago Llanquihue.

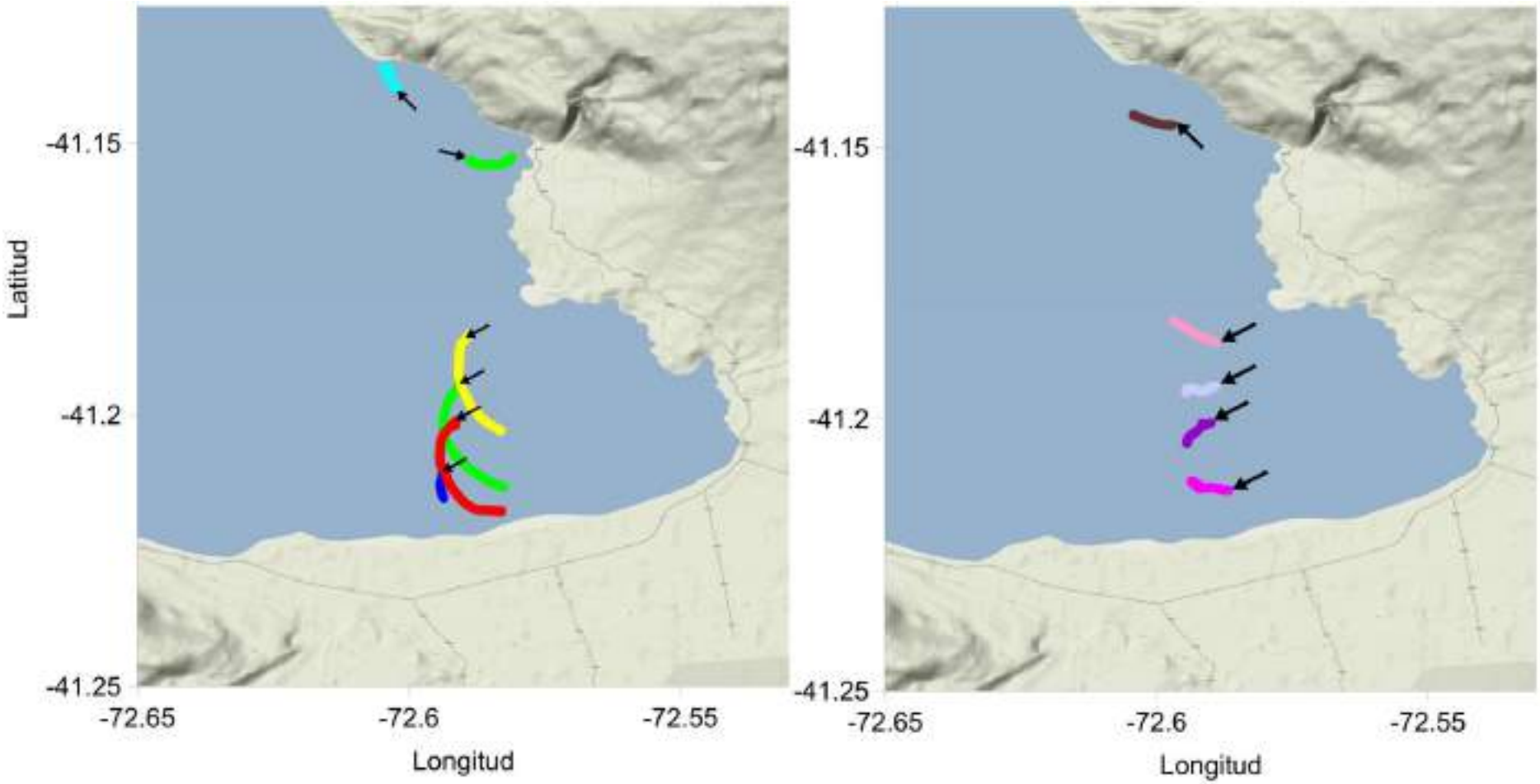


Fig. 126 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Ensenada del lago Llanquihue.

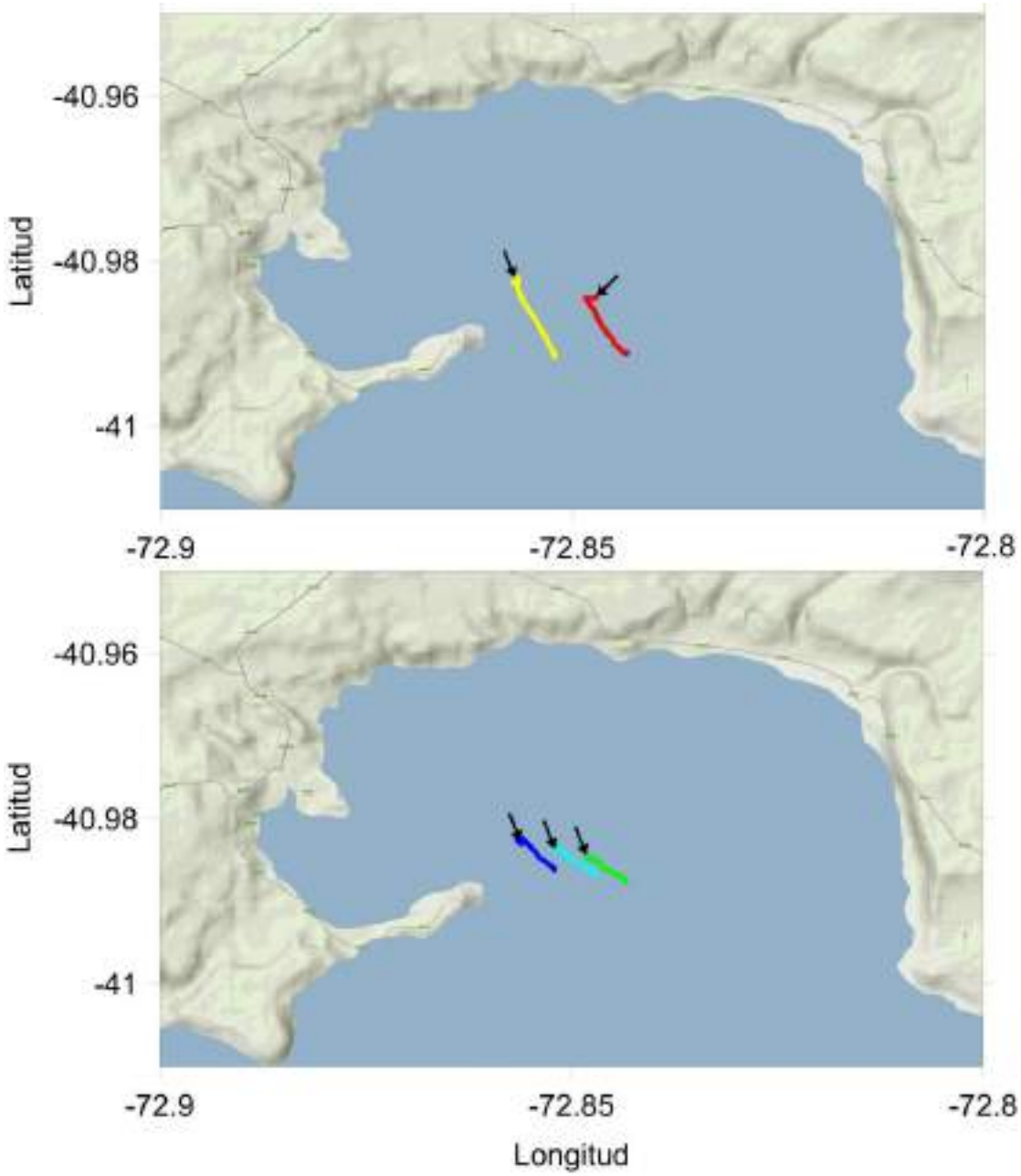


Fig. 127 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Octay del lago Llanquihue.

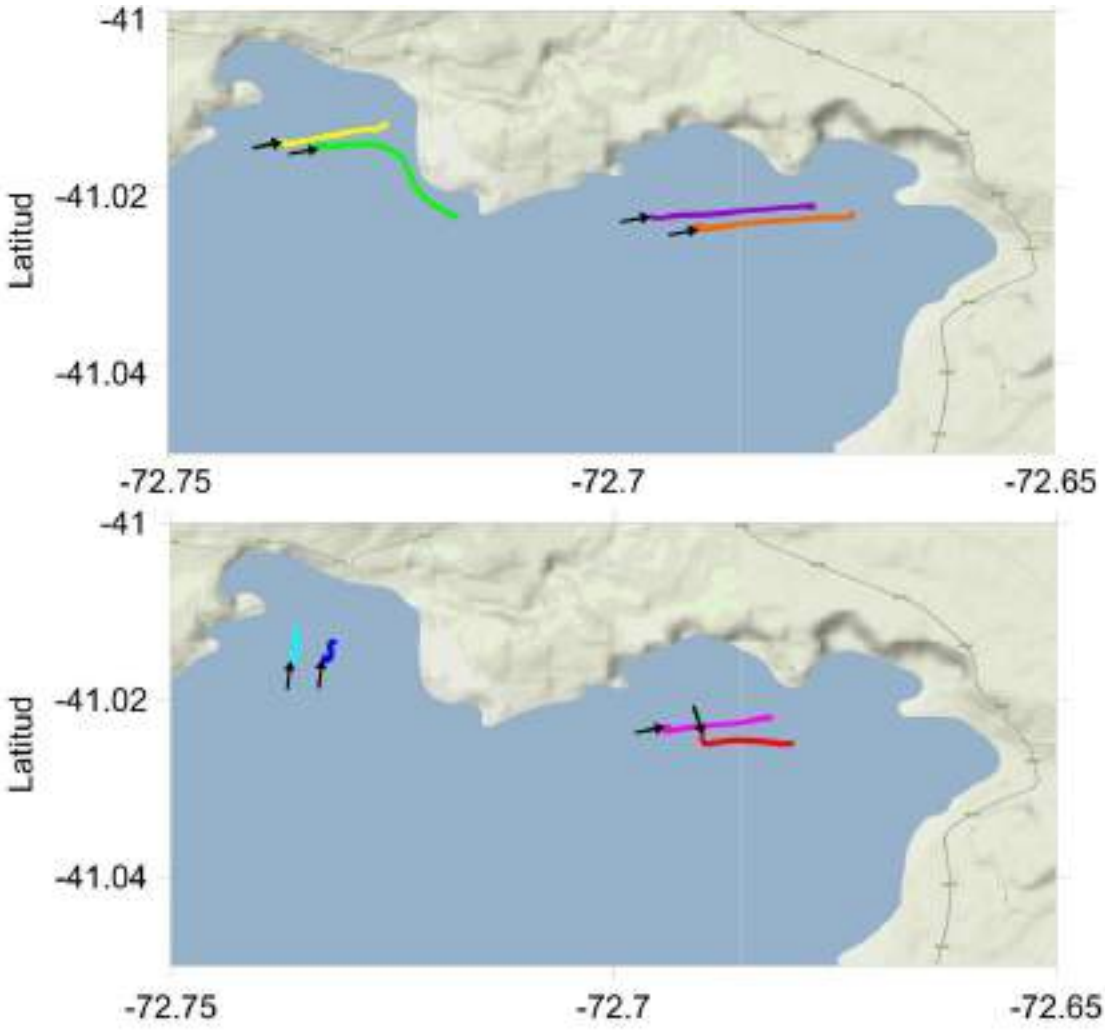


Fig. 128 Derivadores superficie (derecha) y fondo (izquierda) en el sector Fonck del lago Llanquihue.

Concluyendo:

BAHIA Y PUERTO OCTAY: Constituye el extremo NW del lago. Se trata de una bahía semicircular y de amplio tamaño, los derivadores instalados en la boca de la bahía se movilizaron todos en la misma dirección del viento, que era del NNW. La alta intensidad del viento genera corrientes de agua que abarcan un estrato de mayor espesor, a mayor la intensidad del viento, mayor su influencia en la columna de agua.

BAHIA RINCONES: La orientación de Bahía Rincones y el valle que la contiene tienen su eje mayor orientado hacia el NNW coincidente con el viento registrado durante el muestro con los derivadores.
La trayectoria de los derivadores tanto de superficie como profundos, siguen la dirección del viento, es decir acusan una salida de agua superficial de la bahía.

BAHIA FRUTILLAR- PLAYA MAQUI: Se trata de una bahía grande en forma de V abierta al E, en su costa N se encuentra playa Maqui, en las proximidades se instalaron derivadores que mostraron comportamientos erráticos, en primera instancia siguieron un curso hacia el SE para luego cambiarlo casi en 180º y regresar a la playa Maqui.
La escasa información y el comportamiento errático de los derivadores no permiten interpretar válidamente los movimientos y las corrientes de agua de esta bahía.

BAHIAS DOMEYKO Y PHILLIPI: Se encuentran al S de Punta Larga, que es el límite S de la bahía de Frutillar. Durante el muestreo el viento sopló del NW, sin embargo la dirección del viento en las bahías se percibe como procedente del N y del NNE, dirección perpendicular al eje de ambas bahías, los derivadores dejados en la boca de estas bahías se movilizaron en la misma dirección del viento, es decir hacia el S cerrando la boca de las bahías.

- Se aprecia en algunos derivadores de profundidad la tendencia a alterar su dirección haciéndola paralela a la costa.
- Aun cuando la dirección de los ejes de estas bahías es similar a Bahía Rincones la dirección del viento se modifica por la topografía costera

circundante, lo que altera la dirección del viento y la dirección de las corrientes...

BAHIA COX Y PLAYA MAITEN: Son bahías abiertas de mediana extensión. Se aprecia en este sector moderadas alteraciones en la dirección del viento del NNW que sigue la dirección de la costa abriéndose en abanico al aproximarse a las bahías, por esta razón los derivadores, tanto superficiales como profundos, se dirigen al interior de las bahías. Uno de los derivadores en las cercanías de la costa de playa Maitén altera su rumbo haciéndolo paralelo a la punta que separa Playa Maitén de Bahía Cox, lo que en definitiva lo saca de Playa Maitén y lo lleva hasta la boca de entrada de Bahía Cox

- La intensidad de los vientos registrados en el lago Llanquihue fueron de alta intensidad, provenientes del NW y con velocidades sobre los 30 km/h, esta situación generó velocidades de corriente que sobrepasaron los 30 cm/s

BAHIA ENSENADA Y EL VOLCAN: Bahía ensenada constituye el extremo SE del lago Llanquihue, Playa el Volcán más que bahía es una escotadura en la costa E del lago, se trabajó en ellas bajo la influencia de un viento del W de intensidad moderada.

- La tendencia que muestran los derivadores en Ensenada es de un giro hacia la derecha que correspondería a un movimiento circular generado por el viento en este extremo del lago.
- En playa El Volcán el viento llega perpendicular a la línea de costa generando un movimiento de los derivadores divergente, como los rayos de una rueda.

3.3.7 Evaluación del estado trófico del lago Llanquihue

Para el lago Llanquihue existen datos históricos disponibles desde 1982 hasta 2008, mas los datos puntuales de este estudio durante primavera 2012. El primer 1982/83 fue realizado por la Universidad Austral de Chile (Dr. Hugo Campos y colaboradores), seguido por el monitoreo de la DGA (1986 hasta ahora) y el estudio de la UACH en 1992/93. Despues sigue el estudio de Soto

(2002) con 2 muestreos anuales entre 1992 y 1999, el estudio de Woelfl (2007) en 2004 con 3 muestreos y el estudio puntual de este consultor en 2012. Todos los datos fueron unificados en un banco de datos (formato excel) para ser evaluados. A continuación se analiza comparativamente la cálidad de los datos tróficos (Secchi, fósforo total, clorofila a) históricos con enfasis en los datos de Campos et al. 1988 y de la DGA, que resume la mayor parte de los datos disponibles.

3.3.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos

1982/83 (UACH): Este es el primer estudio de la cálidad de agua del lago Llanquihue, ejecutado por la UACH (Campos et al. 1988). Se monitoreó mensualmente la columna de agua (5 profundidades, 0-100 m) en la estación Ensenada (~ 41°11'13"S; 72°37'45,8"W) del lago Llanquihue. Respecto a los parámetros transparencia y clorofila a no se encontraron datos dudosos o erróneos. Respecto a la calidad de los datos de fósforo total, se encontraron problemas de los siguientes índoles (Tabla 66):

- En algunos perfiles verticales (mayo, noviembre, diciembre, enero, febrero) se observan incoherencias en los valores. Se debería esperar perfiles homogéneos.
- Hay valores muy bajos (< 0,002 mg P/L). Se estima que estos valores eran bajo del límite de detección. Se estiman valores de ~ 0,003 mg P/L.
- Hay incoherencias entre fechas, es decir los valores aumentan o disminuyen considerablemente (mas de 20%), p.e. entre septiembre y noviembre 1982.
- Existen algunos valores (6 de 64) muy altos (celdas naranjas y rojas)

Sin embargo, a pesar de las limitaciones mencionadas parece que el promedio de los valores medidos estaban bajo los 0,005 mg P/L, probablemente entre 0,003 y 0,005 mg P/L.

Tabla 66 Fósforo total medido en la estación Ensenada 1982/83 (fuente: Campos et al. 1988)
Rojo: valores muy altos; naranjo: valores altos; celestre: valores bajas

Prof. (m)	24-05-82	28-06-82	27-07-82	27-08-82	21-09-82	20-10-82	16-11-82	16-12-82	18-01-83	22-02-83	22-03-83	27-04-83	26-05-83
0,1	0,0024	0,0022	0,0021	0,0031	0,0042	0,0015	0,0025	0,0042	0,0032	0,0009	0,0027	0,0021	0,0017
15	0,0056	0,0029	0,0020	0,0031	0,0040	0,0011	0,0022	0,0035	0,0032	0,0033	0,0024	0,0018	0,0016
40	0,0092	0,0029	0,0017	0,0043	0,0042	0,0014	0,0021	0,0062	0,0137	0,0013	0,0026	0,0016	0,0021
60	0,0049	0,0016	0,0024	0,0038	0,0045	0,0014	0,0071	0,0040	0,0032	0,0023	0,0022	0,0015	0,0013
100	0,0076		0,0023	0,0040	0,0046	0,0023	0,0068	0,0037	0,0041	0,0023	0,0031	0,0016	0,0014
promedio	0,0059	0,0024	0,0021	0,0037	0,0043	0,0015	0,0041	0,0043	0,0055	0,0020	0,0026	0,0017	0,0016
SD	0,0026	0,0006	0,0003	0,0005	0,0002	0,0005	0,0026	0,0011	0,0046	0,0009	0,0003	0,0002	0,0003

1992-1993 (Soto et al. 1993, Soto 2002): Este estudio ya ha sido analizado en extenso en el capítulo 3.3.2.1. La ubicación de las dos estaciones referenciales E1 y E10 se ubicaron aproximadamente en: E1 (Ensenada): 41°11'36,3"S; 72°35'21,25"W; E10 (Centro): 41°8'2,3"S; 72°52'5,24"W. Respecto a los parámetros transparencia y clorofila a no se encontraron datos dudosos ni erróneos, mientras los datos de PT son dudosos como se explicó en el capítulo 3.3.2.1.

1992-1999 (Soto 2002): Este estudio reporta dos mediciones anuales – obtenidos de muestras integradas - durante 1992-1999 (Fig. 129). Lamentablemente no entrega información exacta sobre el/los lugares de muestreo. Relativo a los parámetros transparencia y clorofila a no se encontraron datos dudosos o erróneos. Respecto a PT los datos muestran similares problemas que el estudio anterior, específicamente variaciones notables grandes (3-9 µg P/L) que dejan dudas respecto a su confiabilidad porque no se debería esperar fluctuaciones tan grandes en un lago araucano con un tiempo de renovación muy lento.

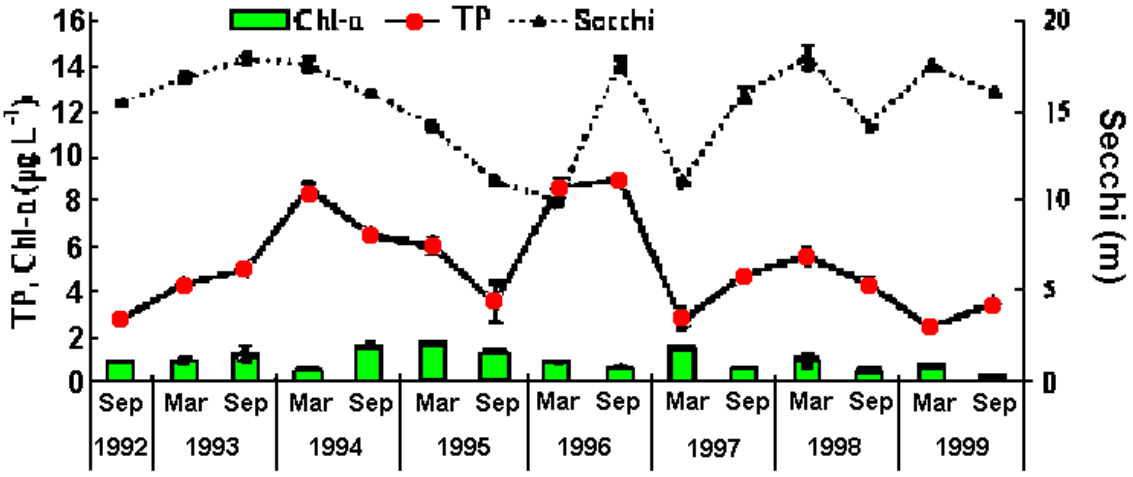


Fig. 129 Clorofila a, PT y Secchi en el lago Llanquihue durante 1992-1999. (fuente: Soto 2002, figura original levemente modificada).

1986-2012 (DGA): Estos datos fueron entregados por la Dirección General de Aguas, que monitorea con una frequencia trimensual desde 1986 la cálidad de agua del lago Llanquihue en 4 estaciones, denominadas Puerto Octay

(40°58'00''S; 72°51'00'W), Frutillar (41°07'00''S; 72°59'00'W), Puerto Varas (41°18'00''S; 72°57'00'W) y Ensenada (41°11'00''S; 72°35'00'W), que estan ubicadas relativamente cerca de los bordes del lago (Fig. 130). La estación Ensenada se puede considerar como referencia para un lugar sin mayores influencias de impacto humano, similar a los estudios de Soto et al. (1993) y Campos et al. (1988).

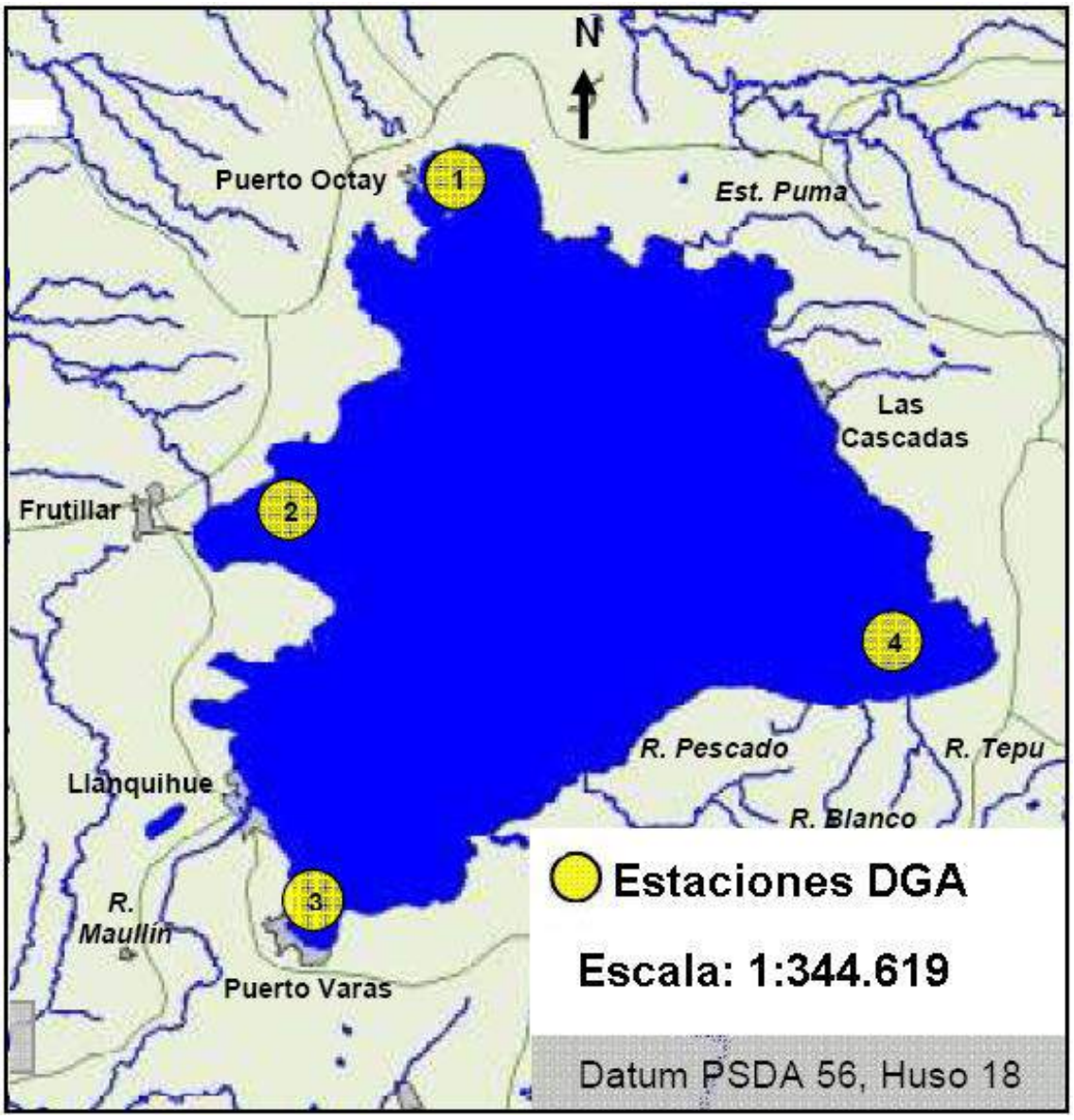


Fig. 130 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA (1: Puerto Octay, 2: Frutillar, 3: Puerto Varas, 4: Ensenada).
Fuente: POCH Informe S.I.T. N°192 (2012), Figura 42 A, levemente modificada.

Las profundidades de muestreo son 0-15-30 m en las estaciones Pto.Octay, Frutillar y Pto. Varas y 0-15-30-80 m en la estación Ensenada.

Transparencia y clorofila a: No se encontraron datos dudosos o erróneos, se accepta por lo tantos todos los valores de la base de datos de la DGA.

P total: Hasta 1998 los análisis de este parámetro fueron realizados por la Universidad Austral de Chile (laboratorio de Dr. H. Campos). A partir de 2001 PT fue analizado en el propio laboratorio de la DGA usando el mismo método utilzado por la UACH.

Llama la atención que los valores muestran notables fluctuaciones en las cuatro estaciones de muestreo con concentraciones muy bajos (< 0,003 mg P/L) hasta valores muy altos (0,030 – 0,080 mg P/L) (Fig. 131). Algunos valores muy extremos (0,200 – 0,5 mg P/L) se deben al hecho que los análisis de laboratorio fueron externalizados lo que finalmente no cumplió con los estandares requeridos para analizar agua con muy bajo contenido de fósforo. Estos valores se eliminaron del banco de datos, tampoco estan incluidos en la figura X.

En un lago araucano con una tasa de renovación muy lenta (50-70 años) se debe esperar, que por lo menos en la estación control en el pelagial (p.e. Ensenada) no se observen cambios bruscos ni en perfiles verticales ni en el tiempo (veáse arriba). Sin embargo, los datos de la estación Ensenada muestran variaciones altas, especialmente durante 1992-94 y 2003-05 (Fig. 131). Similares variaciones se observa también en las otras estaciones.

No esta claro si las variaciones de los valores son causadas por problemas analíticos, por la toma y almacenamiento de las muestras o ambos. Es posible que parte de estas variaciones son a partir de 2000 debido al mal uso de la curva de calibración, que incluye solamente un rango entre 0,012 mg P/L y 0,200 mg P/L (comunicación personal DGA), lo que **impide** determinaciones precisas de PT en concentraciones menores a 0,012 mg P/L.

Las curvas de calibración de la UACH generalmente incluyeron el rango 0,002 – 0,200 mg P/L.

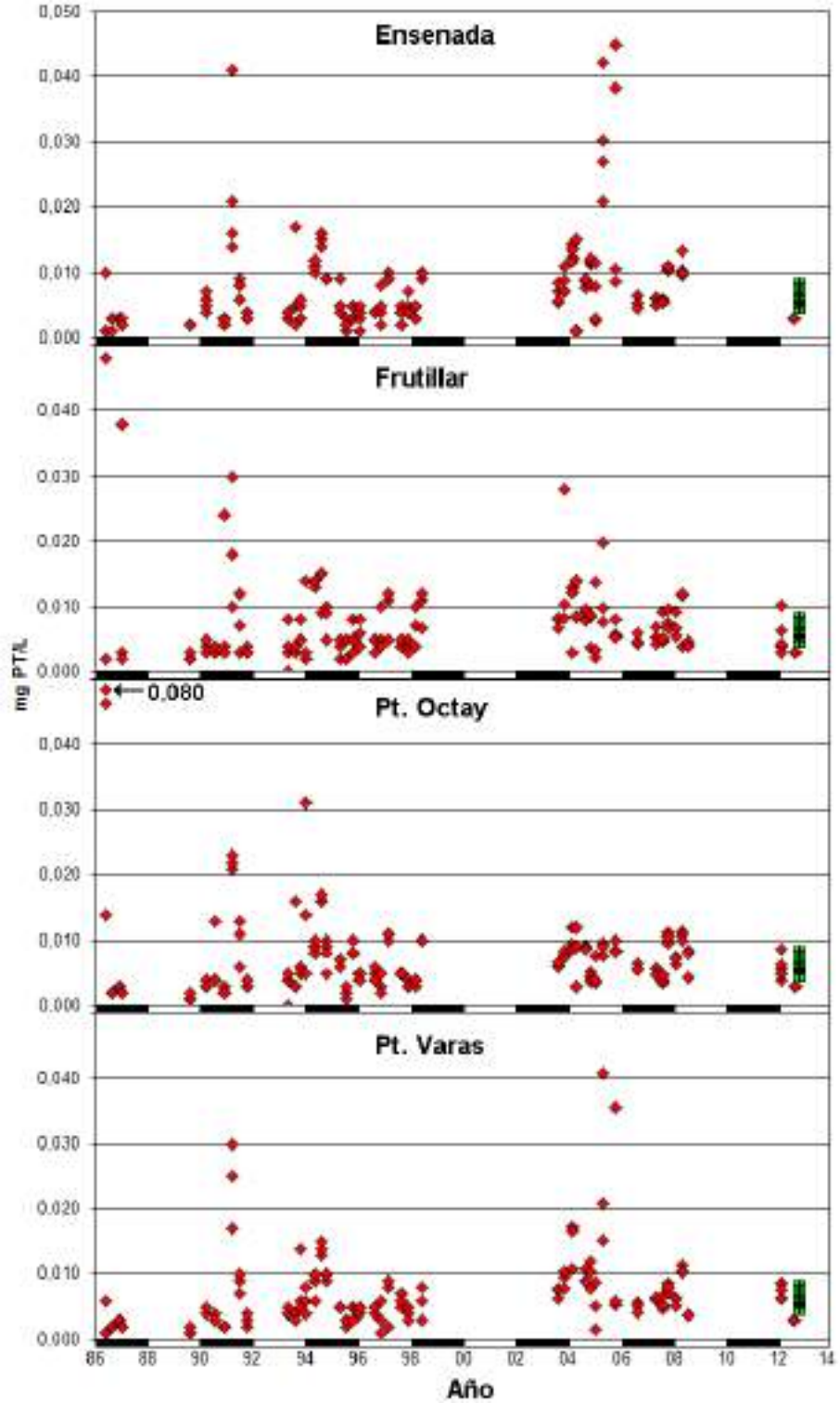


Fig. 131 Lago Llanquihue: PT en cuatro estaciones de la red de monitoreo de la DGA.
Para fines de comparación se incorporaron también datos de este estudio (puntos verdes) de las estaciones referenciales Centro 1 y 2 (solamente 0-80 m,14 valores)

Se concluye que la mayoría de los datos de PT de la DGA son por lo menos dudosos o incluso erróneos. Sin embargo, no es posible indentificar con certéza los valores errróneos, sin tener acceso a los protocolos de laboratorio.

En caso que se usó (2000 en adelante) una curva de calibración en un rango mayor que los valores esperados (p.e. > 0,012 mg P/L), entonces se debe descartar por defecto todos los datos de PT a partir de 2000. Consecuentemente el uso de estos datos para evaluar la trofía del lago Llanquihue es por lo menos altamente cuestionable.

3.3.7.2 Evaluación del estado trófico

En la tabla 67 y las figuras 132 y 133 se presentan los datos respecto al desarrollo del estado trófico del lago Llanquihue. Se distingue la estación de referencia (estación centro y/o estación Ensenada) de las otras estaciones (centros de cultivo o estaciones Pt. Varas, Pt. Octay, Frutillar).

Como se discutió en el capitulo anterior, los datos de PT de la DGA y de la literatura no parecen muy confiables, por lo cual no se discuten estos datos en extenso en este apartado. Sin embargo, estos datos se presentan en la figura 132.

La figura 132 muestra los promedios mensuales de los parámetros tróficos y su indicación trófica. En general se observa que los valores en profundidad de los parámetros Secchi y de clorofila a en la estación de referencia tienden a ser similares o levemente menores que en las otras estaciones indicando un estado ultraoligotrófico – oligotrófico. Solamente en 1990-92, en las estaciones correspondientes a los centros de cultivos se observaron sitios con estado meso- y eutrófico. En el caso de clorofila a se observan 4 valores sobre 10 µg/L, indicando un estado eutrófico para estas estaciones de muestreo.

En relación a PT nuestros propias mediciones - basados en un solo muestreo - indicarían un estado oligotrófico en practicamente todas las estaciones muestreadas, salvo la estación Pt. Rosales (código N° 100070) que claramente presenta un estado mesotrófico.

La tabla 65 muestra finalmente los promedios anuales de los parámetros tróficos, mientras la figura 133 muestra solamente la visibilidad y la clorofila a. El fósforo no se incorporó en esta figura por presentar demasiados datos dudosos. Según estos datos no se observan cambios significativos del estado trófico en las estaciones de referencia durante los últimos 30 años. Los datos estan en su totalidad indicando un estado oligotrófico (clorofila a, Secchi) o ultraoligotrófico (clorofila a).

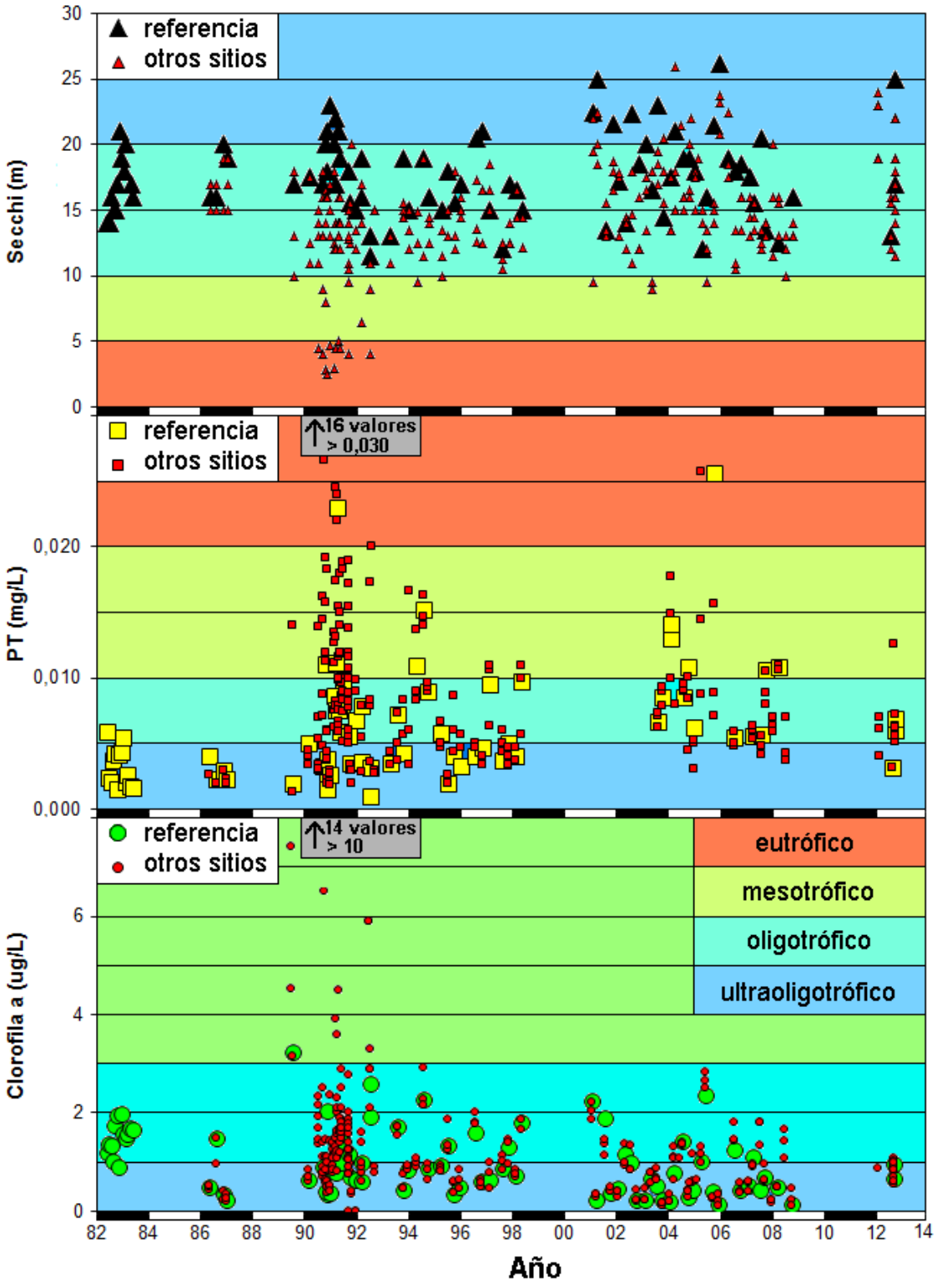


Fig. 132 Lago Llanquihue: secchi, PT y clorofila a durante 1982 – 2012.
Estaciones referenciales: "Centro", "Ensenada"; otros sitios: "centros cultivos", "cuidad", "Pt.Varas", "Frutillar", "Pt. Octay"
Fuente datos: 1982/83; Campos et al. (1988), 1990/92: Soto et al. (1993), , 2004: Woelfl (2007), 1986-2012; DGA (1986-2012), 2012: este estudio.

Tabla 67 Evaluación del estado trófico histórico del lago Llanquihue. Valores corresponden a promedio ± desviación estándar. N = fechas de muestreo. Fuente: 1: Campos et al. (1988); 2: Soto (1993); 3: Soto (2002); 4: Woelfl (2007); 5: DGA 6: Este estudio

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico
Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1982/83 (N=13)	16,8 ± 5,3	0,003* ± 0,002	1,47 ± 0,37	1
1992/93 (N=12)				
Referencia	18,2 ± 3,2	0,006* ± 0,003	1,1 ± 0,7	2
Otros sitios	11,9 ± 4,4	0,018* ± 0,024	2,2 ± 3,4	2
1986-1999 (N=29)				
Referencia	16,8 ± 2,3	0,006* ± 0,005	1,0 ± 0,7	5
Otros sitios	14,4 ± 2,4	0,007* ± 0,008	1,2 ± 1,0	5
1992-1999 (N=14)	15,1 ± 2,6	0,005* ± 0,002	1,0 ± 0,4	3
2001-2009 (N=37)				
Referencia	18,2 ± 3,8	0,010* ± 0,007	0,8 ± 0,6	5
Otros sitios	16,0 ± 3,5	0,008* ± 0,004	0,8 ± 0,6	5
2004/05 (N=4)	22,1 ± 2,9	s.d.	0,7 ± 0,2	4
2012 (N=1)				
Centro C1	25	0,006 ± 0,001	0,7 ± 0,1	6
Centro C2	17	0,006 ± 0,001	0,9 ± 0,1	
100545	19	0,006 ± 0,001	0,7 ± 0,1	
100204	19	0,006 ± 0,001	0,8 ± 0,2	
100627	16	0,006 ± 0,001	1,0 ± 0,2	
100628	22	0,006 ± 0,001	0,6 ± 0,2	
100507	18	0,007 ± 0,001	0,9 ± 0,2	
100332	17	0,006 ± 0,002	1,1 ± 0,3	
100510/511	16	0,006 ± 0,001	0,8 ± 0,2	
100100	14	0,005 ± 0,000	0,6 ± 0,1	
101866	15	0,005 ± 0,001	0,6 ± 0,0	
100070	11,5	0,013 ± 0,002	1,0 ± 0,9	
100370	22	0,006 ± 0,001	0,9 ± 0,3	
100390	22	0,006 ± 0,001	1,0 ± 0,3	

* valores dudosos

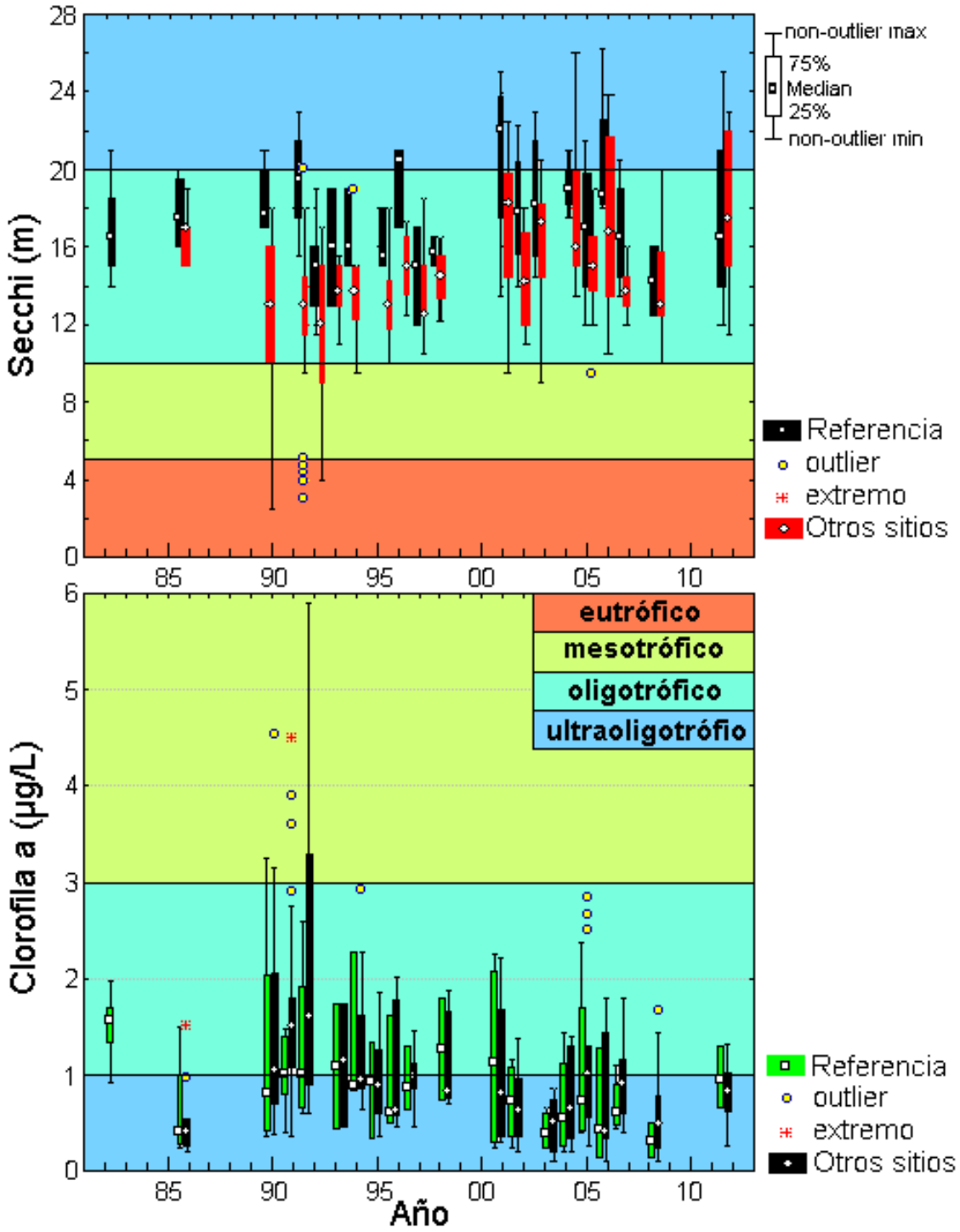


Fig. 133 Lago Llanquihue: Secchi, y clorofila a durante 1982 y 2012. (promedio anual ± desviación estandar).

Los datos de las estaciones “otros sitios” indican en su mayoría la misma trofía que las estaciones de referencia, especialmente durante los últimos 10 años (Secchi, clorofila a). Sin embargo, estas estaciones muestran también una

mayor variabilidad de los datos, incluso con algunos valores indicativos para oligo-mesotrofía (2005: secchi, clorofila a).

3.3.8 Estimación de balance de nutrientes

Para responder el objetivo 4 “Proponer una metodología que permita establecer un modelo de capacidad de carga para el lago Llanquihue” se presenta a continuación y de acuerdo a la metodología propuesta por este consultor una estimación de balance de fósforo para el lago Llanquihue. Posteriormente se presenta una estimación de la carga crítica en comparación con la carga actual.

3.3.8.1 Balance hidrológico anual del lago Llanquihue

La estimación de las entradas de agua vía ríos, esteros y laderas utilizando la Curva Numero constituye una aproximación de la escorrentía promedio en el largo plazo. En el caso del lago Llanquihue se considera un método adecuado de estimación, ya que las subcuencas que rodean el lago no poseen grandes ríos y muchas de las laderas llegan directamente al lago.

Para la estimación de las entradas vía precipitación se ha considerado un promedio de largo plazo de 4 estaciones que bordean el lago, por lo que se considera un promedio representativo del agua que ingresa al lago vía precipitaciones.

Las salidas de agua del lago vía el río Maullin se han calculado con datos del período 2000-2011 de la estación hidrométrica de la DGA y corregido de acuerdo al informe de Ministerio del Medio Ambiente 40820-112-1120588 (2010), por lo que se considera un dato representativo de largo plazo. En este informe se modeló el caudal del río Maullin en la desembocadura basandose en los datos de la estación hidrográfica de la DGA, ubicadas río abajo (Fig. 134).

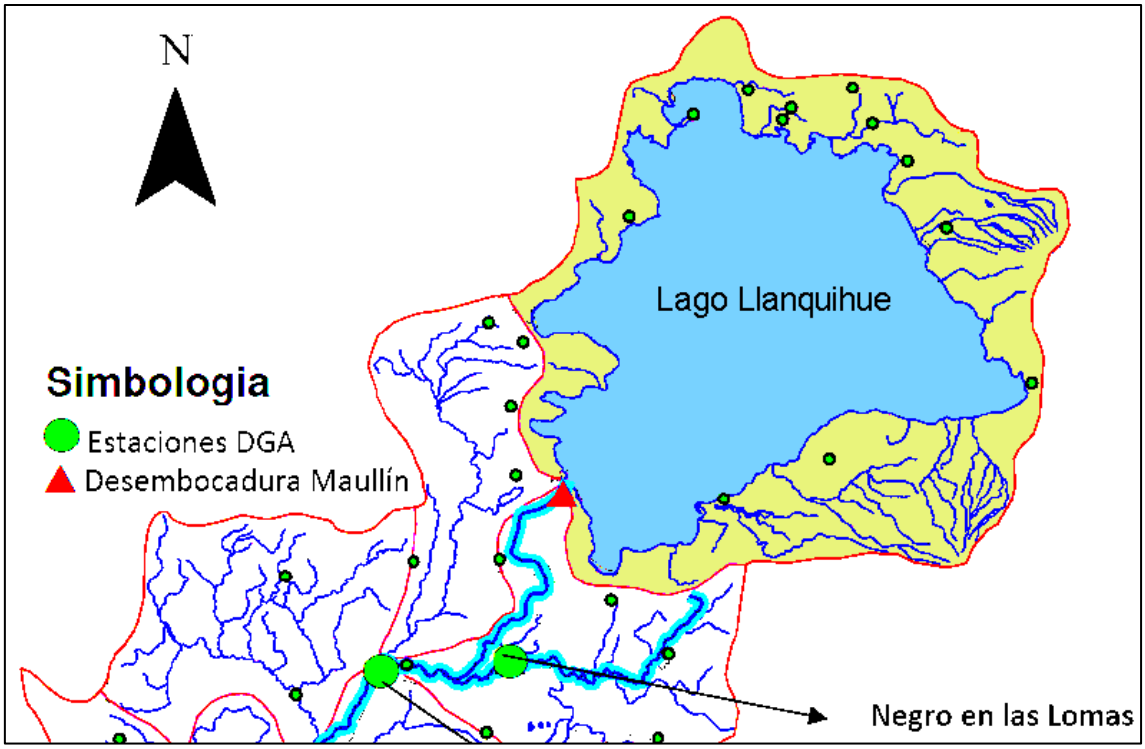


Fig. 134 Estaciones hidrográficas de la DGA (Informe MMA 40820-112-1120588, 2012, modificado)

La estimación de la evaporación del lago se considera que posee una gran incerteza, ya que se calculó con datos meteorológicos tomados durante una semana de diciembre del 2012, los que fueron extrapolados al período anual. Habitualmente, la evaporación de los lagos muestra una tendencia estacional con los valores mayores durante el invierno en lagos profundos, mientras que en lagos poco profundos el peak de evaporación ocurre en verano.

El balance hidrológico anual del lago Llanquihue queda como sigue:

Por los ríos/esteros y la precipitación entran al lago Llanquihue 1,614 km^3 y 1,647 km^3 al año (Tabla 68). En total las entradas suman 3,262 km^3 al año.

Las salidas de agua del lago Llanquihue son a través del efluente (2,778 km^3/año), la evaporación (0,383 km^3/año) y el drenaje profundo (0,673 km^3/año) (Tabla 69).

Tabla 68 Cálculo de caudal anual para cada subcuenca del lago Llanquihue

Subcuencas	Curva Numero CN	Retención S	Precipitación (mm)	Escorrentía Q (mm)	Area (ha)	Caudal Q (m^3/año)
1	57,0	191,6	1725	1514,6	12282	186024484
2	56,7	194,0	1725	1512,2	4177	63166486
3	47,3	283,0	1725	1426,4	4396	62702189
4	52,7	228,0	2456	2202,1	8029	176809041
5	60,5	165,8	2456	2267,6	3395	76985767
6	54,7	210,4	2456	2220,4	4336	96278262
7	58,6	179,4	2456	2253,1	3268	73629697
8	43,0	336,7	2456	2093,6	2765	57886914
9	43,1	335,3	2456	2094,9	2852	59746051
10	57,0	191,6	3520	3300,1	12553	414256348
11	54,7	210,4	2456	2220,4	6162	136823489
12	54,4	212,9	1515	1286,4	6030	77570134
13	57,7	186,2	1515	1312,4	1945	25525951
14	58,6	179,4	1469	1273,6	2197	27981707
15	57,7	186,2	1469	1267,0	4075	51629462
16	55,5	203,7	1469	1250,0	2237	27963092
Rios						**1614979075**
Precipitacion			**1899**		**86777**	**1647895230**
				Total entradas		**3262874305**

De acuerdo a nuestro balance hidrológico las salidas totales se suman a 3,26 km^3/año. El tiempo de renovación teórica del volumen del lago Llanquihue (158,6 km^3) corresponde entonces a 49 años. Este valor es considerablemente menor que el reportado (70 años) en la literatura (Campos et al. 1988), que se basó probablemente considerando solamente el caudal estimado del efluente río Maullin (2,24 km^3/año), sin considerar las demás salidas "identificadas" en este estudio. Sin embargo, cabe mencionar que hasta ahora no se dispone de una base de datos suficientemente robusta (entradas de agua y mediciones directas del caudal del efluente en la desembocadura) para determinar con precisión el balance hidrológico.

Tabla 69 Salidas de agua del lago Llanquihue.

	m^3/año
Río Maullin (S):	2.242.209.600
Evaporación lago (Ev):	383.205.907
Drenaje profundo (D):	637.458.798
Variación de reserva (ΔL):	0
Total salidas	3.262.874.305

3.3.8.2 Uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue

La tabla 70 y las figuras 135 y 136 muestran el uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue durante 2012. En la cuenca del Lago Llanquihue predominan praderas (49%) y bosque nativo (40%), seguido por matorrales (6,5%) y otros usos menos importantes en superficie.

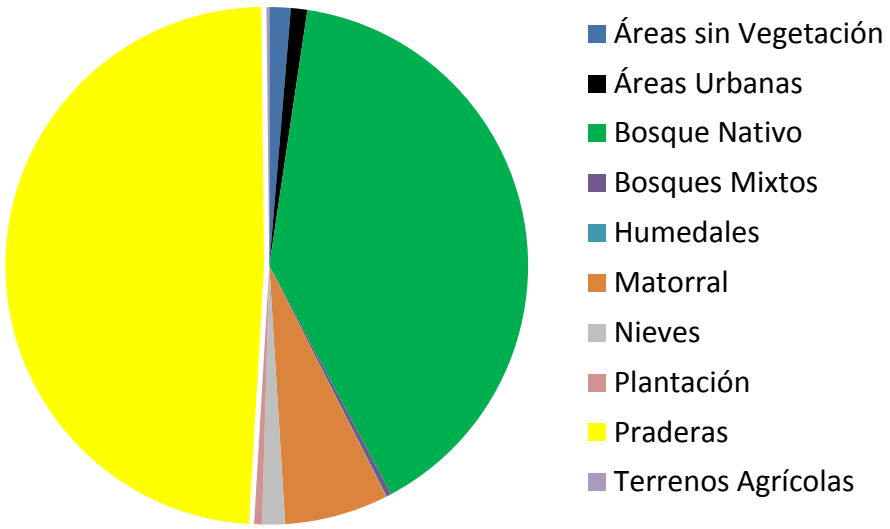


Fig. 135 Uso de suelo de la cuenca del lago Llanquihue durante 2012 (%)

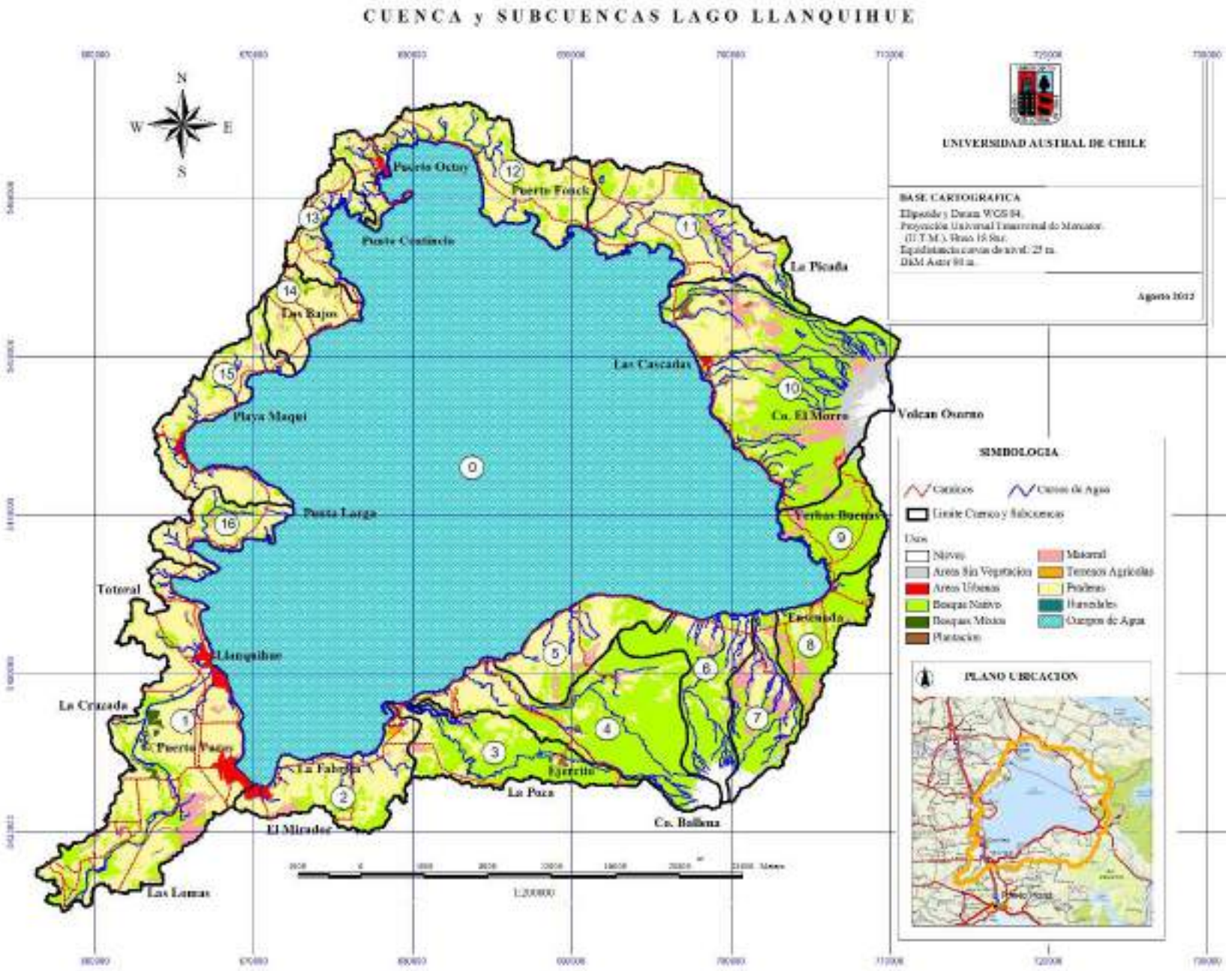


Fig. 136
Mapa del uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue 2012.

Tabla 70 Uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue.

Usos	ha	%
Áreas sin Vegetación	1075	1,3
Áreas Urbanas	829	1,0
Bosque Nativo	32198	39,8
Bosques Mixtos	252	0,3
Humedales	29	0,0
Matorral	5237	6,5
Nieves	1151	1,4
Plantación	397	0,5
Praderas	39511	48,9
Terrenos Agrícolas	144	0,2
Total suelo	80823	100

La mayor parte del bosque nativo se encuentra en la parte oriental y sur de la cuenca hidrográfica, mientras las praderas predominan en la parte ocidental y norte (Fig. 140).

3.3.8.3 Aporte de nutrientes por afluentes

En base del uso de suelo, los índices de exportación (Tabla 9) y el caudal de cada subcuenca, se calculó el aporte de N y P según el uso de suelo (Tabla 71) y para cada subcuenca (Tabla 72). En total el aporte por precipitación y por los afluentes (considerando solamente uso de suelo) fue ~ 43 ton P/año. La mayor parte de P provenía de precipitación directa sobre el lago y de las praderas (Fig. 137). Sin embargo, hay que considerar que estas estimaciones pueden estar subestimadas en un 20-30% debido a que los índices de la literatura corresponden a otras cuencas (Rupanco, Panguipulli etc.).

Tabla 71 Aporte de nitrógeno y fósforo según el uso de suelo en la cuenca del lago Llanquihue (2012)

Usos de suelo	**NH4-N**	**NO3-N**	**N-total**	**P-total**
	(ton/año)	(ton/año)	(ton/año)	(ton/año)
Agricultura	0,10	0,57	0,82	0,11
Bosque nativo	12,70	18,54	47,79	3,48
Cuerpos de agua	0,04	0,03	0,13	0,01
humedales	0,01	0,01	0,04	0,00
Matorral	1,72	14,63	21,36	1,78
Nieve	0,19	0,19	2,00	2,00
Plantacion	0,08	0,78	1,99	0,09
Praderas	9,78	170,82	222,36	19,12
Precipitaciones	57,18	33,62	157,54	14,17
Suelo desnudo	0,20	0,25	2,20	2,19
Urbano	4,25	0,16	5,92	n.d
Total	**86,25**	**239,60**	**462,15**	**42,95**

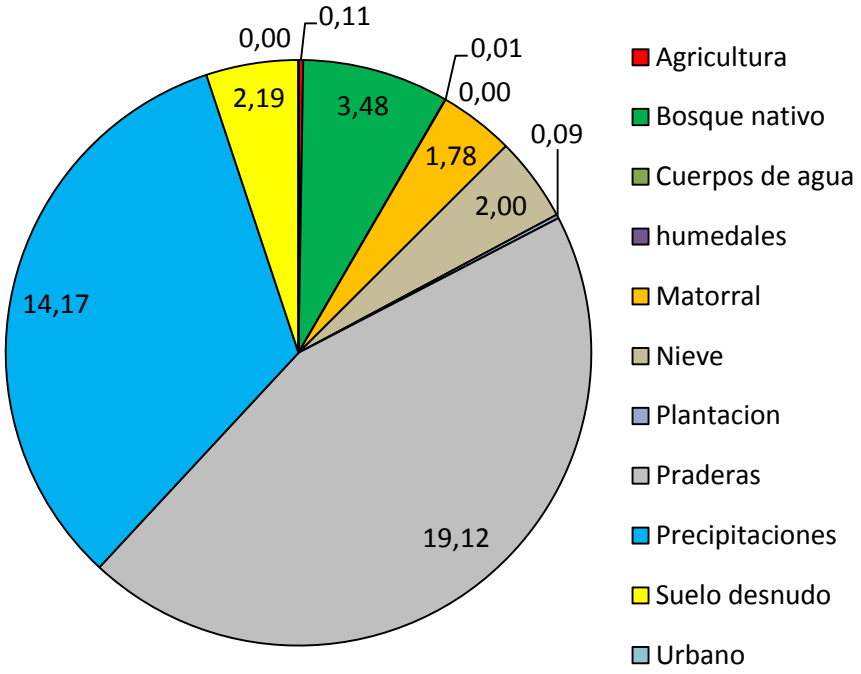


Fig. 137 Fracción de P al aporte total por uso de suelo

Tabla 72 Aporte de nitrógeno y fósforo de cada subcuenca del lago Llanquihue (2012).
La subcuenca "0" corresponde al area del lago.

Subcuencas	NH4-N	NO3-N	N-total	P-total
	(ton/año)	(ton/año)	(ton/año)	(ton/año)
0	57,18	33,62	157,54	14,17
1	4,98	34,35	49,37	3,93
2	1,50	12,03	16,91	1,37
3	1,05	5,61	8,84	0,72
4	2,89	14,45	23,47	2,36
5	1,15	14,57	19,64	1,67
6	1,53	8,32	13,31	1,51
7	1,12	7,06	11,02	1,29
8	1,07	3,84	6,73	0,58
9	1,04	2,06	4,64	0,43
10	6,88	36,46	59,43	7,24
11	2,05	25,71	34,68	2,95
12	1,44	14,16	19,58	1,63
13	0,37	5,38	7,16	0,61
14	0,40	6,09	8,06	0,69
15	1,17	10,48	14,53	1,19
16	0,42	5,39	7,25	0,62
TOTAL	**86,25**	**239,60**	**462,15**	**42,95**

3.3.8.4 Descargas directas al lago Llanquihue

A través de la página web de la SISS (www.siss.gob.cl) se obtuvo información sobre las plantas que descargan RILES según el Decreto N° 90 a afluentes del lago Llanquihue o directamente al lago (Tabla 73). Son en general pisciculturas y algunas empresas de procesamiento de alimentos o productos orgánicos.
Sin embargo, existen además mas empresas pisciculturas o plantas de aguas servidas (Pt. Octay) cuyas descargas llegan al lago Llanquihue como muestra la figura 138.

Tabla 73 Listado de plantas que decargan RILES al lago Llanquihue según información SISS (2012)

N°	PLANTA	PUNTO DE DESCARGA	COMUNA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
510	INDUSTRIAS PROSECOR LTDA.	PUNTO 1 (ESTERO SIN NOMBRE)	FRUTILLAR	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
512	MARINE HARVEST (PISC. DOMEYKO)	PUNTO 1 (LAGO LLANQUIHUE)	LLANQUIHUE	NO CUMPLE	NO INFORMA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
514	PINGUINO LTDA. (SECTOR TOTORAL)	PUNTO 1 (ESTERO SIN NOMBRE - AFL. LAGO LLANQUIHUE)	LLANQUIHUE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
541	GENTEC S.A. (PISC. RIO PESCADO)	PUNTO 1 (RIO PESCADO)	PUERTO VARAS	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
547	MARINE HARVEST (PISC. RIO PESCADO)	PUNTO 1 (RIO PESCADO)	PUERTO VARAS	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO INFORMA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
552	SALMONES LLANQUIHUES.A. (PISC. RIO PESCADO)	PUNTO 1 (RIO PESCADO)	PUERTO VARAS	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
573	SALMONES MULTIEXPORT S.A. (PUERTO FONK)	PUNTO 1 (LAGO LLANQUIHUE)	PUERTO OCTAY									
	CONTROL DIRECTO											
	MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)	PUNTO 1 (RIO COPIHUE)	NORMA 90									
	MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)	PUNTO 2 (RIO COPIHUE)	NORMA 90									
	MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)	PUNTO 3 (RIO COPIHUE)	NORMA 90									
	MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)	PUNTO 4 (RIO COPIHUE)	NORMA 90									
	SALMONES PACIFIC STAR (PISC. RIO SUR)	PUNTO 1 (COLONIA RIO SUR)	NORMA 90									

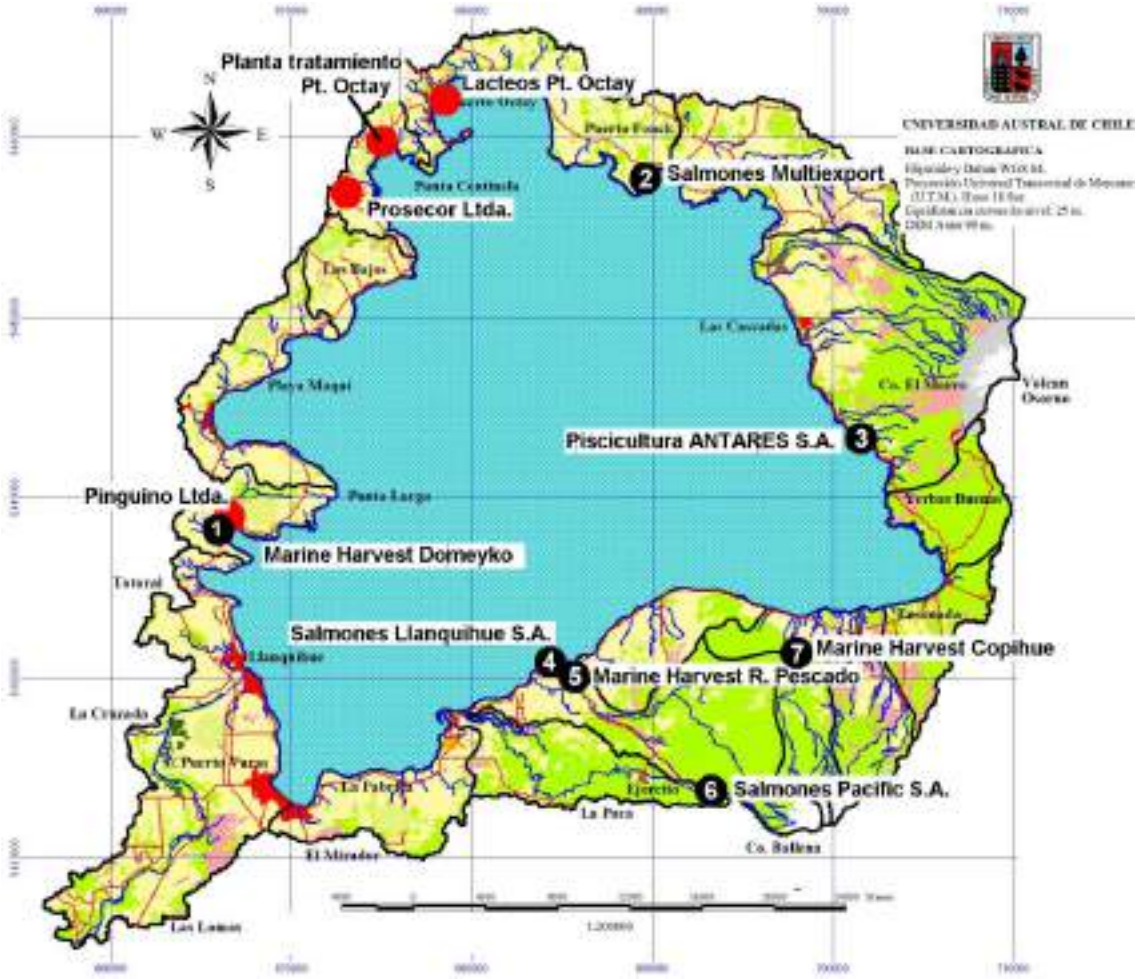


Fig. 138 Ubicación de fuentes emisoras de descargas líquidas.
Negro: pisciculturas; rojo: otras fuentes

DESCARGAS DE PISCICULTURAS

Piscuculturas en cuenca del lago Llanquihue cuyas descargas ingresan al lago Llanquihue son las siguientes (Fig. 138):

- MARINE HARVEST (PISC. DOMEYKO)
- SALMONES MULTIEXPORT S.A. (PUERTO FONCK)
- PISCICULTURA ANTARES S.A.
- MARINE HARVEST (PISC. RIO PESCADO)
- SALMONES LLANQUIHUE S.A. (RIO PESCADO)
- SALMONES PACIFIC STAR (PISC. RIO SUR)
- MARINE HARVEST (PISC. RIO COPIHUE)

A través de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura se obtuvo datos sobre el monitoreo de las siguientes cuatro pisciculturas:

- SALMONES MULTIEXPORT S.A. (PUERTO FONCK)
- MARINE HARVEST (PISC. RIO PESCADO)
- SALMONES LLANQUIHUES.A. (PISC. RIO PESCADO) (a partir de 8.1.2013 pertenece a MAINSTREAM CHILE S.A.)
- MARINE HARVEST (PISC. RIO COPIHUE)

Los datos recopilados corresponden al periodo de 2006 hasta 2011 o 2012. Consisten en datos diaríos del caudal y datos mensuales de fósforo y nitrógeno total. En total existen 648 mediciones de fósforo total (PT), pero aproximadamente la mitad (341) de los valores fue bajo del límite de detección (L.D.) que fluctuó entre 0,1 y 2,0 mg P/L (este último valor es el límite permitido a descargar):

- 37 valores < 0,1 mg P/L
- 123 valores < 0,2 mg P/L
- 12 valores < 0,5 mg P/L
- 169 valor < 1,0 mg P/L
- 181 valores < 2,0 mg P/L

En estos casos, se asumió una concentración de 0,2 mg P/L (y 0,05 mgP/L si L.D. fue < 0,1 mg/L) que corresponde aproximadamente a la media de los valores medidos.

Finalmente se calcularon en base de los caudales mensuales y las concentraciones de PT los aportes mensuales y anuales de PT de cada centro (Tabla 74). La carga para 2012 se estimó en base de la carga parcial de 2012 (Fonck, MH Pescado, MH Copihue) y/o como promedio de los años 2006-2012 (Salmones S.A.). De todos modos hay que considerar estos valores solamente estimativos con un cierta incertidumbre debido a variaciones anuales y debido a que 50% de los valores estuvieron bajo el límite de detección.

Tabla 74 Descargas de cuatro pisciculturas según datos de la SISS (2006 – 2012)

SALMONES LLANQUIHUE S.A.		**MARINE HARVEST PESCADO**		**SALMONES MULTIEXPORT PT. FONCK**		**MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)**	
	ton P/año		ton P/año		ton P/año		ton P/año
2006	0,289	2006 (1 mes)	0,003	2006 (4 meses)	0,020	2006 (4 meses)	0,449
2007	0,246	2007 (7 meses)	0,566	2007	0,020	2007	0,722
2008	0,200	2008	s.d.	2008	0,065	2008	1,498
2009	1,977	2009	s.d.	2009	0,089	2009	3,181
2010	1,383	2010	s.d.	2010	0,033	2010	1,386
2011	1,194	2011 (2 meses)	0,076	2011	0,025	2011	3,532
2012 (7 meses)	1,095	2012 (4 meses)	0,338	2012 (7 meses)	0,011		
2012 estimado	**1,88**		**1,01**		**0,025**		**3,532**

Los supuestos aportes de los demás pisciculturas se estimó de la siguiente forma:

SALMONES PACIFIC STAR (PISC. RIO SUR): La DIA de la empresa dice lo siguiente: "*En esta piscicultura se realiza el cultivo desde ovas, hasta peces de 20 grs., tanto de truchas arcoiris, salmón de atlántico y salmón coho, con una producción anual total de 100 toneladas, bajo un sistema de flujo de agua abierto. Una vez terminado el proyecto de recirculación, se espera la producción de 250 toneladas por año, para su posterior traslado a los centros de engorda. El caudal a descargar se estima en 100 L/s.*"
Para estimar el aporte de P, se asumió una concentración mediana de 0,26 mg P/L en el efluente (este valor corresponde a la concentración media de P en la descarga de la piscicultura Salmones Llanquihue S.A.) y un caudal de 0,100 m^3/s. La carga anual estimada ~ 0,820 ton P/año.

Caudal m^3/d	Caudal m^3/año	P mg/L	Carga ton P/año
86400	3.153.600	0,26	0,820

PISCICULTUR ANTARES S.A. : Sobre este piscicultura no se obtuvo información respesto a su descarga al lago Llanquihue (Fig. 139). Se estimó su aporte a ~ 0,5 ton P/año.

Fig. 139 Foto de la Piscicultura Antares S.A.

Marine Harvest (Domeyko) - Sobre este piscicultura no se obtuvo información respesto a una supuesta descarga al lago Llanquihue. Se estimó su aporte a ~ 0,5 ton P/año.

DESCARGAS DE AGUAS SERVIDAS

Respecto de las descargas de aguas servidas en el lago Llanquihue se recopiló la siguiente información:

Puerto Octay: descarga al lago, con tratamiento secundario a través de un sistema de lodos activados operada por la Ilustre Municipalidad de Puerto Octay.

Según la declaración de impacto ambiental (2003) se espera un caudal promedio de 7,7 L/s y una concentración de 10 mg P/L. La carga anual de P correspondería entonces a 2,43 ton P/año.

Caudal m^3/d	Caudal m^3/año	P mg/L	Carga ton P/año
6653	242.827	10	2,43

Puerto Varas y Llanquihue: descargan fuera de la cuenca del lago, en el Río Maullín, con tratamiento secundario a través de un sistema de lodos activados operada por ESSAL S.A.

Frutillar: descarga fuera de la cuenca del lago, en el estero El Burro, con tratamiento secundario a través de un sistema de lodos activados operada por ESSAL S.A.

Ensenada: no tiene alcantarillado, existiendo soluciones particulares que van desde los pozos negros hasta las fosas sépticas.

Las Cascadas: La localidad está instalando un sistema de alcantarillado, pero no esta claro si contempla un sistema de tratamiento de aguas servidas.

En las tres ciudades atendidas por ESSAL S.A. se producen vertidos de emergencia por saturación del sistema de alcantarillado ante fenómenos de lluvia, ya que existen colectores unitarios que reciben tanto aguas lluvias como

aguas servidas. Cuando el volumen de carga de los colectores excede la capacidad de tratamiento, el excedente, que corresponde a aguas servidas diluidas en aguas lluvias, es vertido directamente al lago a través de los denominados “Aliviaderos de Tormenta”, normalmente ubicados en cada una de las plantas elevadoras de aguas servidas.

VIVIENDAS EN LA CUENCA DEL LAGO LLANQUIHUE

La tabla 75 presenta los antecedentes considerados para estimar el potencial aporte por aguas servidas por habitantes permanentes y fluctuantes. Se consideró viviendas rurales sin conexión a un sistema de alcantarillado central en una franja de 200 m desde el litoral del lago Llanquihue, sumado a los habitantes de Ensenada (1200 habitantes) y Cascadas (700 habitantes). La estimación de la cantidad de viviendas en la franja costera se realizó usando imágenes satelitales (GOOGLE EARTH, imágen 15.12.2012) asumiendo que en cada vivienda viven 4 personas (en total 3800 personas).

a)

Tabla 75 Estimación de aporte de P en zonas rurales de la cuenca del lago Llanquihue

	Turistas		**Población permanente**	
	pozo séptico	descarga directa	pozo séptico	descarga directa
gP/día*persona	0,75	3,75	0,75	3,75
N viviendas franja 200 m			950	
N personas	20000	20000	3800	3800
N habitantes Ensenada			1200	
N habitantes Cascadas			700	
N dias residencia	5	5	365	365
Carga ton P/año	0,08	0,38	1,56	7,80
	Total ton P/año		**min**	**1,64**
			max	**8,18**

El número de turistas (20000 personas) es una estimación conservadora por falta de antecedentes recientes. Se distinguió dos casos:

a) pozos sépticos con un coeficiente de retención de 80% de la carga diária de P por persona (= 3,75 gP/día*persona; fuente CENMA 2007)

descarga directa al lago

Las cargas estimadas varían entonces entre 1,64 y 8,18 ton P/año.

OTRAS DESCARGAS AL LAGO

Lacteos Puerto Octay: Esta ubicado en Puerto Octay (Fig. 138). Este consultor no tiene datos sobre el monitoreo de esta empresa, tampoco aparece en el sistema de control según el decreto MINSECGEN N°90 de la SISS.

Sin embargo, de acuerdo a la declaración del impacto ambiental, dice respecto al RIL lo siguiente: "...en la *quesería se genera fundamentalmente suero de queso como residuo líquido que es tratado en el sistema de filtración. Otros residuos líquidos producidos provienen de aguas de enfriamiento y lavado de tinas, moldes y pisos. ..... Según los análisis efectuados a la descarga final, los resultados entregan un volumen diario aproximado de 250 m^3 y una carga orgánica (DBO5) alrededor de 2000 mg/l.*

Considerando que el límite permitido de la concentración de P es 2 mg P/L (Tabla Nº3 D.S. N°90), se puede estimar un aporte máximo de 0,182 ton P/año al lago Llanquihue:

Caudal m^3/d	Caudal m^3/año	P mg/L	Carga ton P/año
250	91250	2,00	0,183

Prosecor Ltda.: Esta empresa se encuentra a 16 km camino Pt. Octay a Frutillar. Procesando trigo mote y almidón desde 2002.

Este consultor no tiene datos sobre el monitoreo de esta empresa. Sin embargo, de acuerdo a la resolucion N° 5632002 del 26/03/2002 el Ril final sería de ~**2,15 lt/s** los cuales serán vertidos al estero sin nombre el cual a los dos kilómetros desembocan en el Lago Llanquihue (Bahía Los Rincones). Los efluentes tendrían las siguientes características químicas (Tabla 76):

Tabla 76 Estimadas características químicas de los efluentes de Prosecor Ltda.

Parámetro	Efluente sin Tratar	Efluente tratado	Norma a aplicar*
Aceites y Grasas	0,4	0,4	20
Sólidos Suspendidos	38,5	20	80
DBO5	867	33	35
Nitrógeno Total	12,56	6,53	10
Hierro	1,34	1,34	2
Fósforo	3,36	1,75	2
Poder espumogeno	5	5	7
Ph	6	6	6-8,5

En base a estos datos se puede estimar el aporte de PT (0,138 ton P/año) al lago Llanquihue:

Caudal L/s	Caudal m^3/año	P mg/L	Carga ton P/año
2,5	78840	1,75	0,138

Este aporte se debería triplicar si se considera el valor de 5,4 mg P/L que cita el estudio de CENMA (2007) basandose en información proporcionada por la SISS para los años 2003-2005 (Tabla 77).

Tabla 77 Información física-química de los años 2003-2004 (Fuente: SISS)

Tabla N° *5*

Descarga PROSECOR LTDA.

Parámetro	Unidades	Rango	Valor Promedio
pH		6,0-8,5	6,7
Temperatura	° C	6,0-14,0	10,7
Coliformes fecales	NMP/1000 ml	1,8-2400	732,7
DBO5	mg/l	1,0-1193,3	457
Nitrógeno Total	mg/l	0,2-57,8	25,7
Fósforo Total	mg/l	0,2-12,5	5,4
Sólidos Suspendidos	mg/l	9,6-136,7	66,7

Se concluye que la empresa PROSECOR Ltda. descarga supuestamente entre **0,14 y 0,5** ton P/año al lago Llanquihue.

APORTE DE P POR CENTROS DE CULTIVO

La carga estimada de P por los centros de cultivos (balsas jaulas) fue ~ 60 – 70 ton/año duante 2011-2012. El aporte promedio de P durante los últimos 10 años fluctuó entre ~ 48 y 56 ton/año. Mas detalles véase capítulo 3.3.4.

3.3.8.5 Carga de P al lago Llanquihue

SUMA DE LAS CARGAS DE P

La tabla 78 y las figuras 140 y 141 muestran la sumatoria de las cargas estimadas de P al lago Llanquihue. Como ya se mencionó anteriormente, esta estimación conlleva una cierta incertidumbre y es aproximativa. En total se estima una carga total de 123-134 ton P/año que ingresaría al lago Llanquihue. En el caso de las balsas jaulas hay una variación interanual notable en su aporte de P. También se observa un aumento en el aporte de P por la pisciculturas y quizas también por aguas servidas debido al supuesto de un aumento de los habitantes en la zona.

El aporte de P por parte de las balsa jaulas es con 51% el aporte más importante de P en el lago Llanquihue, seguido por uso de suelo (23%) precipitación sobre el lago (11 %), población (6%), pisciculturas (6%) y otros en orden descendiente (Fig. 141).

Tabla 78 Cargas estimadas de P al l lago Llanquihue durante 2012

Fuente	**Carga ton P/año**	**%**
Balsas jaulas	60 - 70	51,1
Afluentes/ uso de suelo	28,78	23
Precipitación	14,17	11
Pisciculturas		6
Planta tratamiento Pt. Octay	2,428	
SALMONES PACIFIC STAR	0,820	
MARINE HARVEST (PISC. COPIHUE)	3,530	
Salmones Llanquihue	1,876	
Marine Harvest Pescado	1,013	
Salmones Multiexport Pt. Fonck	0,025	
Marine Harvest (Domeyko)	0,500	
Piscicultura Antares	0,500	
Población rural/turistas	1,6 - 8,45	1 - 8
Fuentes otros		0,3 – 0,4
Prosecor Ltda.	0,14 – 0,42	
Lacteos Pt. Octay	0,183	
Pinguino Ltda.	0,004	
Carga total	**~ 123 – 134**	**100**

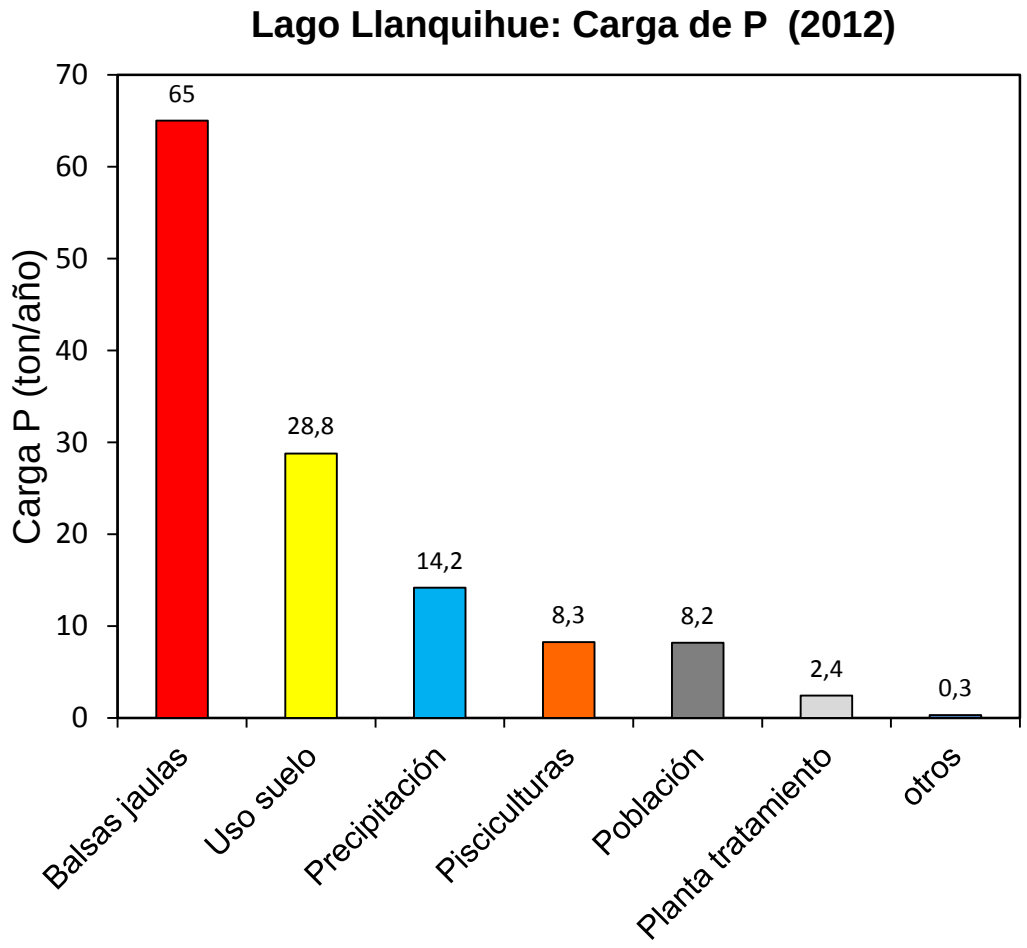


Fig. 140 Carga estimada de P por fuente al lago Llanquihue durante 2012

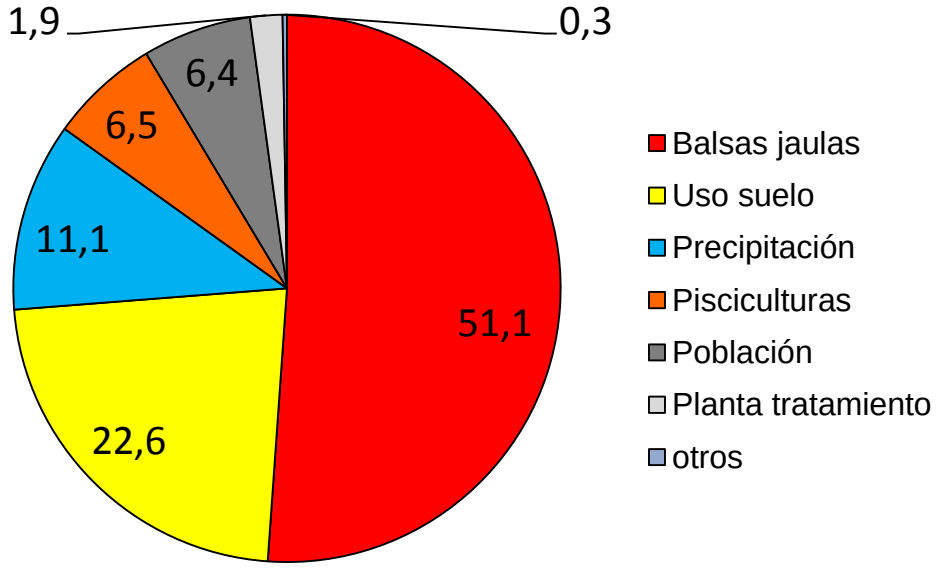


Fig. 141 Aporte relativo (%) de las cargas de P en en la cuenca del lago Llanquihue

3.3.8.7 Contenido de P en el lago Llanquihue

En base a la curva hipsográfica del lago Llanquihue se calculó el volumen de agua para cada estrato de la columna de agua. La masa total de P por estrato se calculó multiplicando el promedio de P de las dos estaciones Centro 1 y Centro 2 (los valores no son significativamente diferentes) con el volumen de cada estrato. Finalmente se sumó la masa total de P para el lago Llanquihue que fue 1018 ton P/lago. El respectivo promedio de P en la columna de agua se calculó en 0,0064 mg P/L (Tabla 79).

Tabla 79 Contenido de PT en la columna de agua en el Lago Llanquihue, estación centro

Estrato (m)	Vol (km^3)	%	mgP/L	ton P/estrato
0-10	8,55	5,4	0,0050	42,7
10-20	8,37	5,3	0,0052	43,9
20-32	8,18	5,2	0,0058	47,2
30-40	7,99	5,0	0,0064	50,9
40-50	7,79	4,9	0,0064	49,8
50-80	22,14	14,0	0,0063	139,7
80-120	26,45	16,7	0,0062	163,2
120-160	22,66	14,3	0,0066	149,4
160-200	18,56	11,7	0,0071	131,5
200-250	16,96	10,7	0,0075	126,9
250-300	9,45	6,0	0,0069	64,8
300-fondo	1,50	0,9	0,0055	8,2
Total	**158,6**	**100,0**		**1018,3**
		promedio mgP/L		**0,0064**

3.3.8.8 Descarga de P por el efluente

Para calcular la descarga de P por el efluente se utilizó el valor promedio estimado de la columna de agua (0,0064 mg P/L) multiplicandolo con el caudal anual del río Maullin.

La descarga de P por el efluente calculada fue entonces ~ 14,4 ton P/año de acuerdo a la siguiente tabla:

Caudal (km^3/año):	2,2422096
Concentración P (mg P/L):	0,0064
Descarga (ton P/año):	14,395

3.3.8.9 Balance de P del lago Llanquihue

El balance de P esta presentado en la tabla 80. Según este balance ingresaron ~122-132 ton P al lago Llanquihue, que contiene 1018 ton P en su masa de agua. Aproximadamente 14,4 ton de P salen del lago a través del río Maullin durante un año, las toneladas restantes 108-118 ton P sedimentarían asumiendo un equilibrio de P en la columna de agua (Tabla 80). La tasa de sedimentación fue por lo tanto ~ 89-90% de los ingresos que es típico para lagos con un tiempo de renovación tan lenta y concuerda muy bien con la tasa de sedimentación calculada para el lago Llanquihue en la tabla 3.

Tabla 80 Balance de P total para el lago Llanquihue. Todos los valores en Ton/año.

	Masa total en el lago	**Ingreso**	**Egreso**	**Sedimentación**	**Tasa de sedimentación %**
P	1018	122 - 132	14	108 - 118	89 - 90

3.3.8.10 Modelo de carga de P para el lago Llanquihue

El modelo de la OECD (Capítulo 2.2.1, ecuación 6) considera principalmente el tiempo de renovación (Tw) y la profundidad promedia (z = Volumen lago / area lago) para calcular la carga asociada a una determinada concentración de P en un lago. Estas dos variables determinarían en una primera aproximación la cantidad de P saliendo del lago y la cantidad de P sedimentando en el lago. La cantidad de P remanente quedaría en la columna del lago determinando así su productividad biológica. El modelo puede ser utilizado para calcular tanto la

carga de fósforo correspondiente a una determinada concentración de P como también para estimar la concentración de P que se debería encontrar en la columna de agua de un lago que recibió una determinada carga (aporte) de P. De alli, se puede determinar la carga crítica de P asociada a una determinada concentración de P considerada como límite **máximo** deseado, p.e. 0,010 mgP/L para lagos oligotróficos (Tablas 1 y 2).

De esta manera se puede predecir tanto la concentración de P en la columna de agua de un lago como también verificar la cálidad del balance de P realizado. Estos aspectos ya han sido presentados y discutidos ampliamente en el capítulo 2.2.1.1.

La siguiente figura presenta la relación entre la carga estimada y la concentración promedia de P en un lago, junto con la respectiva evaluación trófica y la concentración actual de P en el lago Llanquihue considerando el tiempo de renovación (Tw) de 70 y 49 años.

La figura 142 junto a los valores relacionados a ésta (Tabla 81) muestran en detalle lo siguiente:

- Se presentan dos escenarios para el lago Llanquihue con un tiempo de renovación Tw = 70 años y Tw = 49 años, lo que sería el rango máximo del tiempo renovación ya mencionado (capítulo 3.3.8) para este lago.
- Mientras mas rápido (menor) el tiempo de renovación, mayor es la carga de P correspondiente a una determinada concentración de P en el lago. En el caso del lago Llanquihue el promedio de P en la columna de agua fue en este estudio de 0,0064 mg P/L. La carga correspondiente a esta concentración se calcula entre 136 y 166 ton P/año.
- La carga crítica para salir del estado oligotrófico para el lago Llanquihue estaría entre 212 y 260 ton/año.

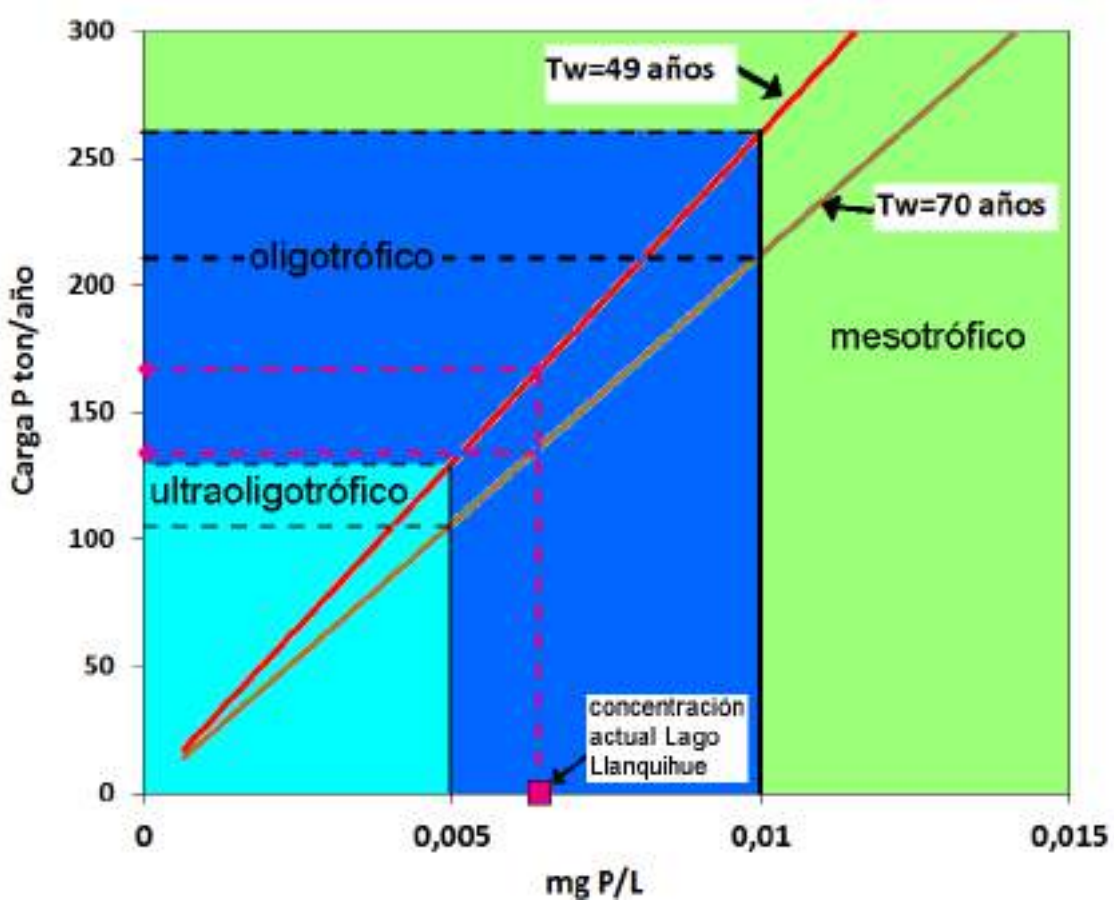


Fig. 142 Relación entre la carga de P y la concentración promedia de P en en un lago de acuerdo al modelo OECD.
Celdas grises: Lago Llanquihue; Tw=tiempo de renovación

Tabla 81 Carga de P asociado a ciertas concentraciónes de P en la columna del agua con características del lago Llanquihue.
Calculada para dos diferentes tiempos de renovación Tw.

	Carga de P (ton/año)		
[P] en la columna de agua (mg/L)	Tw=70 años	Tw=49 años	
0,005	106	130	Límite ultraoligotrófico
0,0064	136	166	estado actual lago
0,008	170	208	
0,010	212	260	Límite oligotrófico

Nuestras estimaciones de la carga actual al lago Llanquihue estaban en el orden de 122 – 132 ton P/año, que es bastante cerca de la carga calculada con el modelo de la OECD para el lago Llanquihue asumiendo un tiempo de renovación teórico de agua Tw = 70 año y equilibrio del lago (Tabla 81). Sin embargo, es probable que el lago no se encuentra en equilibrio y todavía está acumulando P debido al aumento de la carga de P durante los últimas décadas. En este caso (el mas probable) la carga actual debería ser mayor que la estimada en este estudio. Se requiere un estudio acabado sobre las cargas de P.

En el capítulo siguiente se discutirá acerca de las incertidumbres y limitaciones de estos cálculos y de las recomendaciones para la actividad acuícola.

3.3.9 Discusión

Parcialmente ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto a el estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos en capitulos anteriores. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respecto a la pregunta de si el lago Llanquihue es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.3.9.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS Y BASE DE DATOS DGA - A pesar de ser un lago grande e importante para actividades de turismo y de acuicultura, sobre el lago Llanquihue existen pocos estudios históricos completos, en su mayoría concentrados en los años ochenta y noventa. A parte de los estudios básicos de Campos y col. (1988) y posteriormente de Soto y col. (1993), existen estudios menores y de forma esporádica (CENMA 2007). A su vez la base de

datos mas completa e importante consiste en el monitoreo de la calidad de agua por parte de la DGA, que se realiza desde los años ochenta en 4 estaciones ubicados en relativa cercanía de las orillas.

Estudios relativos al balance de nutrientes, de carácter parcial, existen para el año 1993 (Soto et al. 1993) y de menor profundidad para el año 2007 (CENMA, 2007). Un estudio acabado sobre el balance de nutrientes hasta hoy no existe.

La evaluación de la información disponible ha sido evaluada extensamente en los capítulos anteriores. En resumen, se detectaron en prácticamente todos los estudios mencionados problemas mayores – principalmente metodológicos y analíticos - que limitan realizar conclusiones robustas acerca del estado trófico y del riesgo asociado a las actividades en la cuenca del lago Llanquihue.

Las principales limitaciones fueron:

- La existencia de pocas muestras referenciales en el centro del lago Llanquihue. Por lo tanto gran parte del lago no se monitorea.
- Prácticamente no existen mediciones a profundidades > 80-100 m. Considerando que la profundidad máxima es 317 m, consecuentemente falta completamente la información sobre la cálidad del agua de aprox. ~ 50% de la masa del lago y además sobre la gran masa pelágica de la parte central del lago.
- Sin embargo, el problema mas grande e importante se centra en la reducida confiabilidad de la cálidad de los valores de PT, tanto en la base de datos de la DGA como parcialmente también de la Universidad Austral de Chile en los años ochenta y noventa. Actualmente la DGA usa una curva de calibración para PT que no es apta para medir concentraciones menores a 0,012 mg P/L, esto debido a que concentración 0,012 mg P/T delimita el punto inferior de aceptabilidad de la curva de calibración. Sin embargo prácticamente todos los valores de PT en el lago Llanquihue se encuentran en un rango < 0,012 mg P/L.

Respecto a la calidad de la base de datos de la DGA es preocupante que un informe reciente de la consultora POCH (2012), que es la base para el rediseño de la red de monitoreo de la Dirección General de Agua, validó ~ 60% de los

datos de la DGA para los años 2000 – 2008, comparándolos con los estudios de Campos et al. (1988) y Soto (2002) concluyendo en el capítulo 3.4.14 del informe lo siguiente (Tabla 82):

> "En función de estos resultados se indica que los valores de $P\text{-}PO_4$, $P\text{-}P_{TOT}$ y Clorofila a medidos por la DGA son validados para el lago Llanquihue en el periodo 2000-2008 a diferencia de los valores de $N\text{-}NO_3$ y $N\text{-}NH_4$ que no son validados para este lago."

POCH (2012) llega a esta conclusión debido a que los datos de la DGA (PT) están en el mismo – amplio – rango de la literatura (1 – 50 µg P/L) como muestra la siguiente tabla presentada en dicho informe:

Tabla 82 Validación de los datos de la DGA en el informe POCH (2012).
Rojo: valores de PT.

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

Sistema	SiO_2 (mg/l)		$N\text{-}NO_3$ (ug/l)		$N\text{-}NO_2$ (ug/l)		$N\text{-}NH_4$ (ug/l)		$N\text{-}N_{TOT}$ (ug/l)		$P\text{-}PO_4$ (ug/l)		$P\text{-}P_{TOT}$ (ug/l)		Clorofila a (ug/l)	
	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes	DGA	Fuentes
Lago Llanquihue	-	-	22* (2 - 256)	0,1 – 87 0,3 – 5,0	-	-	10** (10 - 110)	< 10	-	-	3** (2 - 44)	< 1 – 5,0 1,5	9* (1 - 50)	< 1 – 13,7 5,5	0,93* (0,30 - 2,90)	0,04 – 1,35 0,50 - 2,00

De acuerdo al presente análisis sobre la calidad de los datos de los estudios referenciales de Campos y Soto, queda evidente que no es posible validar los datos de PT de la DGA con datos dudosos de la literatura. Este consultor por lo tanto esta en desacuerdo con las conclusiones realizadas por POCH (2012).

Considerando la trascendencia de las mediciones de los nutrientes en los cálculos de carga y balance junto al hecho que el Lago Llanquihue tiene una Norma Secundaria, es de suma importancia mejorar sustancialmente la calidad analítica de las mediciones de fósforo total (y también de nitrógeno total). Además es necesario realizar mediciones de la calidad de agua en una estación en el centro del lago hasta profundidades mayores.

B) INFAS – Este consultor tenía acceso a las INFAS de los años 2010, 2011 y parcialmente también del año 2012 de la mayoría de los centros de cultivos. Se

realizó una evaluación de los parámetros físicos/químicos (Fango, materia orgánica, Redox) obteniendo los siguientes resultados:

- Existe una alta heterogeneidad entre los sitios cercanos a las balsas jaulas y los sitios de control en cada centro de cultivo con valores parcialmente incoherentes. Por ejemplo en bahía Rincones (100204) se encontró un muy alto porcentaje de fango en cada sitio, pero al mismo tiempo una muy baja cantidad de materia orgánica.
- En otros centros la distribución de los datos fue coherente, aunque llama la atención la elección de los sitios control, por los mayores y elevados contenidos de la fracción fango y de materia orgánica (Bahía Maitén B 100511, Playa Maqui 100505, Phillipi 1 1001100, Puerto Rosales 100070, etc.).
- Respecto al potencial REDOX, un parametro clave de la RAMA, en la mayoría de los centros de cultivo se reportaron condiciones oxigenadas (> 50-75 mV). Por otro lado, en algunos centros de cultivo, p.e. Playa Maqui, Ensenada Bahía 1, Monte Alegre y Pt. Octay (2011, 2012) casi todas las mediciones indicaron condiciones anóxicas lo que fue coherente con la mayoría de las mediciones del contenido de materia orgánica. Quizás habían problemas metodológicos con la medición del potencial REDOX.

Mas abajo, cuando se discuten los resultados del monitoreo del sedimento realizado en este proyecto, nos pronunciaremos acerca de la validez y/o relevancia de los análisis de sedimento para el monitoreo de la actividad acuícola.

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La revisión de la base de datos sobre el abastecimiento, salidas y existencia de peces, entregada por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura reveló ciertos problemas relacionados a la calidad de los datos (p.e. falta de datos, incoherencias, valores erróneos, etc.). Estos problemas producen un cierto margen de error (se estima entre 5-10%) en la determinación de la producción bruta y neta de los centros de cultivos, observando especialmente un margen de error mayor para los años

noventa hasta el año 2005. Para los años siguientes la base de datos mejoró sustancialmente.

Según esta base de datos la producción bruta (= suma de “salidas”) aumentó desde 1995/6 hasta 2012 por el factor 4x (1995: ~ 2000, 2012: ~ 7800). La producción neta, que es la base para nuestras estimaciones del aporte de P por parte de la actividad acuícola, varió entre ~ 1700 y 7500 toneladas de peces el mismo intervalo de tiempo.

Consecuentemente - y según nuestras estimaciones – también aumentó la carga de P desde ~ 14-16 ton P/año en 1995 a ~ 60-70 ton P/año. Como ya se mencionó anteriormente, esta estimación tiene cierto rango de incertidumbre siendo mas bien conservadora por 2 razones:

- En los años noventa y parte de los años 2000 (hasta 2004) todavía no se controlaba eficientemente el uso de alimento no ingerido (p.e. con detectores de alimento o sistemas para la captación de dicho alimento). Por lo tanto es posible que se administró un exceso de alimento debido a que parte del alimento no fue ingerido por los peces.
- El factor de aporte de P (6,5 – 9,3 kg P/ton peces) que se usó para estimar el aporte de P esta en el rango inferior (“optimo”) de la literatura y similar al factor utilizado por algunos autores chilenos (Soto 1993: 16 kg P/ton peces; León 2011: 7,5-7,9 kg P/ton). Sin embargo, otros autores, tanto chilenos como extranjeros, usaron valores mayores como muestra la siguiente tabla del informe FIP IT 96-54 (realizado por la Universidad Austral de Chile, H. Campos y col.):

Tabla Nº 5. Resumen de la descarga de N y P total aportados por los cultivos de salmonideos en varios estudios (NCC, 1990), comparado con las descargas de estos nutrientes calculadas para los lagos de Chiloé

Especies/ lugar	N total (kg/tonpeces/ año)	P total (kg/tonpeces/ año)	Referencia
Salmonideos en general (Europa)		22 - 110	Alabaster (1982)
Cultivo Salmones (Reino Unido)		15,7	Solbe (1982)
Trucha arcoiris	83	11	Warren-Hansen (1982)
Trucha arcoiris		9,1 - 22,8	Ketola (1982)
Trucha arcoiris 200-250 gr (Polonia)	97	23	Penczak et al. (1982)
Trucha arcoiris (Suiza)	97	3,5	Enell y Löf (1983)
Trucha arcoiris (Escocia)	104	27	Phillips (1985)
Salmones y Truchas (lago Huillinco)	92,5	13,9	Presente estudio
Salmones y Truchas (lago Cucao)	85,7	13,8	idem
Salmones y Truchas (lago Tepuhueico)	77,2	13,1	idem
Salmones y Truchas (lago Natri)	87,0	12,4	idem
Salmones y truchas (lago Tarahuin)	77,8	14,5	idem

Fuente: Informe FIP IT 96-54 (Vol.1)

León (2011) realiza una estimación de la carga de P, que es muy similar a la presentada por este consultor.

Se concluye:

Se debe entender los cálculos realizados por este consultor como conservadores. Existe cierta probabilidad, que la carga real de P por la actividad acuícola sea mayor a la estimada en este informe.

D) MONITOREO DE ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

CORRIENTES – Se midieron las corrientes en todas las bahías con centros de cultivos en el lago Llanquihue. Como resultado general se puede resumir que existen corrientes notables dependientes de la velocidad, orientación del viento y la morfometría de la bahía. Importante desde el punto de vista de este informe es que se puede suponer con un alto grado de certeza que las corrientes (por lo menos en la capa superficial hasta los 15 m de profundidad)

son suficientemente fuertes (2 – 30 cm/s) para producir una buena distribución y mezcla de los nutrientes disueltos. Mayores detalles se discuten en el capítulo 3.3.6.5.
Otros estudios sobre las corrientes en el lago Llanquihue no se conocen.

SEDIMENTO – En el lago Llanquihue se muestrearon 13 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo. Se muestrearon los primeros 3 cm de sedimento superficial en 3 sitios en las cercanías del área de concesión (3 réplicas por sitio, 9 muestras en total por bahía). La idea fue completar y en lo posible verificar la información proveniente de las INFAS (véase arriba).
Adicionalmente se realizaron inmersiones por buzos profesionales en 2 bahías seleccionadas (Phillipi, Pto. Rosales) para obtener registros visuales del fondo de las bahías. Los resultados mas relevantes fueron los siguientes:

- En todas las estaciones el sedimento se encuentra sobre el límite de aceptabilidad de Eh REDOX considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. En las estaciones estudiadas los niveles indican condiciones oxigenadas que variaron entre (130- 200 mV) para las estaciones 100627, 100507, 100070 y de (> 400 mV) en las estaciones 100370, 100390.
- Sin embargo, en un tércio de los casos, especialmente en los centros Bahía Domeyco, Puerto Phillipi 1, Playa Maqui, Puerto Octay y Puerto Rosales, las muestras fueron todos acompañados de un fuerte olor a pescado y H_2S, este último indica condiciones anóxicas, probablemente proveniente de estratos cerca o mas bajo de los primeros 3 cm del sedimento.
- En general, para la mayoría de las estaciones no se observaron porcentajes muy elevados de materia orgánica, aunque hubo casos donde se encontraron valores mayores al 10 % (10-20%) registrados en las bahías ya mencionadas.
- Sin embargo, en general se puede observar, que los sitios de control no parecen realmente ser sitios idóneos de referencia e incluso mostraron en

ocasiones valores similares o de inferior calidad que los sitios supuestamente contaminados.

Estos resultados dejan suponer que la metodología del monitoreo de sedimento deba ser modificada en su diseño (elección de sitios, metodología empleada, evaluación etc.).

El buceo en las 2 bahías Pt. Rosales y Pt. Phillipi aportó adicionalmente al muestreo de sedimento información valiosa sobre la flora, la fauna y el grado de eutrofización de los sedimentos. La bahía Pt. Rosales, que hace 2 años no registra actividades acuícolas, estuvo completamente cubierta de *E.densa,* una especie invasora (Yarrow, et al., 2009) la cual puede tener grandes fluctuaciones en su biomasa y en su presencia en general. Su presencia masiva y gran biomasa presente en esta bahía solamente pudo haberse desarrollada en ambientes meso-eutróficos (Yarrow, et al., 2009).
En la bahía PHILLIPI II *Diplodon chilensis* fue la especie dominante de la macrofauna bentónica a lo largo de todo el gradiente de profundidad. Según Soto y Mena (1999) esta especie se encuentra a mayores densidades en el Lago Llanquihue en ambientes fuertemente intervenidos por actividad salmonicola. La abundancia encontrada en Bahía Phillipi es comparable con otros estudios en los lagos del Sur de Chile (Fuentealba y Henriquez 2009, Parada y Peredo 1994). Debido a la posición de los sifones de *D. chilensis*, direccionados a la columna de agua para capturar alimento, y no hacia el sedimento, sugiere que el ambiente es mesotrofico (Lara, et al., 2002). Además se encontraron muchas esponjas sobre los bivalvos. Ellos son organismos filtradores y son potenciales indicadores sensitivos a cambios de pH, oxigeno disuelto, nitratos y otros potenciales contaminantes ambientales (Hill et al. 2002). Su mayor presencia en la bahía Phillipi II puede estar relacionada con una mayor cantidad de materia orgánica en el agua.

En enero 2009 este consultor (S. Woelfl, M.Grandjean, D. Schories) realizó un peritaje (Causa rol: C-1540-2009, Soc Turistica y Hotelera Pto Viejo / Marine Harvest S.A.) sobre la contaminación de la Bahía Rincones (100204) donde

también se hizo una prospección con buzos en varios transectos de la bahía (Fig. 143, puntos A-D).

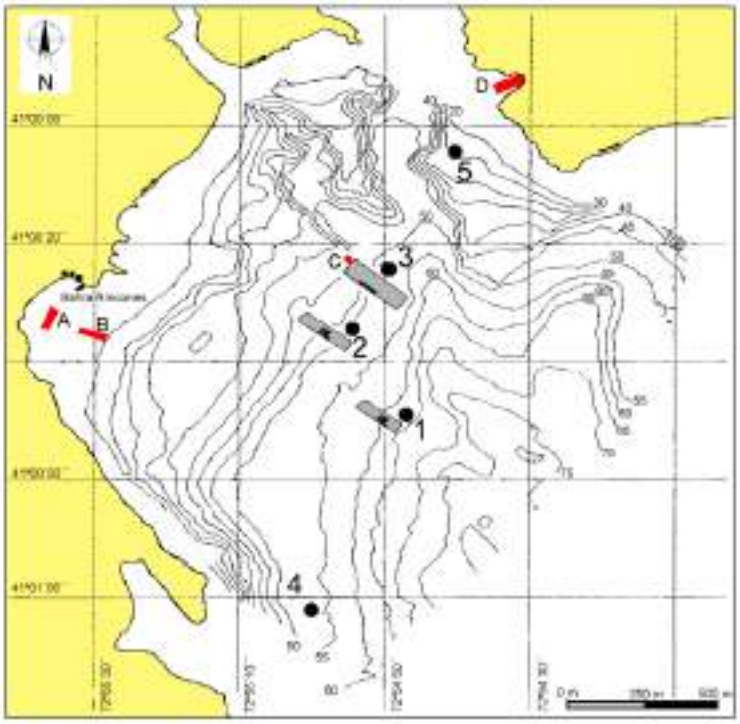


Fig. 143 Ubicación de las estaciones muestreo de agua y sedimento (-5) y de las zonas de buceo (A – D). (Informe pericial S.Woelfl, Causa rol: C-1540-2009)

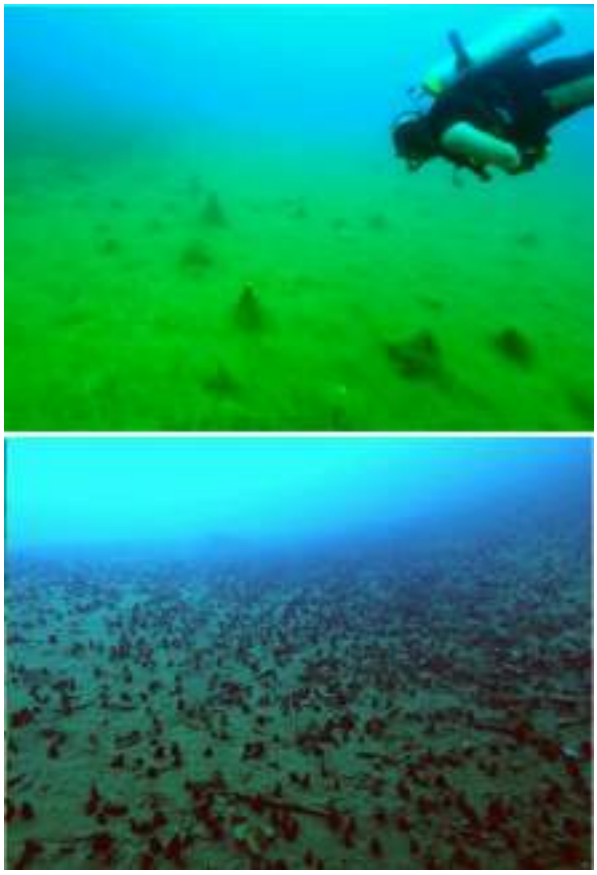


Fig. 144 Fotografías subacuáticas en Bahía Rincones en zona B y D. Fuente: Informe pericial S.Woelfl, Causa rol: C-1540-2009

Como se nota en las fotos aríba (Fig. 144), se encontraron fuertes señales de una contaminación con materia orgánica/nutrientes que sostienen el crecimiento tanto de algas/macrófitas como también de bivalvos filtradores de agua.

CALIDAD DE AGUA – Este estudio aportó por primera vez datos químicos/físicos desde la superficie hasta el fondo en las zonas mas profundas del lago Llanquihue. En general, los perfiles verticales de PT y NT fueron bastante homogéneos en toda la columna de agua. Al comparar los valores del PT, solamente para una bahía (Pt. Rosales) se detectáron valores de fósforo significativamente mas altos (0,012 mgP/L) que el valor promedio en las estaciones referenciales (0,006 mgP/L).

Como se ha mencionado anteriormente, comparaciones con datos recientes y históricos son dificiles debido a los problemas analíticos ya discutidos en el capítulo 3.2.2.

Sin embargo, los datos sobre clorofila a y transparencia, medidos en este estudio, estan en el rango reportado (Soto 2002, base DGA). Respecto a la clorofila a, en la mayoría de las bahías se encontraron valores significativamente mayores en comparación con los valores referenciales en el centro del lago, algo similar a lo reportado por otros autores (UACH 1993, Soto 2002).

Respecto a la pregunta si se puede esperar cambios tróficos en el futuro, este aspecto se discute en el capítulo siguiente.

3.3.9.2 Conclusiones y recomendaciónes

Respecto a la pregunta, si en el futuro se va a mantener el estado todavía oligotrófico o cuan grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Llanquihue, se debería disponer de datos mas recientes sobre el balance de nutrientes al lago para hacer afirmaciones mas acertadas. Especialmente faltan datos reales sobre las cargas de P.

Basandonos en la evaluación bibliográfica, nuestros propios estudios y el balance estimativo se concluye lo siguiente:

- De acuerdo a nuestros resultados el lago tiene una concentración promedio de ~ 0,0064 mg PT/l en la columna de agua en los sitios de control, caracteristico para un estado oligotrófico.
- Parte de los datos históricos sobre PT son dudosos. Sin embargo, es muy probable que la concentración de PT hace 20-30 años era significativamente mas baja (< 0,005 mgP/L).
- En el caso que el lago se encuentre en equilibrio dinámico (véase 2.2.1.1), debería haber recibido una carga de ~ 136-166 ton P/año (Tw: 70 y 49 años). En el caso que todavía no haya alcanzado un estado de equilibrio, el lago estaría experimentando una acumulación de P y en este caso la carga de P sería mayor que 136 (166) ton P/año.
- ·Según nuestras estimaciones tentativas la carga total de P fue ~ 122-132 ton P/año. Estas estimaciones se consideran conservadoras.
- La carga crítica para el lago Llanquihue - para no sobrepasar 0,010 mg P/l en la columna de agua y perder su condición oligotrófica - es ~ 210 tonP/año.
- Considerando que el lago Llanquihue necesita entre 12 y 22 años para alcanzar 95% de su equilibrio (para P), y considerando el contínuo aumento de la carga de P no solo por la actividad acuícola sino también por otras fuentes (p.e. pisciculturas, ganadería, agricultura, turismo) en las últimas dos décadas, es muy probable, que el lago todavía esta experimentando una fase de acumulación de P en su columna de agua. Solamente un estudio del balance de nutrientes puede contestar esta pregunta con datos robustos.
- En consideración de la incertidumbre respecto a la carga real de P al lago Llanquihue, este consultor esta convencido que se debe ser conservador y mantener el estado actual de la trofía del lago Llanquihue, es decir la concentración promedio de P en máximo 0,006 mgP/L. Se debe ser muy cauteloso y conservador al respecto debido a que el tiempo de resilencia del lago Llanquihue es larga. Cambios negativos como p.e. aumento de las cargas de nutrientes se manifiestan recíen en (10-) 20 años. Este escenario

es por supuesto también válido para cambios positivos (o sea disminución de la carga), por lo cual decisiones respecto al manejo de las actividades dentro de la cuenca del lago Llanquihue deben tomar en cuenta estas limitaciones.

- En relación al potencial de aumentar su estado trófico, este consultor estima que este es considerable debido a que el lago todavía no se encuentra en un equilibrio y ha experimentado un aumento continuó de su carga en los últimas décadas.
- En este sentido no se comparte la evaluación realizada por el informe de POCH (2012) que evalua el potencial para aumentar la condición trófica como “baja”, porque estima que es co-limitado por P y N (véase tabla abajo).

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

Sistema	Condición trófica actual	Patrón de variación temporal de la condición trófica (1)	Potencial para aumentar la condición trófica (2)
Lago Llanquihue	Oligotrofia	Estable	Bajo

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

Sistema	Condición trófica actual	Potencial para aumento de trofia	Grado de intervención antrópica	Clasificación de lagos y embalses (3)
Lago Llanquihue	Oligotrofia	Bajo	Alto	Clase 3

(1) Se asignó un Alto grado de intervención antrópica por estar regulado artificialmente.
(2) Se consideró con un Alto potencial de aumento de la condición trófica debido a que este lago ha presentado un aumento de la trofia que es significativo en el tiempo.
(3) **Clases de lagos**:

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

Fuente: Informe DGA (POCH) S.I.T. N° 192 (2012)

- Por lo tanto no deberia cambiar su trofía cuando aumenta solamente P. Esta afirmación es parcialmente correcto, pero no toma en consideración que las actividades antrópicas aportan no solamente P, sino también N. En

el caso de las actividades acuícolas, la carga de N es acorde a la carga de P, por lo cual el potencial para aumentar la condición trófica también es alta.

Finalmente, se hace las siguientes recomendaciones para el Lago Llanquihue:

1) Respecto a la actividad acuícola, se recomienda enfáticamente **NO** aumentar la actividad acuícola para no aumentar el contenido de P en el lago y para no sobrepasar en un futuro la capacidad de carga del lago. Se debe al contrario tratar de disminuir la actividad acuícola y pisciculturas, que según nuestras estimaciones aportarían alrededor de 57% de la carga total de P.
2) Para disponer de una evaluación de la carga de nutrientes mas robusta y para disponer de una base de datos mas confiable, es indispensable realizar un balance de los nutrientes en la cuenca del lago Llanquihue.
3) Se debe considerar ampliar el monitoreo del fondo en las bahías con centros de cultivos. Se recomiendo un monitoreo mas amplio, preferentemente acompañado con filmaciones subacuáticas.
4) Considerando la trascendencia de las mediciones de los nutrientes en los cálculos de carga y balance junto al hecho que el Lago Llanquihue tiene una Norma Secundaria, es de suma importancia mejorar sustancialmente la calidad analítica de las mediciones de fósforo total (y también de nitrógeno total y otros nutrientes inorgánicos) por parte de la Dirección General de Aguas.
5) Es necesario realizar mediciones de la calidad de agua en una estación en el centro del lago hasta profundidades mayores.
6) Se recomienda instalar un limnigráfo en la desembocadura del río Maullin para obtener datos confiables acerca de las salidas del lago Llanquihue.

3.4 LAGO CHAPO

3.4.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Chapo tiene una superficie de 45 km^2 y una cuenca hidrográfica 6,8 veces mayor (Tabla 83). Su profundidad máxima y media es 298 m y 151 m (datos: 1985; Woelfl et al. 2003). Su tiempo de renovación es ~ 5,5 años para el año 1985/86 según Woelfl et al. 2003 y 3,4 años para el año 1998 según informe FIP-IT/97-40.

Tabla 83 Características básicas del lago Chapo (Woelfl et al. 2003).

Superficie (km^2)	45,4
Cuenca (km^2)	310
Relación cuenca/lago	6,8
Volumen (km^3)	6,9
Profundidad máxima (m)	298
Profundidad media (m)	151
Tiempo de renovación (años)	5,5

INFORMACIÓN RECOPILADA

La siguiente tabla resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Chapo. Sobre este lago existen datos desde 1986, reportados por Villalobos y col. (2003) y Woelfl y col. (2003), el estudio FIP-IT/97-40 (1998/99) y del banco de datos de la DGA (2001-2012) (Tabla 84). Respecto a la información necesaria para realizar un balance de nutrientes, existe el estudio FIP-IT/97-40, que realizó un estudio sobre este tema, el cual se analiza a continuación.

Tabla 84 Resumen de los datos disponibles para el lago Chapo.
verde: información disponible
1: Woelfl et al. (2003); 2: Universidad de Valparaiso (1999) proyecto FIP-IT/97-40; 3: DGA, banco de datos; 4: datos entregados por Subpesca; 5: Villalobos et al. (2003); 6: Woelfl (2007)

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1986 1998		Primer mapa Se elabora segundo mapa	1 2
Balance hídrico	1998		Incluyó subcuencas	2
Calidad química agua lago	1986-87 1998-99 2001 - 2012 2004		mensual 14 estaciones, mensual, 3 profundidades Red de monitoreo DGA Epilimnion, estacional	1 2 3 6
Calidad química agua afluentes	1998		26 afluentes, estacional	2
Calidad química agua efluente	1998		Mensual, datos de central hidroeléctrica	2
Cuantificación carga centros	1998		4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles)	2
Cuantificación carga otras fuentes	1998			2
Balance de nutrientes,	1998			2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1998		catastro bosque CONAF	2
Biología	1986		Fito-, zooplancton	5
Calidad sedimentos	1998		3 estaciones (una bajo la influencia de centro, dos controles)	2
Correntometría	1998		0-5-10 m, medición estacional	2
Infas	2010-2012			4
Producción peces	1995-2012			4
Régimen térmico	1986-87 1998-99		0-140 m 0-100 m	1 2

3.4.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ESTUDIO

La Universidad de Valparaíso (1999) realizó durante 1998 un estudio con el propósito de determinar la capacidad de carga y balance de P y N del lago Chapo (Informe FIP IT 97-40). Sus alcances y limitaciones se presentan a continuación:

USO DEL SUELO

Metodología – Los mapas de uso de suelo se basaron en mapas topográficos del IGM escala 1:50000 y en mapas del "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF-Conama-Birf, 1997). La descripción de los tipos de bosques presentes se realizó por la fisionomía de la vegetación, basado en datos aportados por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (CONAF-Conama-Birf, 1997).

Resultados – Los tipos dominantes de vegetación en las cuencas del lago son bosques o regeneración natural, bosque achaparrado y estadios sucesionales de perturbaciones de origen antrópico (Tabla 85).

Tabla 85 Tipos de vegetación en lago Chapo.

	Superficie		
Tipo de Vegetación	**Hectáreas**	**Km^2**	**% superficie cuenca**
Matorral-Pradera	31,3	0,3	0,12
Bosque Nativo adulto	16873,9	168,7	68,86
Bosque Nativo renoval	281,1	2,8	1,14
Bosque Nativo Achaparrado	4209,9	42,1	17,18
Terrenos Húmedos	157,7	1,6	0,64
Renoval	2051,3	20,5	8,37
Matorral Arborescente	257,9	2,6	1,05
Matorral	223,6	2,2	0,91
Praderas Perennes	417,3	4,2	0,64

Vegetación dominada en un 70% por bosques nativos de tipo adulto. Partes altas cubiertas por bosques naturales achaparrados que alcanzan el 17% de la superficie de la cuenca. Los renovales cubren un 8%, estos tres tipos de vegetación cubren el 95% de la vegetación del lago ((Tabla 85, Fig. 145).

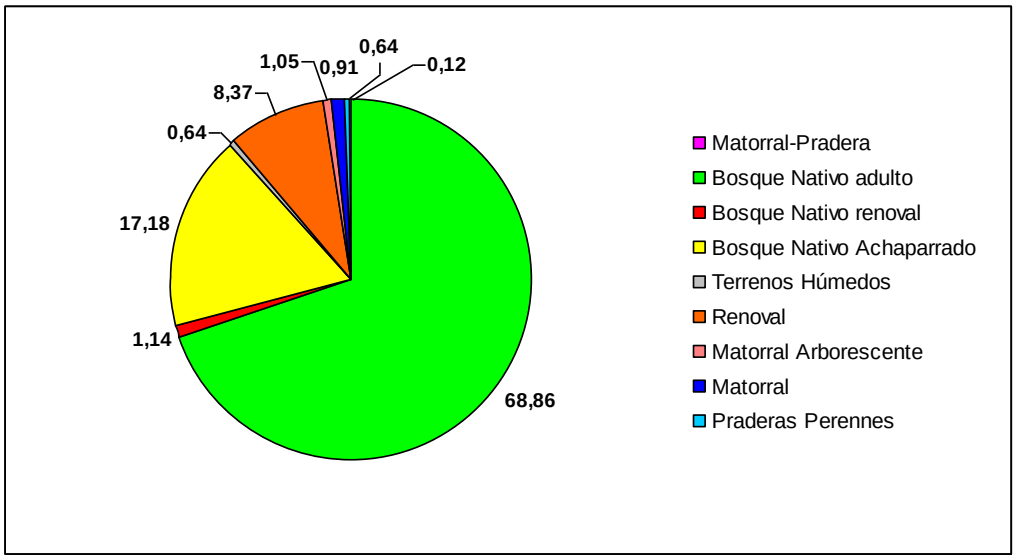


Fig. 145 Porcentajes de superficie vegetacional lago Chapo.

Evaluación

No hay observaciones.

CAUDALES Y ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Para determinar la escorrentía superficial en las zonas adyacentes al lago se instalaron pequeñas parcelas experimentales. En el caso de los ríos se midieron los caudales de 30 afluentes durante una campaña de muestreo de verano (enero), utilizando el método de área-velocidad. En las campañas de invierno (junio) y primavera (noviembre) se midieron los caudales de 11 afluentes. Para estimar los aportes de las precipitaciones y evaporación del lago se instaló una estación meteorológica. Para evaluar la descarga de agua del lago se usaron los caudales diarios de salida generados en la central hidroeléctrica Canutillar, proporcionados por ENDESA.

ENTRADAS DE NUTRIENTES AL LAGO

Metodología

Carga por afluentes - La estimación del ingreso de nutrientes se realizó en un período anual que abarcó desde enero a diciembre de 1998, período en el cual se efectuaron 3 muestreos enero-febrero, junio y noviembre. En la primera campaña de muestreo efectuada entre enero y febrero se muestrearon todos los ríos, esteros y afluentes menores del lago. Luego de esto se realizo un análisis de componentes principales donde se identificaron los afluentes principales, que se muestrearon en los terrenos posteriores, la contribución de los afluentes menores se determino por una proyección basada en la carga obtenida en la primera campaña.

Se muestrearon 26 afluentes, en 9 de los cauces principales se efectuaron 2 muestreos espaciados en un lapso de 10 días. Se muestrearon 13 cursos de agua de manera intensiva en junio y noviembre con 2 mediciones separadas por un lapso de una semana, los controles mensuales solo se efectuaron en río Negro, en este lago la información del efluente se obtuvo de datos proporcionados por Endesa. Los caudales de los afluentes y efluente se calcularon de acuerdo a la medida del área correspondiente a la sección de descarga y su velocidad de corriente, siguiendo normas hidrométricas de la Dirección General de Aguas para los aforos.

Carga por escurrimiento superficial - El ingreso por escurrimiento superficial difuso se efectuó por la selección de dos parcelas (bosque renoval y pradera).

Carga por precipitación - Las precipitaciones y evaporación se estimaron por estación metereológica donde cada parámetro se registro cada dos horas, la cantidad de agua ingresada por precipitaciones se calculó a partir de la suma de la precipitación registrada y el área de superficie del lago.

Resultados

Carga afluentes - Las concentraciones de P total en los ríos fue en promedio 8,7 µg P/L (mediana: 7,1 µg P/L; rango: 3,4 - 69,8 µg P/L). Se estima una carga fluvial anual de 7384 kg P/año basándose en estimaciones diarias.

Carga escurrimiento superficial - Caudal de escurrimiento difuso equivale al 1,4% del total aportado por cursos afluentes, con una contribución anual de 0,3 kg de fósforo.

Carga precipitación - Se midieron las concentraciónes de P total solamente en tres ocaciones obteniendo valores entre 12 y 18 µg P/L (Tabla 86). La carga anual se calculó obteniendo un valor de 1351 kg P/año.

Tabla 86 Concentraciones de N y P total en precipitaciones.

Mes	N total (µg/L)	P total (µg/L)
enero	482	
24-30 enero	-	
febrero	377	
marzo	940	
abril	366	
mayo	518	
junio	327	
julio	355	
agosto	99,3	12
septiembre	118	
octubre	143	12
noviembre	165	18
diciembre	1525	

Evaluación

La estimación anual de ingresos de N por los afluentes al lago es aproximativa, ya que se realizaron tres campañas intensivas de terreno durante un año, considerando períodos que reflejan la variabilidad anual en los caudales y concentraciones de nutrientes. Los resultados de ingreso de fósforo y nitrógeno por los afluentes se expresan en cargas diarias de ingreso (kg/dia). Sin embargo, en la metodología no se indica que modelo hidrológico se utilizó para estimar caudales diarios de los ríos y tampoco que método de interpolación se usó para estimar concentraciones diarias de N y P. Por lo tanto, estos resultados son cuestionables.

La estimación de la carga por escurrimiento superficial difusa no se puede verificar por falta de datos en el informe. No se entiende la baja carga de 0,3 kg

P/año cuando el caudal de escurrimiento difuso fue equivalente al 1,4% del total aportado por cursos afluentes. Si se estima una concentración de P similar a la de los ríos (8,7 µg P/L), la carga por escurrimiento superficial difuso debería ser 103 kgP/año (y no 0,3 kg P/año). No obstante, se estima que la carga por escurrimiento superficial es prácticamente insignificante.

Las entradas de nutrientes vía precipitaciones son estimaciones que se basan en solo tres mediciones de P. No se presentan las estimaciones de la carga mensual (como si se presentó para N), por lo cual no se puede verificar la estimación anual de la carga de P.

Las mediciones de las precipitaciones son adecuadas.

INGRESO DE P DESDE CENTROS DE CULTIVOS

Metodología - El balance de ingreso de P (y N) por aporte alimentario se estimó considerando la incorporaion de P en los peces, la fracción liberada a la columna de agua y la fracción depositada al alcanzar el fondo. Se analizó el contenido de P en el alimento estacionalmente y se recabó también la información comercial al respecto. El análisis de P y N se realizaron en el laboratorio Tecnolab.

Trampas de captación colocadas en 5 m de profundidad bajo las balsas jaulas (durante 210 horas) sirvieron para estimar el aporte de material sedimentado de fecas y alimento no consumido por salmonideos. El análisis de P y N se realizaron en el laboratorio de Oceanografía de la U. Católica de Valparaiso.

Adicionalmente se analizaron el contenido de P (y N) en los sedimentos bajo las balsas jaulas. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de Química del Mar de la U. Católica de Valparaiso.

Resultados - La tabla 87 reporta los valores promedios del contenido de P en el alimento, que varía entre 0,93-1,20 % del peso.

Tabla 87 Concentración de P, N, C y materia orgánica en los pelets usado en el lago Chapo.
P: columna naranja

Tabla 21. Valores promedio ± desviación estándar de concentración de fósforo total, nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica presente en los alimentos de los centros de cultivo del lago Chapo agrupados por fecha.

CUATRIMESTRE (MES)	FOSFORO TOTAL %	NITROGENO TOTAL %	CARBONO ORGANICO %	MATERIA ORGANICA %
1° (ENERO)	0,93 ± 0,09	7,80 ± 0,02	51,4 ± 0,21	82,9 ± 0,28
1° (ENERO)	1,06 ± 0,05	7,09 ± 0,07	52,4 ± 0,35	81,6 ± 0,07
2° (JUNIO)	0,98 ± 0,04	6,76 ± 0,08	-	-
3° (NOVIEMBRE	1,20 ± 0,07	7,17 ± 0,06	48,6 ± 0,35	88,5 ± 0,38

El flujo de P fue entre 1,2 y 8,1 g P/m^2 por día debajo de las balsas jaulas (Tabla 88).

Tabla 88 Flujo estacional de N, P (columna naranja) y materia orgánica en el lago Chapo.

Tabla 23. Flujo estacional de nitrógeno, fósforo y materia orgánica aportados por la sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonidos cultivados en el lago Chapo. Valores promedio ± error estándar. N_t= nitrógeno total; P_t= fósforo total; MO= materia orgánica.

ESTACION DEL AÑO	UBICACION DE CENTRO DE CULTIVO	FLUJO DE N_t g/m^2-día	FLUJO DE P_t g/m^2-día	FLUJO DE MO g/m^2-día
Verano	Coluil	1,15 ± 0,29	6,2 ± 1,49	25 ± 28,4
	El Desagüe	1,93 ± 0,75	2,5 ± 2,8	33 ± 105
Invierno	Coluil	1,69 ± 1,40	1,2 ± 1,74	30 ± 110
	río Este	14,2 ± 3,4	2,0 ± 0,84	158 ± 197
	El Desagüe	1,48 ± 2,00	4,6 ± 1,07	101 ± 207
Primavera	Coluil	1,94 ± 0,68	8,1 ± 0,57	55 ± 82,9
	río Este	5,01 ± 0,75	5,8 ± 3,8	102

La carga total aportada por los centros de cultivos fue **21147** kg P por año (=21,147 ton) como consta la tabla 27 en el informe FIP (Tabla 89).

Tabla 89 Balance de P del lago Chapo durante 1998.

Tabla 27. Balance de Fósforo del lago Chapo durante el año 1998.

Masa total de P en el lago kg	Ingreso por Afluentes kg	Ingreso por Precipitaciones kg	Ingreso por Escurrimiento difuso kg	Ingreso por Centros de cultivo kg	Egreso por Efluente kg	Intercambio con sedimentos kg
49598	7384	1351	0,3	21147	15044	-14839

Evaluación

La metodología para calcular la carga total de P aportada por los centros de cultivo no esta explícitamente descrita en ninguna parte del informe, ni en la metodología ni en el capitulo correspondiente (capítulo 2, pág. 71-74). Sin embargo, en el capítulo 3.4 (pág. 92) aparece en la tabla 27 la carga aportada por los centros de cultivo (21 ton P/año), que correspondería a 70% de la carga total que recibe el lago (véase abajo). Supuestamente se calculó esta carga basándose en los flujos diarios de P sedimentado (Tabla 88) y el area correspondiente a las balsas jaulas. Esta suposición se basa en la tabla 29 del informe que recién en el siguiente capítulo 4 del informe (pág. 92 -94) aparece y donde se entrega información sobre el area de algunos centros (Tabla 90, columna azul) y sobre la producción anual de los peces (Tabla 90, columna naranja). Según esta información la producción de peces fue ≈ 260 ton y el area de los centros fue por lo menos ≈ 5000 m^2 (falta información para algunos centros).

Tabla 90 Producción de salmonidos en el lago Chapo durante 1998.

Tabla 29. Producción de salmónidos en centros de cultivo del lago Chapo

Centro	Nombre común	Nº promedio de peces / balsa jaula	Peso promedio de entrada /g	Peso promedio de salida /g	Biomasa total producida /kg
El Desague	Salmón del Atlántico	55000	2,5	32	101489
20 j*100 m^2	Trucha arcoiris	45000	2,5	48	
30j* 36 m^2					
Colui	Salmón del Atlántico	27000	2,5	50	130205
20 j* 100m^2	Trucha arcoiris	40000	2,25	60	
Este	Salmón del Atlántico	40000		50	18000
Pitote	Salmón del Atlántico				
	(95-97)	50000	1,5	50	2500
	(98-99)	40000	1,5	15	600
	Salmón Coho (95-97)	50000	1	50	2500
	Salmón Coho (98-99)	35000	0,8	70	2450

Suma = 257.744 kg

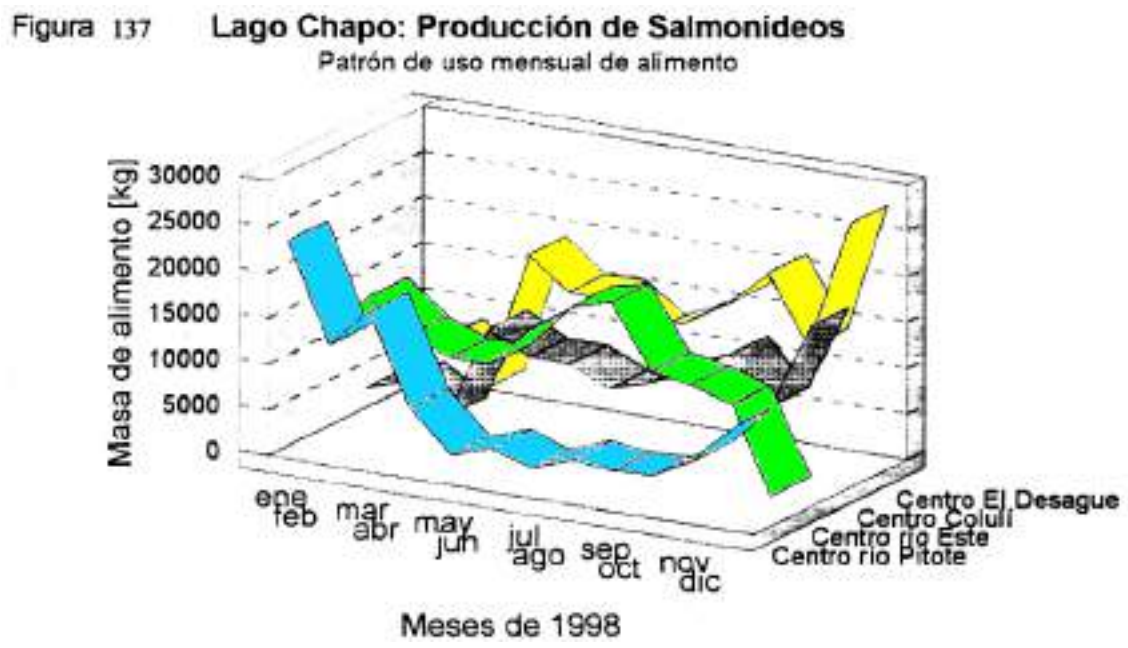


Fig. 146 Masa de alimento usado en el lago Chapo.

En el mismo capítulo se presenta además una figura (Fig. 146) sobre la masa de alimento utilizado sin entregar valores específicos (según el gráfico debe haber sido ~350--400 ton alimento).

Se supone que la estimación de la carga de P aportada por los centros es sobreestimada por lo menos por el factor 6-7x, si seguimos las siguientes consideraciones:

a) el contenido de P en los pelets fue según el propio informe ~0,9-1,2% (Tabla 87), por lo cual el contenido total de P en la totalidad del alimento suministrado es ~ 3,5-4 ton. Parte del P se asimila en los peces (generalmente entre 15-25%), el resto queda liberado al lago.

b) Para producir 260 ton de salmonidos se necesita aproximadamente 312 - 390 ton de alimento dependiendo del factor de conversión que se aplica (en este ejemplo fue 1,2 y 1,5; probable es 1,5 para el año 1998 cuando se entregó el alimento todavía manualmente).

c) Para aportar 21 ton de P al lago a través de alimento se debía haber utilizado 21 x 100 = 2100 ton de alimento, masa que según el mismo informe no se hizo.

d) Nuestras propias estimaciones acerca del aporte de P por los centros (véase abajo 3.4.3) son: ~465 ton producción de peces y aporte ~2,9-3,4-4,6 ton P

Se concluye que el informe FIP no entrega claramente la metodología acerca de cómo se calculó la carga de P (y también de N) aportada por los centros de cultivo. El valor entregado (21 ton P) es claramente erróneo siendo aproximadamente 6-7x veces.

CONTENIDO DE P EN LA COLUMNA DE AGUA

Metodología – Se midió en 3 muestreos estacionales (verano, invierno, primavera), en cada uno de ellos se realizaron dos campañas espaciadas por un lapso de 5 días. Se seleccionaron 14 estaciones cubriendo toda el área del lago con el fin de permitir un adecuado cálculo de isolíneas.

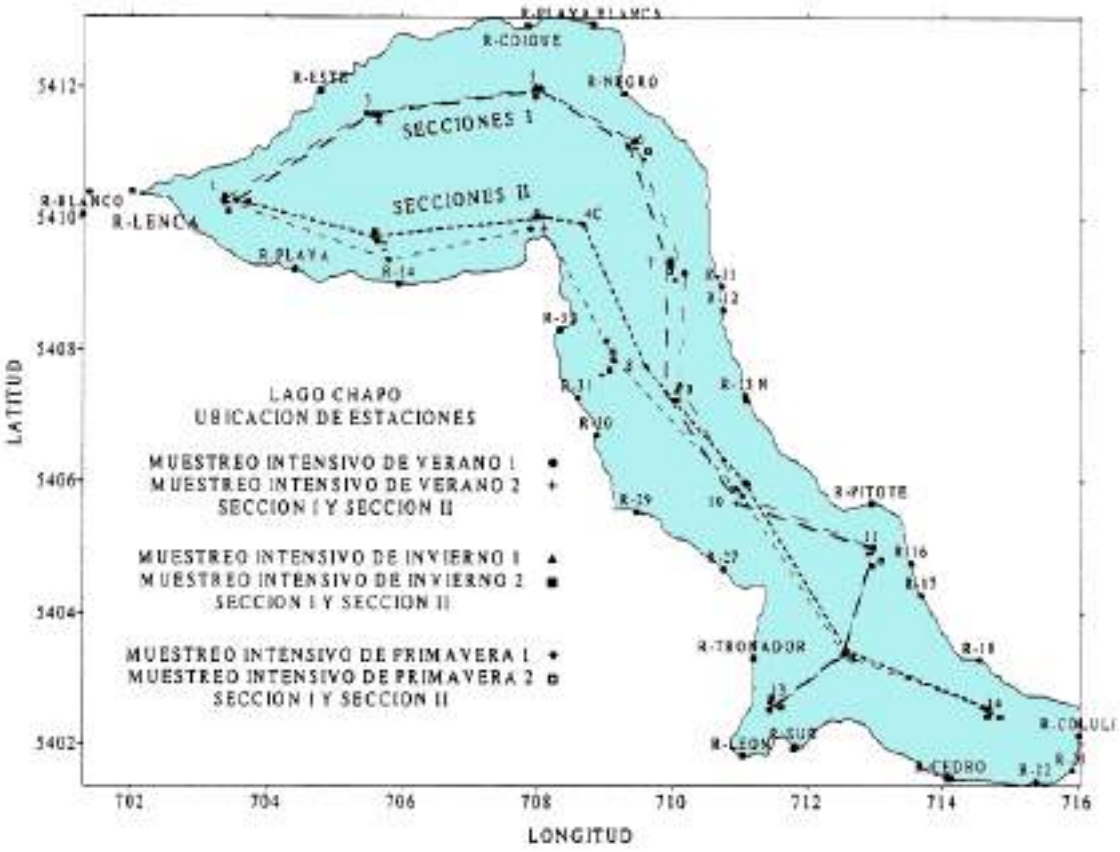


Fig. 147 Diseño muestreo estacional de la columna de agua y los afluentes del lago Chapo.

Se presentan los dos transectos longitudinales (secciones I y II) y la ubicación de los afluentes muestreados (R1-R34).

En cada estación se obtuvieron muestras a tres profundidades superficie (**0 m**), termoclina (**20-25 m**), e hipolimnion (**90m**), llegando a 200 y 230 m en las estaciones más profundas. Luego se realizó una interpolación de distribuciones horizontales y verticales (Fig. 147).

Resultados –En el informe se presentan varias figuras donde aparecen los valores crudos superficiales y verticales. Los valores de P total fluctuaron entre 4 y 9 µg/L con valores extremos y ocasionales en inmediaciones ribera norte y NE con poco más de 20 µg/L, la distribución temporal de P muestra valores bajos (<10 µg/L) y una uniformidad vertical durante el año, alternando entre valores de < 6 µg/L y 8 µg/L.

Evaluación

El diseño general del muestreo de la columna de agua es poco común y una mezcla entre un muestreo horizontal y vertical con claras limitaciones en el eje vertical. El problema principal es que se muestreó solo en 3 profundidades (0-25-90m). Solamente en una ocación (primavera) se muestreó también en profundidades mayores (200 m en estación 8 y 230 m en estación 4c). Teniendo en cuenta la profundidad media de 151 m, la cantidad de muestras hipolimnéticas de mayor profundidad claramente es insuficiente para estimar bien la masa total de P en la columna de agua.

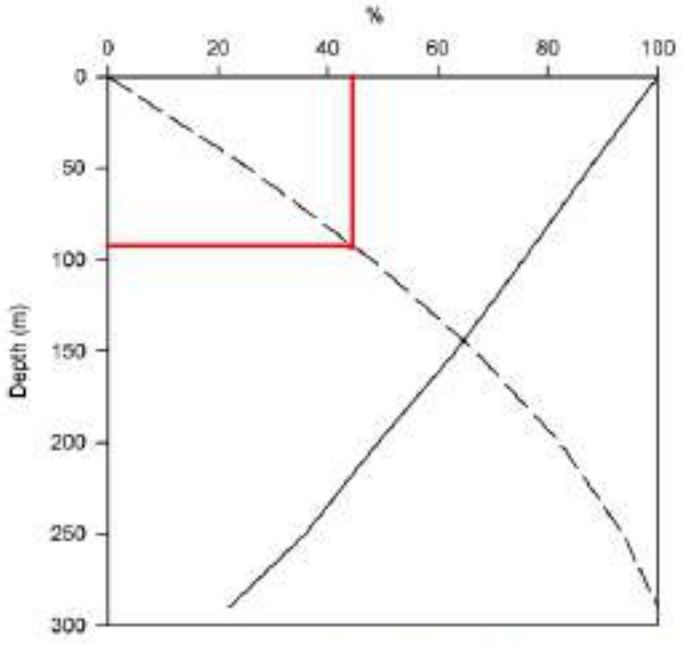


Figure 2. Hypsographic (depth-area) curve (solid line) and depth-volume curve (dashed line) of Lake Chapo.

Fig. 148 Curva hipsográfica de area y volumen del lago Chapo (Woelfl et al. 2003).

Esto queda claro si uno considera que no se obtuvo datos sobre P en ~ 55 % del volumen del lago Chapo, correspondiendo a profundidades < 90 m (Fig. 148).

Respecto a la determinación de la masa de P en el lago, se discute este aspecto abajo (balance de P).

EGRESO DE NUTRIENTES POR EL EFLUENTE

Metodología – No fue posible muestrear directamente el efluente porque el lago desaguó sólo por los ductos de alimentación de las turbinas de la central hidroeléctrica de Canutillar, a unos 30 m de profundidad bajo el espejo natural de aguas. Se estimó la descarga a partir de los caudales diarios de salida (datos entregados por ENDESA) y las concentraciones de P medidas a 25 m de profundidad.

Resultados – Anualmente se descargó a través de la central hidroeléctrica 15044 kg (= 15,04 ton) P/año.

Evaluación

No se presenta valores crudos (caudal, P) para verificar los cálculos hechos, solamente se presentan los resultados finales sobre la salida diaria de P en una tabla (12 en el informe FIP). Sin embargo, considerando el tiempo de renovación (3,4 años) se puede calcular que la concentración promedia de P fue ~ 0,0074 mg P/L, lo que esta en el rango reportado para la columna de agua. Se concluye que la estimación de la descarga parece confiable desde el punto de vista de coherencia. Sin embargo, no se excluye la posibilidad que este valor esta sobreestimado (véase abajo).

BALANCE HIDRICO

Metodología–El balance se estableció por la variación del volumen a partir de los ingresos y egresos de agua por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta V = Q_{af} - Q_{ef} + P*A_s - E*A_s + G$$

Donde:
ΔV: variación del contenido del agua del lago en m^3
Qaf: aporte de agua al lago por afluentes en m^3
Q_{ef}: egreso de agua del lago por efluente en m^3
P: precipitación en m
E: agua evaporada en m
A_s: área superficial del espejo de agua del lago
G: flujo de agua por escurrimiento subterráneo en m^3

Para estimar el balance se considero como ingresos los afluentes, aportes por lluvia, aporte subterráneo por diferencias de nivel entre la cota medida y la cota esperada. El egreso se cuantifico por el caudal de descarga de central Canutillar y evaporación.

Resultados–Se observa una irregularidad en caudales diarios alcanzando valores de hasta 300 m^3/s. El caudal de pérdida por descarga hacia la central hidroeléctrica presentó mayor regularidad entre febrero y septiembre con valores máximos del orden de 90m^3/s. el volumen del lago presentaría una perdida total anual de alrededor de 0,967 km^3.
El calculo de tiempo de renovación de volumen de lago se estimo en **3,4** años, con lo que la capacidad de renovación anual es de un 30%.

Evaluación
No hay observaciones, el balance hídrico parece correcto.

DETERMINACION DEL BALANCE DE FOSFORO Y CARGA CRÍTICA

Metodología–La determinación del balance de fósforo fue por la suma de los flujos ingresos y egresos, cada uno calculado por el producto entre le correspondiente flujo de agua y su concentración, la ecuación utilizada fue:

$$\mathbf{M = (\Sigma V_{AF}C_{AF} + V_{PP}C_{PP} + V_E C_E + AC_A) - \Sigma V_{EF}C_{EF} \pm IS}$$

Donde:
M: contenido másico total de P o N
$V_{af}C_{af}$: Masa ingresada por afluente del lago

$V_{pp}C_{pp}$: Masa suministrada directamente por precipitaciones
$V_e\,C_e$: Masa perdida con un efluente
IS: Masa intercambiada con el sedimento

El contenido total de fósforo en el agua se realizó por **dos** vías, en una se procedió a sumar los valores de contenido por estrato, que resulta del producto individual del volumen por estrato de profundidad y de su concentración por estrato.

La segunda se llevo a cabo utilizando el producto del volumen del lago y la concentración total, calculando por la fórmula derivada de modelo de Dillon y Rigler (1974)

$$\mathbf{C_{tot} = \Sigma L*(1-R) / Z*f}$$

Donde:

ΣL: suma de cargas de ingreso al lago
R: valor de la retención por sedimentación
Z: profundidad media
f: fracción del lago renovada anualmente

La retención (R) se estimo según Larsen y Mercier (1976)

$$\mathbf{R = 1/ 1+ 0{,}747*f^{0{,}507}\ (= 0{,}71)}$$

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

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

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (151 m) y el tiempo de renovación teórica del lago (3,4 años).

Resultados– La masa total de P en la columna del lago Chapo fue en promedio 49 ton P con variaciones (desviación estandar) de ~ 15% durante el año 1998 (Tabla 91). En base a estos datos y el volumen del lago (6,86 km^3) este consultor calculó concentraciones promedias de PT en la columna de agua del lago Chapo, que varían entre 0,0062 y 0,0087 mgP/L.

Tabla 91 Masa total de P y concentración de PT calculada en lago Chapo.

Mes	P total kg		mg P/L calculado
Enero	47706		0,0070
Febrero	47269		0,0069
Marzo	42863		0,0062
Abril	55105		0,0080
Mayo	43448		0,0063
Junio	55885		0,0081
Julio	42986		0,0063
Agosto	47314		0,0069
Septiembre	52902		0,0077
Octubre	42627		0,0064
Noviembre	57598		0,0084
Diciembre	59470		0,0087
Promedio	**49598 ± 6266**		**0,0072 ± 0,0009**

Suma de ingresos de P durante el año 1998 fue de 28.5 ton (26% desde afluentes y 74% desde centros de cultivo), el egreso total de P hacia la central Canutillar en 1998 fue de 15 ton (Tabla 92). El tiempo de residencia del P se calculo a partir del balance de masas y fue de 1,66 años, que implica que el 60% del contenido total de P es renovado o reemplazado cada año.

Tabla 92 Balance de P durante 1998 en el lago Chapo.

Masa total P en lago kg	Ingreso por afluentes kg	Ingreso por precipitaciones kg	Ingreso por escurrimiento difuso kg	Ingreso por centros de cultivo kg	Egreso por efluente kg	Intercambio con sedimentos kg
49598	7384	1351	0,3	21147	15044	-14839

La carga critica de fósforo según modelo Vollenweider modificado por Dillon y Rigler fue 1241 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$. Ya que la carga de fósforo medida 659 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ fue la mitad de la carga critica, el estudio concluye que la capacidad de carga en relación al fósforo no se encontraría sobrepasada.

Evaluación

No queda claro como se calculó finalmente la masa total de P en la columna de agua. Se menciona dos métodos distintos, pero presenta solamente una tabla con valores. Respecto al balance de P, queda evidente que es errónea debido a la sobreestimación masiva del ingreso de P por los cultivos.
Es probable que la masa total de P en la columna de agua es demasido alta considerando las menores cargas reales de P, que según el modelo de Vollenweider no se deberían reflejar en una concentración de 0,0072 mg P/L, sino en una concentración mucho menor (0,004-0,005 mgP/L).
La carga crítica esta bien calculada.

CONCLUSION FINAL

En casi la totalidad del estudio es imposible o muy difícil verificar los cálculos realizados para obtener las diferentes cargas, el contenido de P en la columna de agua y la salida de nutrientes por el efluente. Esto es debido a la falta de entrega de los datos crudos imprescindibles (que por cierto son muchos) en tablas (no solamente en numerosas figuras) y por la falta de transparencia acerca de los cálculos principales e importantes. En el caso de las cargas de P aportadas por los centros - que son muy sobreestimadas (factor 6-7x !!) - fue prácticamente imposible verificar el resultado entregado.
Se concluye que el balance del lago Chapo es en esencia deficiente con errores mayores (tabla 93).

Tabla 93 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Chapo.

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico			
Cuantificación cargas afluentes	Dudosa por balance hídrico		
Cuantificación carga precipitación	Correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas	Sobreestimación por factor 6-7x veces		
Cuantificación otras cargas	Correcta, pero insignificante		
Contenido P lago	dudosa		
Descarga efluentes	Coherente, pero con dudas respecto a valores		
Modelos utilizados	Apropiados		
Balance de P	errónea por carga errónea de centros y dudoso por contenido de P en columna		

3.4.3 Producción de peces

En el lago Chapo se evidencia la existencia de 6 concesiones otorgadas con producción activa que alcanzan en promedio 1286 (ton/año) en el período 1995-2012 (Tabla 94). Se observa una tendencia al aumento en el volumen de producción entre los años 1995-2009 (máximo en 2009: 2983, el cual se atenúa entre los años 2009-2012 (2010: 1474, 2011: 1998; 2012: 1237 ton/año) (Fig. 149). La concesión de mayor volumen de producción durante 2005 – 2012 con el 36% de la producción total de salmones de las actividades acuícolas en el lago Chapo corresponde a la concesión N° 101291 ubicada AL NOROESTE DE PLAYA BLANCA, observándose cierta variabilidad en el volumen productivo sin embargo con una clara tendencia al incremento del volumen de producción con un promedio productivo de 578 (ton/año).

Tabla 94 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Chapo durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**1995-2004**	**2005-2012**
SECTOR EL DESAGÜE	100394	96	274
NOROESTE DE DESEMBOCADURA RÍO CULULI	100678	157	133
AL SUR DE DESEMBOCADURA DE RÍO PITOTE	101051	70	578
ENTRE ISLOTE BETTY Y DESEMBOCADURA DE RÍO SUR	101278	52	36
AL NOROESTE DE PLAYA BLANCA	101291	339	718
PUERTO LA PEÑA	101332	106	240
	TOTAL	**819**	**1978**

En relación al volumen productivo le siguen las concesiones N° 101051, 100394, 101332 y 100678 ubicadas AL SUR DE DESEMBOCADURA DE RÍO PITOTE (29%), SECTOR EL DESAGÜE (14%), PUERTO LA PEÑA (12%) y NOROESTE DE DESEMBOCADURA RÍO CULULI (11%) (Fig. 149). La concesión 101278, ubicada ENTRE ISLOTE BETTY Y DESEMBOCADURA DE RÍO SUR aporta con un 2% un promedio de 36 (ton/año). La comparación de la producción anual promedio muestra una alta heterogeneidad entre centros de cultivo y muestra un patrón propio para cada concesión.

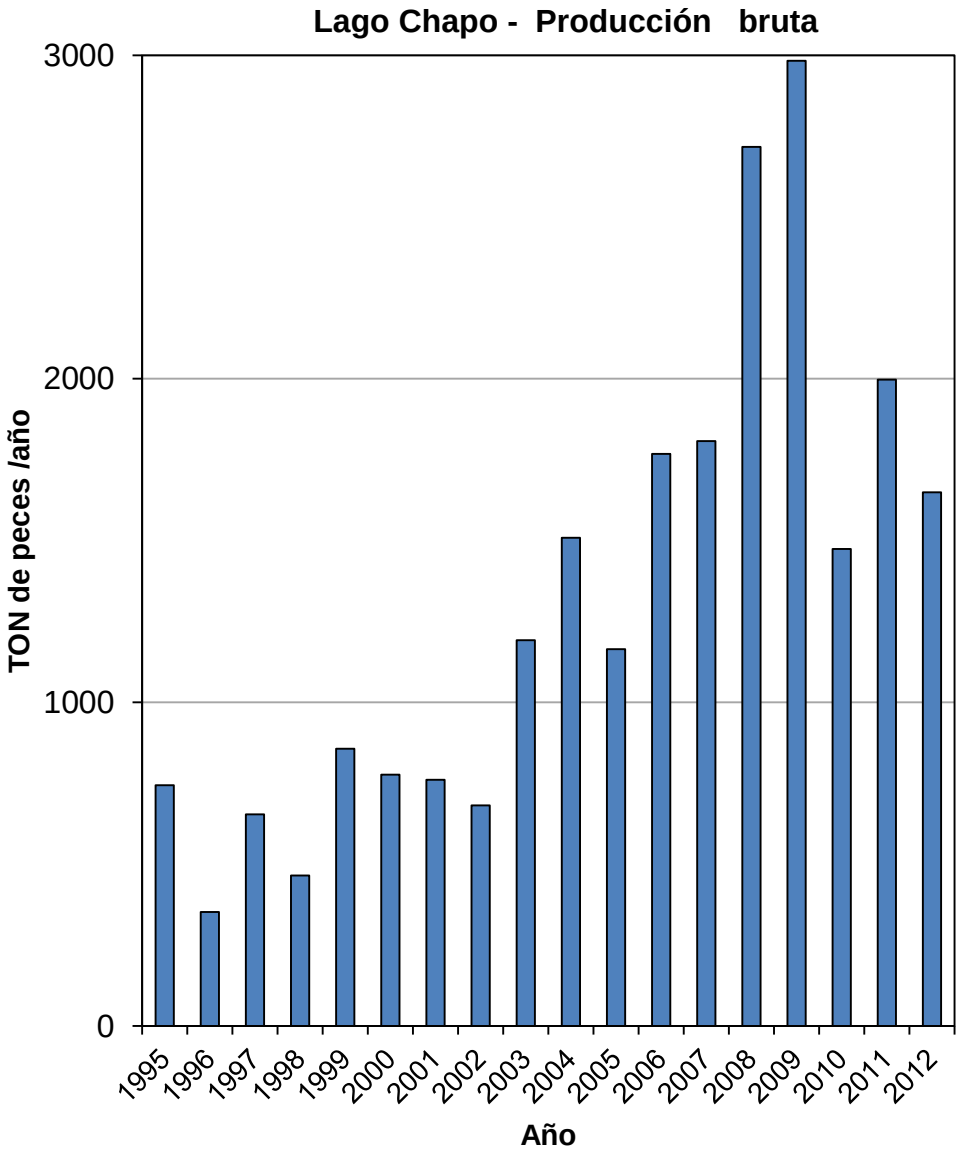


Fig. 149 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Chapo durante el período 1995 – 2012.

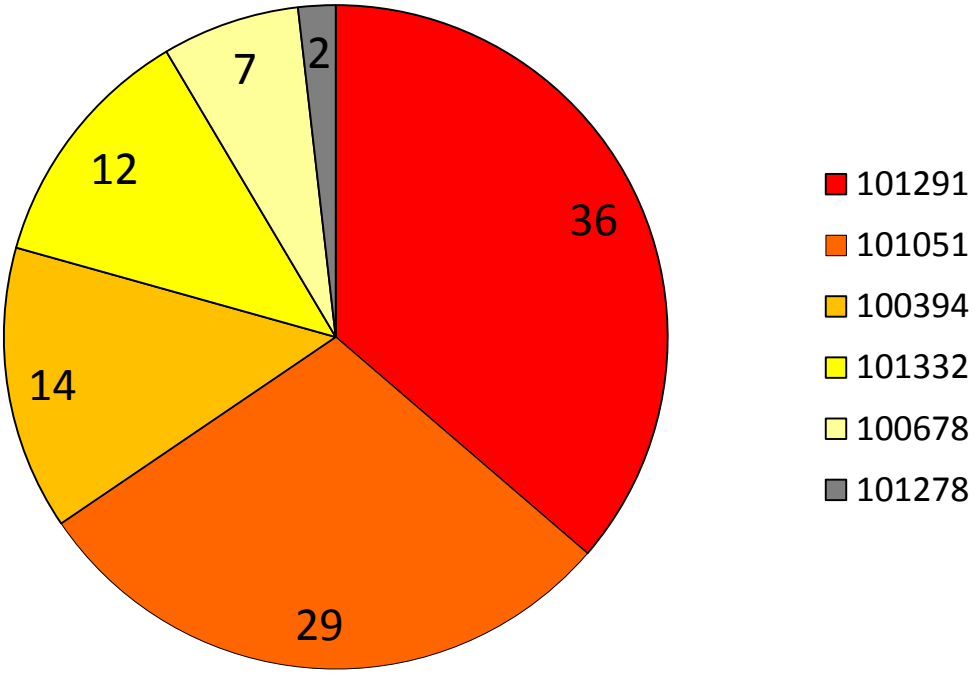


Fig. 150 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Chapo durante el periodo 2005-2011.

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.4.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). El aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción de los peces (Fig. 151, Tabla 96). Los seis centros de producción de peces existentes en el lago Chapo, aportaron con una carga de P total, que fluctúa entre un mínimo de 2,7-3,1 ton/año (1996), y un máximo de 20-26 ton/año (2009) . En general, la carga de P, evidencia un incremento sostenido hasta 2009. Luego, tiende a bajar a niveles entre 10 y 17 ton/año hasta 2012. Respecto al aporte relativo de P los centros 101291 (37%), 101051 (27%) y 100394 (15%) aportaron la mayor parte de la carga (Tabla 95).

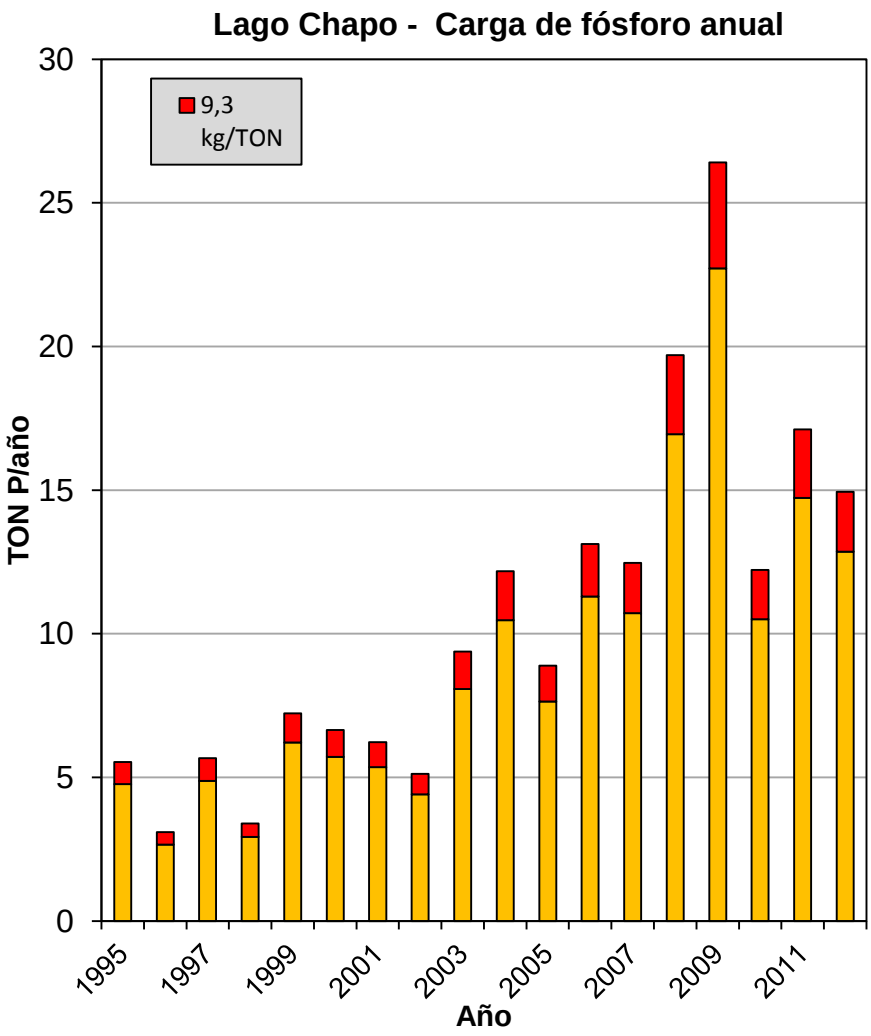


Fig. 151 Los aportes de P calculado para dos escenarios en el lago Chapo durante 1995-2012

.

Tabla 95 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Chapo durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
AL NOROESTE DE PLAYA BLANCA	101291	37
AL SUR DE DESEMBOCADURA DE RÍO PITOTE	101051	27
SECTOR EL DESAGÜE	100394	15
PUERTO LA PEÑA	101332	13
NOROESTE DE DESEMBOCADURA RÍO CULULI	100678	6
ENTRE ISLOTE BETTY Y DESEMBOCADURA DE RÍO SUR	101278	2
	TOTAL	**100**

Tabla 96 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos. S.d.: sin datos

N° centro	100394		100678		101051		101278		101291		101332		TOTAL	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	1,7	2,0	0,9	1,1	0,4	0,5	0,9	1,1	0,8	0,9	0,0	0,0	**4,8**	**5,5**
1996	0,6	0,7	0,1	0,2	0,4	0,5	0,2	0,2	1,3	1,5	0,0	0,0	**2,7**	**3,1**
1997	0,5	0,6	0,1	0,1	0,7	0,8	0,9	1,0	1,6	1,8	1,1	1,3	**4,9**	**5,7**
1998	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	1,1	1,2	0,6	0,6	**2,9**	**3,4**
1999	s.d.	s.d.	4,2	4,9	0,4	0,5	0,1	0,1	1,0	1,2	0,4	0,5	**6,2**	**7,2**
2000	s.d.	s.d.	1,4	1,6	0,5	0,6	0,1	0,2	1,8	2,1	1,9	2,2	**5,7**	**6,6**
2001	0,6	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	3,2	3,7	1,0	1,2	**5,4**	**6,2**
2002	1,1	1,3	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,1	2,5	2,9	0,4	0,4	**4,4**	**5,1**
2003	0,5	0,6	1,1	1,2	0,5	0,6	0,1	0,1	5,3	6,2	0,6	0,6	**8,1**	**9,4**
2004	0,0	0,0	3,1	3,6	0,9	1,1	0,1	0,1	5,4	6,3	0,9	1,1	**10,5**	**12,2**
2005	0,0	0,0	3,9	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	3,9	0,4	0,5	**7,6**	**8,9**
2006	0,0	0,0	1,0	1,2	0,8	0,9	0,0	0,0	9,1	10,5	0,4	0,5	**11,3**	**13,1**
2007	2,7	3,1	s.d.	s.d.	0,3	0,4	0,0	0,0	7,4	8,6	0,3	0,4	**10,7**	**12,5**
2008	8,7	10,1	s.d.	s.d.	6,3	7,4	0,0	0,0	1,9	2,2	0,0	0,0	**16,9**	**19,7**
2009	3,3	3,8	0,4	0,4	10,5	12,2	2,1	2,4	4,4	5,1	2,2	2,5	**22,7**	**26,4**
2010	0,7	0,8	0,0	0,0	3,8	4,4	0,0	0,0	4,4	5,1	1,6	1,8	**10,5**	**12,2**
2011	0,9	1,0	0,0	0,0	3,1	3,6	0,0	0,0	4,0	4,7	6,7	7,8	**14,7**	**17,1**
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	5,4	0,0	0,0	5,3	6,2	2,9	3,3	**12,9**	**14,9**
TOTAL	**22**	**25**	**17**	**19**	**34**	**40**	**5**	**6**	**64**	**74**	**21**	**25**	**163**	**189**

3.4.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura entregó los informes de la información ambiental de solo un centro de cultivos (100394) ubicados en el lago Chapo para los años 2010-2012. A continuación se presenta la evaluación de los datos sobre fango, materia orgánica y potencial de redox:

CENTRO DESAGÜE 1 100394 (Fig. 152):

Fango: Durante el 2010 y 2012 los sitios de referencia presentaron entre sí, diferencias de hasta un 35% en los valores reportados. El sitio de referencia 1 presenta valores más altos que varias de las estaciones muestreadas en el año 2010. En el 2012, las estaciones presentan porcentajes hasta un 30% más alto que los sitios de referencia.

Materia orgánica: Los valores están en general bajo el 15% de materia orgánica;con excepción del sitio de referencia 2, que en 2011 reporta valores de un 35% aprox. de materia orgánica, lo que es significativamente más alto que lo reportado para el sitio de referencia 1 y las estaciones. El resto de las estaciones presento solo diferencias leves con los sitios de referencia durante los 3 años.

Potencial de redox: Durante el 2010 y 2012 los valores medidos en los sitios de referencia fueron aprox. 250 mV, significativamente más alto que lo presentado en las estaciones, que en general no sobrepasaron los 150 mV. Durante el 2012, existe un aumento en los valores de redox para las estaciones, lo que sugiere una mejora en las condiciones de oxigenación.

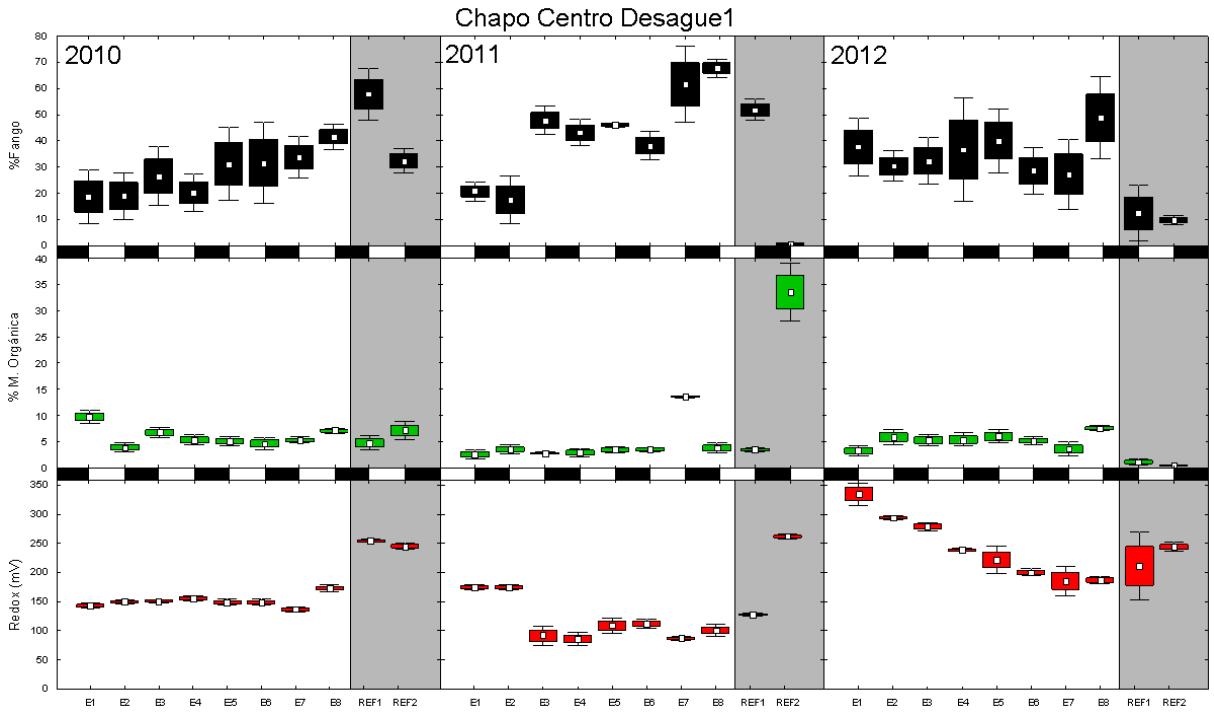


Fig. 152 Información ambiental (sedimento) del Centro Desagüe 1 100394 (2010, 2011, 2012).

3.4.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.4.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

En el lago Chapo las estaciones centrales C1 y C2 de profundidad mostraron temperaturas en el rango de 7,99 – 9,54 °C, con promedios de 8,33 ± 0,36 °C en la estación C1 y 8,43 ± 0,53 °C en la estación C2 (Fig. 153). Las temperaturas más altas se observan en superficie (epilimnion) con una leve termoclina entre la sub-superficie a los 40m de profundidad (est. C1 y C2). Sobre estas profundidades respectivas se observa una disminución gradual muy leve hacia el hipolimnion, hasta los 250 (C1) y 290m (C2) respectivamente con muy poca variación (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de temperaturas entre 9,68 °C (en superficie) a 8,00 °C (en el fondo). Las temperaturas promedio en los centros de cultivo fueron las siguientes: Desagüe I (100394) 8,79 ± 0,15 °C; Desagüe II (101291) 8,23 ± 0,19 °C; Río Sur (101332) 8,28 ± 0,24 °C; Pitote (101051) 8,40 ± 0,67 °C; Culiculi (100678) 8,57 ± 0,96 °C. La distribución vertical de temperaturas en las concesiones de los centros de cultivo presentauna tendencia similar a la descrita para las estaciones centrales con temperaturas superficiales levemente más altas (Fig. 153).

pH y CONDUCTIVIDAD

El pH en las estaciones centrales del lago Chapo C1 y C2 de profundidad mostraron valores en el rango de 6,58 – 7,56, con promedios de 6,85 ± 0,24 en la estación C1 y 6,66 ± 0,17 en la estación C2. Se observaron similares en las estaciones C1 y C2. En general se observó una leve disminución de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo En general ambas estaciones presentaron una distribución vertical de valores de pH con muy poca variación (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestraron un rango de valores de pH entre 6,57 a 7,76. Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Desagüe I (100394) 7,29 ± 0,14; Desagüe II (101291) 6,88 ± 0,05; Río Sur (101332) 7,12 ± 0,41; Pitote (101051) 7,04 ± 0,62; Culiculi (100678) 6,97 ± 0,66. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia a las observadas en las estaciones centrales est. C1 y C2 (Anexo 3).

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto las centrales como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron casi ninguna variación, manteniéndose en valores entre los 26-28 µS/cm. No se observó diferencias entre conductividades medidas en las estaciones de los centros de cultivo respecto a las centrales de referencia (C1 y C2).

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en las estaciones centrales C1 y C2 del lago Chapo mostró valores en el rango de 8,89 - 11,82 mg/L, con promedios de 10,56 ± 1,12 mg/L en la estación C1 y 10,31 ± 1,18 mg/L en la estación C2 (Fig. 153). Se observaron valores más altos en superficie disminuyendo gradualmente hacia los estratos de profundidad, encontrando saturación completa de oxígeno hasta los 30m de profundidad. A partir de los 50m de profundidad se observó una disminución más rápida de las concentraciones de oxígeno disuelto hasta alcanzar valores de 9,11 mg/L (C1) y 8,89 mg/L (C2) con una marcada subsaturación de oxígeno del 77% (C1) y 75% (C2) sobre el fondo (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 9,2 - 12,02 mg/L y para la saturación de oxígeno entre 78 - 106%.

Los valores de oxígeno disuelto

La distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó una tendencia similar a la observada para las estaciones de referencia en el centro del lago (C1 y C2) (Anexo 3, Fig. 153).

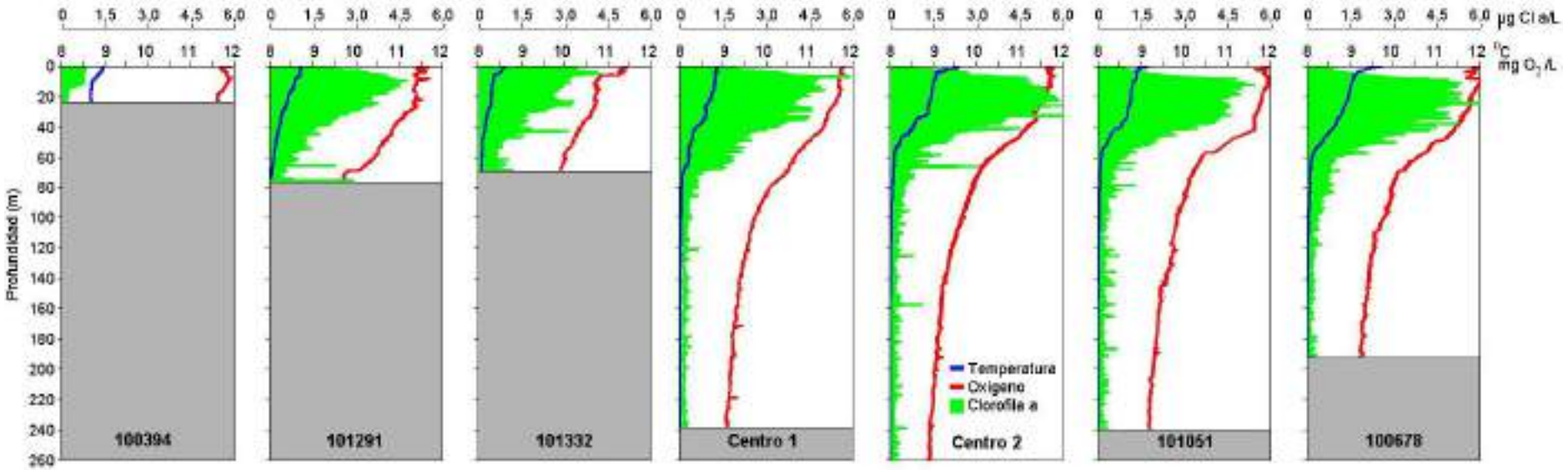


Fig. 153 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Chapo.

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en las estaciones centrales del lago Chapo se observó una profundidad de disco secchi de 8,5m en la estación centro C1 y 6m en la est. centro C2. La zona eufótica se extendió solamente hasta los 14,6m y 19,4m con un coeficiente de atenuación (kd) de 0,316 y 0,237 m^{-1} respectivamente (Tabla 97, Fig. 154).

La transparencia en la cercanía de los centros de cultivo fluctuó entre 6 m (centro 100394) y 9 m (centro 100678) lo que corresponde a valores característicos de condiciones mesotróficas.

Tabla 97 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Chapo.
n.d.: no determinado

Estación	transparencia (m)	´= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro C1	8,5	6,84	14,6	0,316
Centro C2	6	24,08	19,4	0,237
100394	6	n.d.	n.d.	n.d.
101332	8	n.d.	n.d.	n.d.
101291	7,5	n.d.	n.d.	n.d.
101051	7,5	n.d.	n.d.	n.d.
100678	9	n.d.	n.d.	n.d.

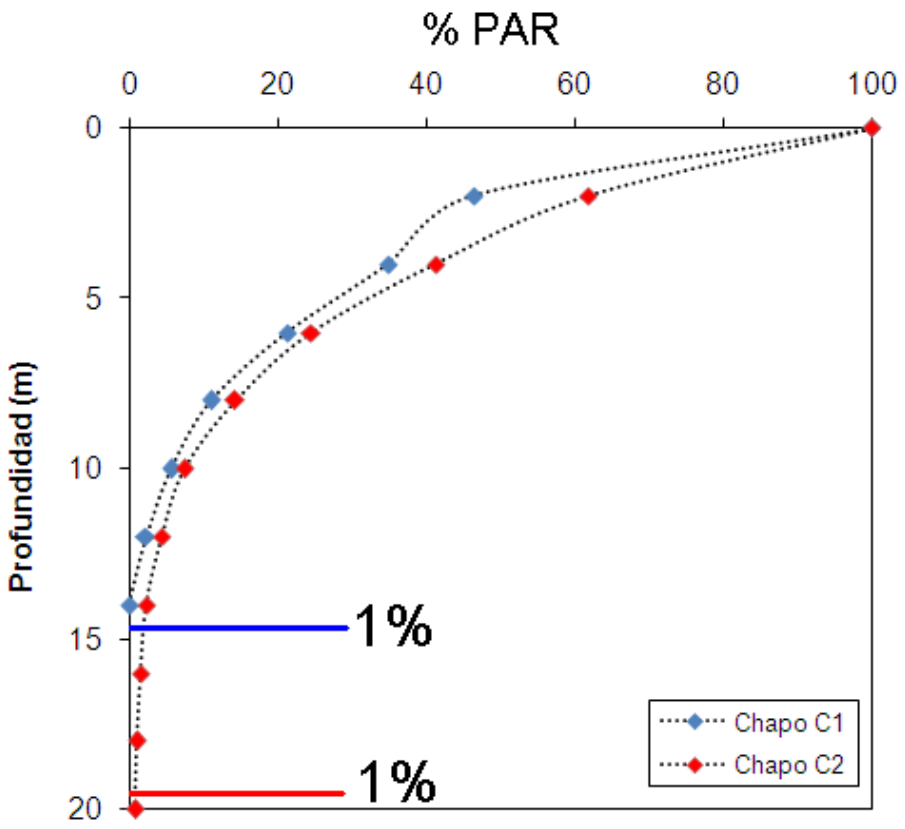


Fig. 154 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Chapo.

NITRÓGENO

En las estaciones centrales muestreadas del lago Chapo las especies inorgánicas de nitrógeno presentaron valores levemente elevados en comparación con los resultados de los lagos anteriores (Anex 3, Fig. 155, 156). En la estación central C1 el nitrito se mantuvo por debajo de los límite de detección (<0,002 mg N/L). El amonio presentó valores debajo el límite de detección (<0,002 mg N/L) en los estratos sub-superficiales, y luego una cierta tendencia al aumento con valores relativamente bajos no superando los 0,0041 mgN/L, con un promedio de 0,0031 ± 0,0007 mgN/L (Anexo 3). El nitrato mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre 0,0065 – 0,0469 mgN/L con un promedio de 0,0281 ± 0,0173 mgN/L y valores máximos en el fondo alcanzando los 0,0469 mgN/L. El nitrógeno total mostró una cierta variabilidad en sus valores con un rango de variación entre valores de 0,0687 – 0,0883 mgN/L y en promedio 0,0771 ± 0,0054 mgN/L. A su vez se observó que en el estrato superior gran parte del nitrógeno contenido

estuvo compuesto por nitrógeno orgánico lo cual cambia en profundidad donde el nitrato aumenta su proporción relativa.

En la estación central C2 la distribución vertical de amonio presentó valores debajo el límite de detección (<0,002 mg N/L) en la sub-superficie, y luego una cierta variabilidad con valores relativamente bajos no superando los 0,0047 mgN/L, con un promedio de 0,0031 ± 0,0009 mgN/L.

El nitrato mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre 0,0026 – 0,0436 mgN/L con un promedio de 0,0234 ± 0,0193 mgN/L y valores máximos en el fondo alcanzando los 0,0436 mgN/L.

El nitrógeno total mostró una cierta variabilidad en sus valores con un rango de variación entre valores de 0,0640 – 0,0851 mgN/L y en promedio 0,0721 ± 0,0068 mgN/L. A su vez se observó que en el estrato superior gran parte del nitrógeno contenido estuvo compuesto por nitrógeno orgánico lo cual cambia en profundidad donde el nitrato aumenta su proporción relativa.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron todas para los parámetros amonio y nitrito valores inferiores al límite de detección (<0,002 mgN/L) o muy cerca de él, con la excepción de la est. Pitote y Culiculi donde se alcanzaron valores de 0,0049 mgN/L y 0,0030 mgN/L respectivamente para amonio. El nitrato mostró un rango de valores entre <0,002 a 0,0470 mgN/L y para el nitrógeno total entre 0,0625 a 0,0998 mgN/L. Los valores de nitrato y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Desagüe I (100394) 0,0051 ± 0,0014 mgN/L – 0,0656 ± 0,0027 mgN/L; Desagüe II (101291) 0,0224 ± 0,0144 mgN/L – 0,0721 ± 0,0052 mgN/L; Río Sur (101332) 0,0257 ± 0,0127 mgN/L – 0,0759 ± 0,0055 mgN/L; Pitote (101051) 0,0313 ± 0,0224 mgN/L – 0,0796 ± 0,0175 mgN/L; Culiculi (100678) 0,0308 ± 0,0250 mgN/L –0,0842 ± 0,0,0089 mgN/L.

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total entre las estaciones de referencia (C1 y C2) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Chapo.

FÓSFORO

En las estaciones centrales muestreadas del lago chapo las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente bajos (anexo 3, Fig. 155, 156). En la estación central C1 el fósforo soluble se mantuvo por debajo del límite de detección (<0,002 mgP/L), y el fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0046 – 0,0066 mgP/L y un promedio de 0,0056 ± 0,0008 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo. En la estación central C2 el fósforo soluble se mantuvo por debajo del límite de detección (<0,002 mgP/L), y el fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0046 – 0,0077 mgP/L y un promedio de 0,0056 ± 0,0009 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble se mantuvieron siempre por debajo del límite de detección (<0,002 mgP/L) y el fósforo total presentó promedios en los centros de cultivo como sigue: Desagüe I (100394) 0,0055 ± 0,0006 mgP/L; Desagüe II (101291) 0,0073 ± 0,0027 mgP/L; Río Sur (101332) 0,0061 ± 0,0010 mgP/L; Pitote (101051) 0,0061 ± 0,0002 mgP/L; Culiculi (100678) 0,0057 ± 0,0002 mgP/L (Anexo 3, Fig. 156 y 157).

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de fósforo soluble y fósforo total entre las estaciones de referencia (C1 y C2) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Chapo con excepción a los centros 101291 y 101051 donde se observaron valores elevados (Fig. 157).

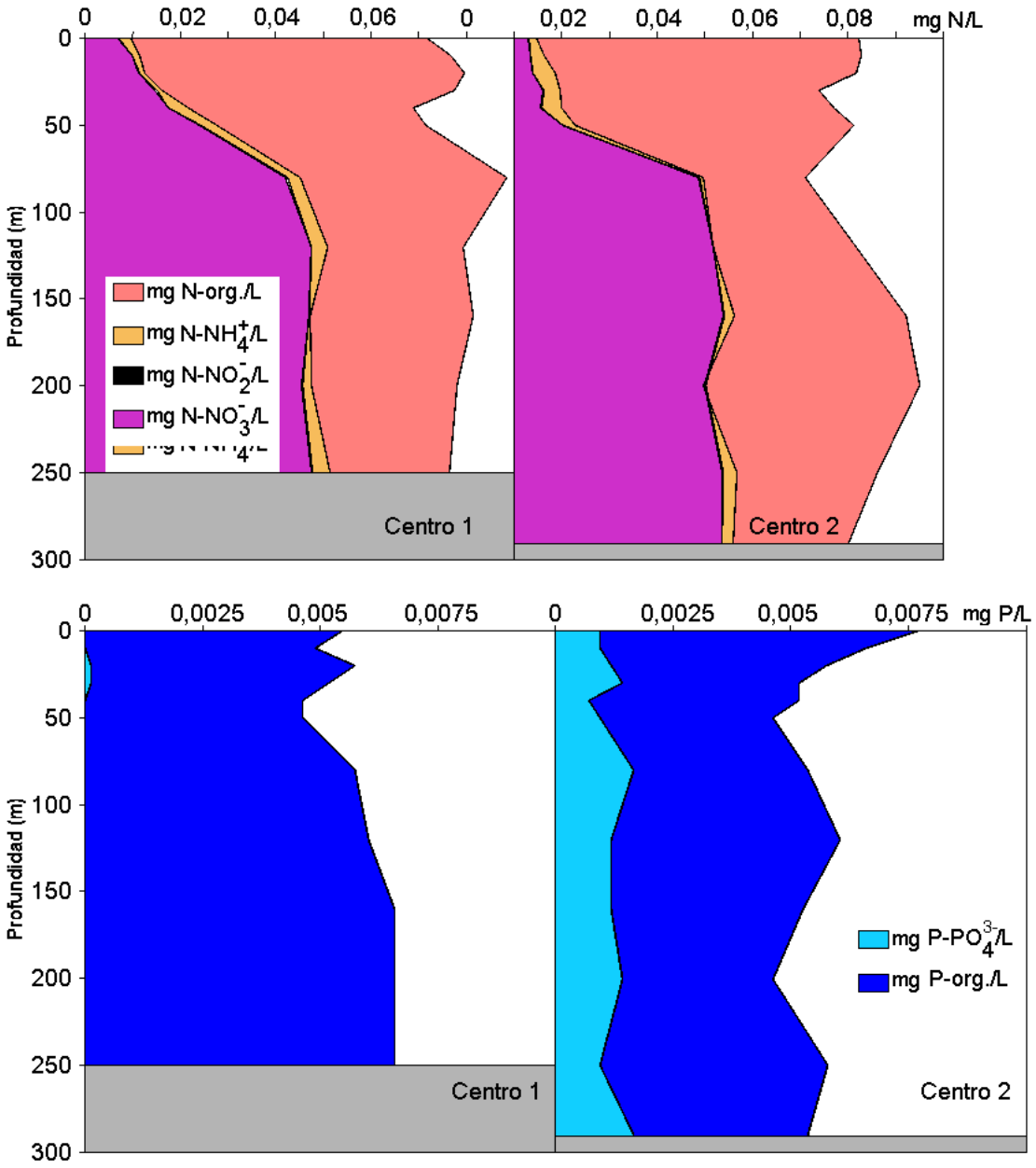


Fig. 155 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Chapo.

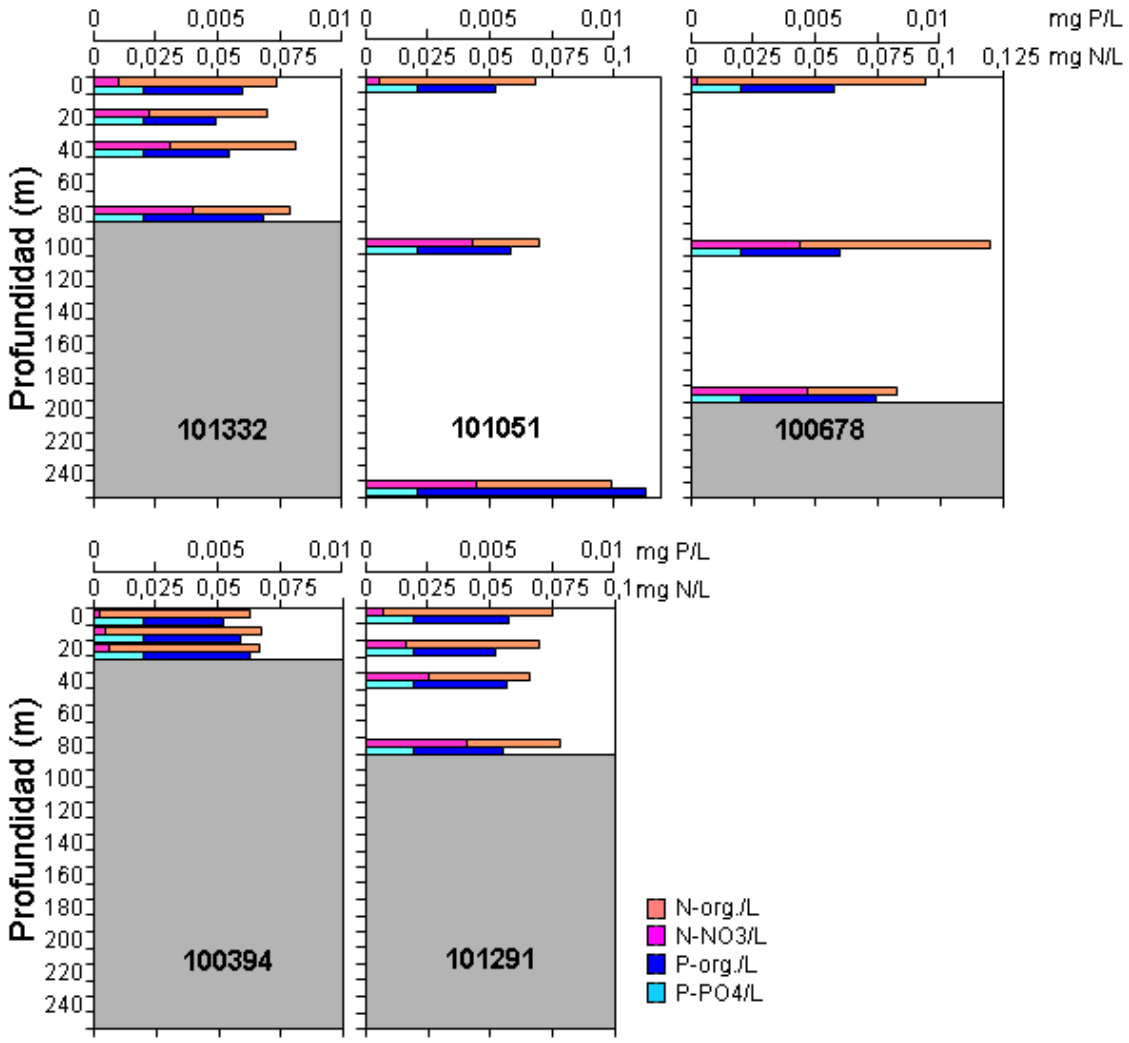


Fig. 156 Fracciones de N y P en losdiferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo.

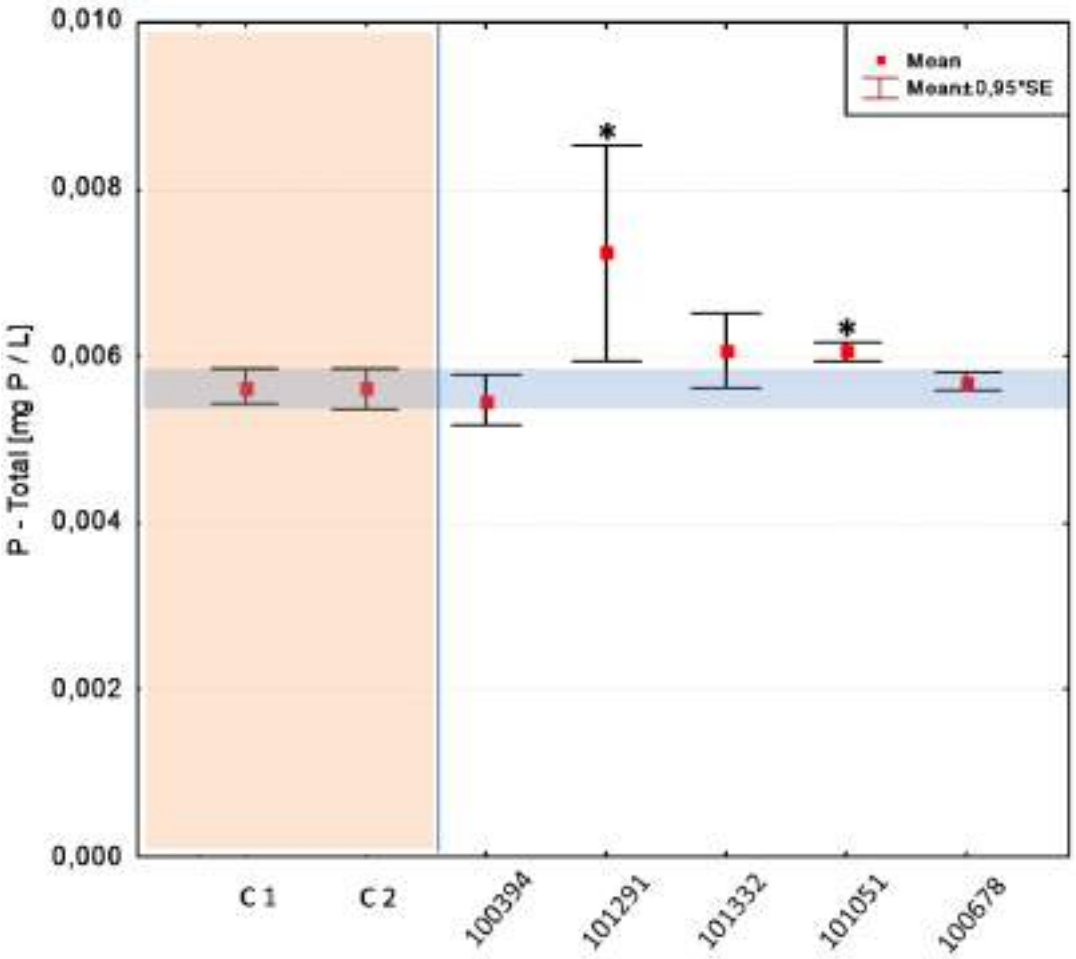


Fig. 157 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo.
Box-wiskers plot. * = diferencia significativa

3.4.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los resultados de los análisis de clorofila a para las estaciones centrales del lago Chapo (C1 y C2) mostraron valores medianamente bajos característicos para un lago oligotrófico a mesotrófico, con un rango de variación entre los 3,0 – 6,9 µg/L chl a y un promedio de 5,3 ± 0,6 µg/L chl a para la estación C1 y 5,1 ± 1,7 µg/L chl a para la estación C2 (Anexo 3, Fig. 158).

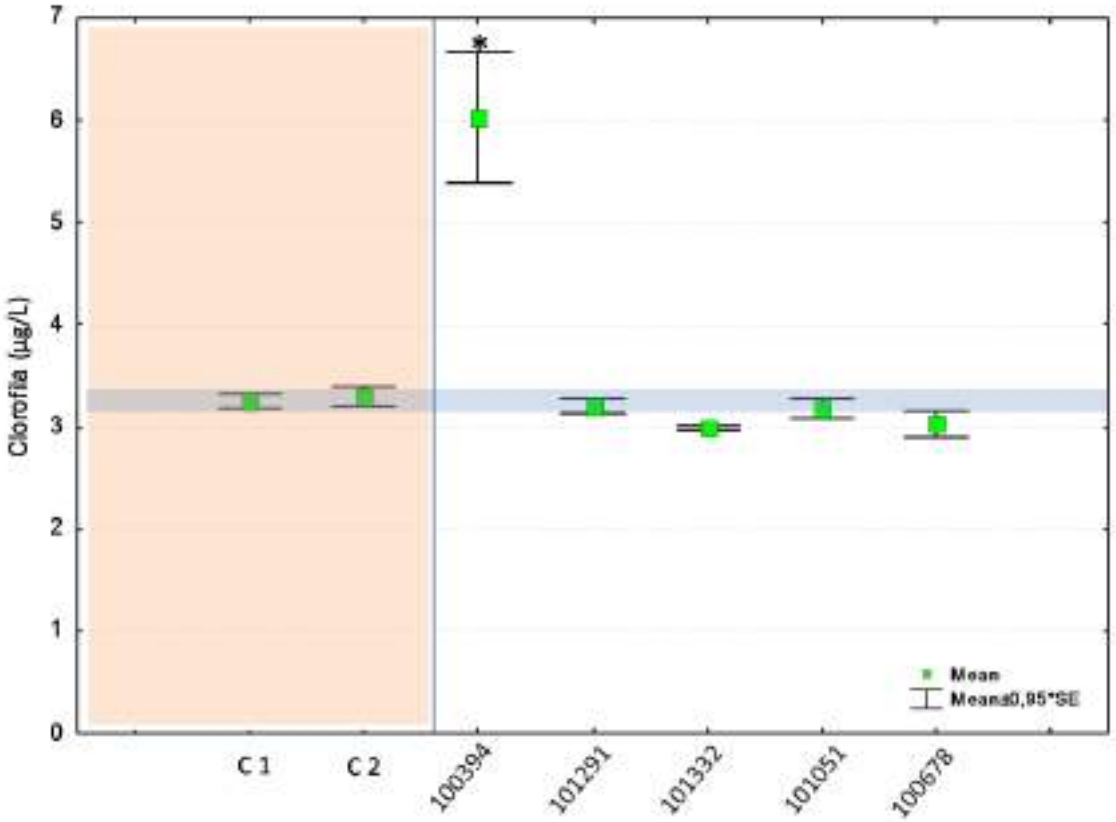


Fig. 158 Comparación de clorofila a de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo.
(promedio ± error estandar), Box-wiskers plot. * = diferencia significativa

FITOPLANCTON

Para el Lago Chapo se analizaron 14 muestras de fitoplancton, 7 de ellas corresponden a muestras cualitativas y 7 a muestras cuantitativas. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 40m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 4. La densidad celular de microalgas presentes en el lago, Figura 159, considerando los distintos puntos de muestreo varió entre las 1,04 y 2,42 E+06 cel/L. La mayor densidad celular de microalgas se registró en la estación codigo 100678. En el lago Chapo se registraron 37 especies de fitoplancton, de las cuales 17 corresponden a Diatomeas, 13 a Clorofíceas, 1 Cianobacterias, 3 Criptofíceas y 3 Dinofíceas (Anexo 4).

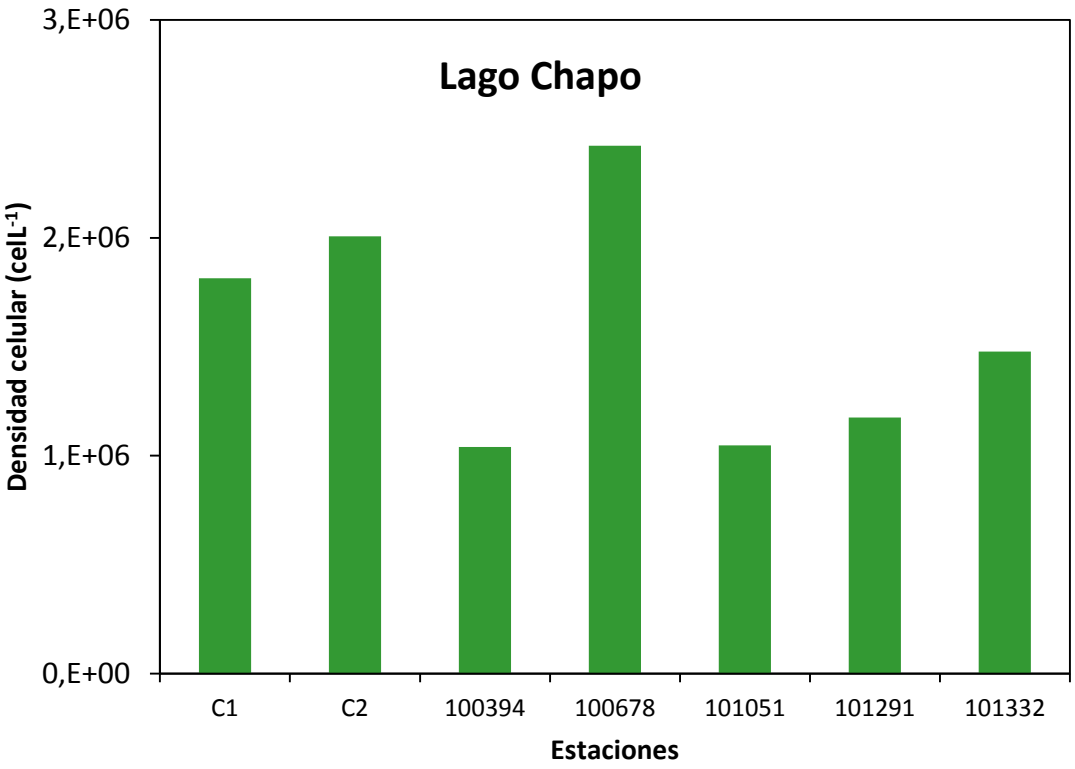


Fig. 159 Densidad celular de microalgas registradas en las 7 estaciones de muestro pelágico del lago Chapo.

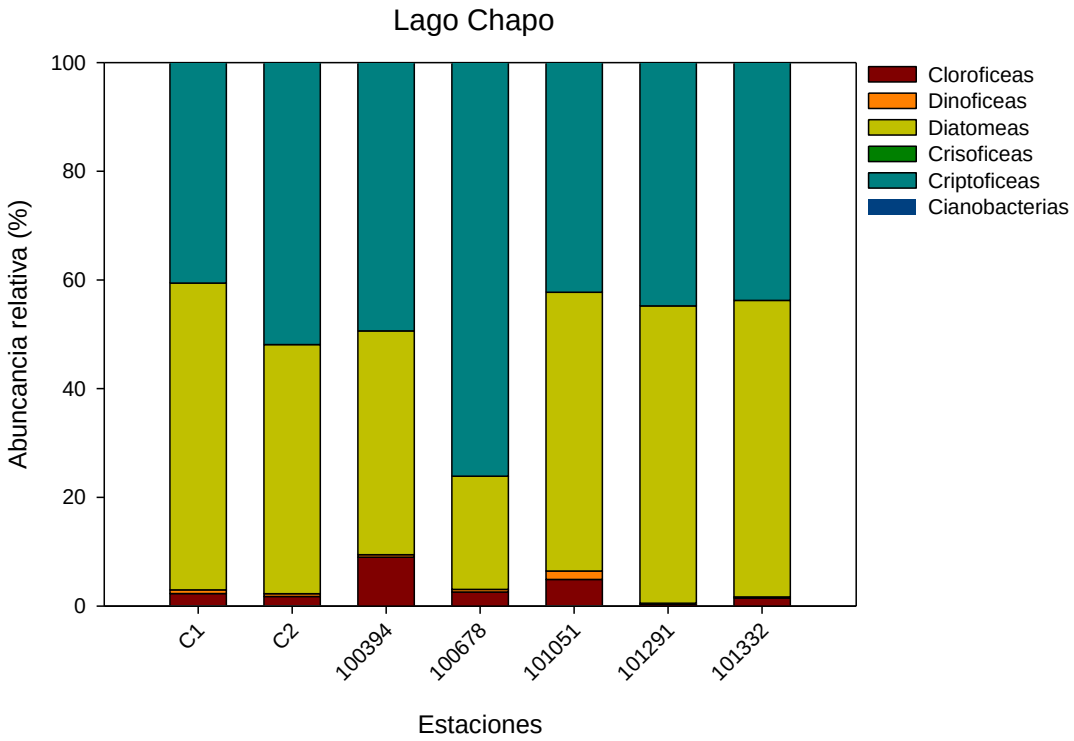


Fig. 160 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 7 estaciones del lago Chapo.

En el lago Chapo la comunidad de fitoplancton fue bastante homogénea entre las estaciones de muestreo, Figura 160 y Tabla 98.

Como norma el fitoplancton de este lago se caracterizó por la co-dominancia, en más de un 80% de abundancia conjunta de las Criptofíceas, principalmente *Rhodomonas* sp y grandes Diatomeas pennadas formadoras de cadenas del genero Tabellaria (*T. flocullosa* y *T. fenestrata*). Para mayores antecedentes ver Anexo 4.

En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Chapo.

Tabla 98 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton en las 7 estaciones del lago Chapo.

Lago	**Chapo**						
Estacion	***C1***	***C2***	***100394***	***100678***	***101051***	***101291***	***101332***
Densidad Total (cel/L)	1.81E+06	2.01E+06	1.04E+06	2.42E+06	1.05E+06	1.17E+06	1.48E+06
Grupo	%	%	%	%	%	%	%
Clorofíceas	2.3	1.8	9.0	2.6	4.9	0.3	1.5
Dinofíceas	0.7	0.5	0.5	0.5	1.6	0.2	0.2
Diatomeas	56.4	45.8	41.2	20.8	51.3	54.7	54.6
Crisofíceas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Criptofíceas	40.6	51.9	49.4	76.1	42.3	44.8	43.8
Cianobacterias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

La comunidad de fitoplancton del lago Chapo es característica de periodos de circulación en ambientes profundos de carácter oligo-mesotrófico ricos en silicio donde el fósforo no constituye, en cuanto a nutriente, un elemento limitante para el desarrollo de las microalgas. En términos generales las características del fitoplancton en los distintas partes del lago fueron bastante homogéneas. No se registran cambios importantes en composición florística y densidad de fitoplancton entre los diferentes puntos de muestreo que sugieran focos puntuales de perturbación. En el lago Chapo destaca la dominancia de especies del mezo-fitoplancton (mayoritariamente diatomeas) lo que denota una importante producción de fito-biomasa esperable en ambientes meso-eutróficos.

ZOOPLANCTON

Para el Lago Chapo se analizaron un total de 7 muestras cuantitativas de zooplancton (Fig. 161, Tabla 99) . Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 60m de profundidad para cada una de las estaciones pelágicas y entre 0 a 30m o 60m de profundidad en las estaciones de muestreo cercanas a los centros de cultivos dependiendo de la profundidad máxima registrada. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 6 géneros representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Tropocyclops prasinus* y *Mesocyclops* sp.) y a cladoceros (*Daphnia pulex*, *Neobosmina chilensis* y *Ceriodaphnia dubia***)**. En este lago de observo una mayor abundancia de copépodos respecto de las abundancias presentadas por cladóceros, con excepción del centro C2 donde la abundancia de cladóceros es mas alta. Al observar las abundancias de los sitios control, encontramos diferencias que no son mas del doble de individuos; C1 presenta un total de 5,4 ind/L, mientras que C2 presenta 10,4 ind/L. Estas abundancias son similares a las presentadas en el resto de los sitios analizados.

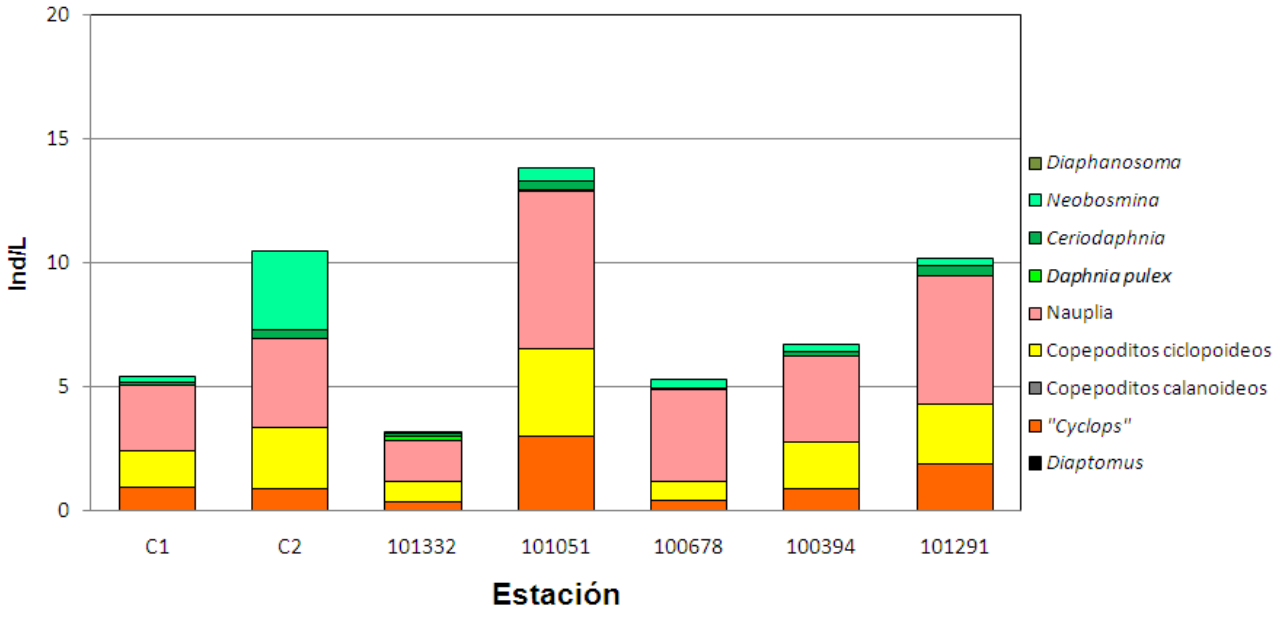


Fig. 161 Abundancia de zooplancton en el lago Chapo durante primavera 2012.

Tabla 99 Abundancia de microcrustáceos en el lago Chapo durante primavera 2012.

Especies/estación		C1	C2	101332	101051	100678	100394	101291
Copépodos		03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoditos calanoidos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,30	0,06	0,12	1,20	0,15	0,21	0,73
	♀	0,13	0,40	0,13	0,77	0,08	0,21	0,57
	♀+H	0,30	0,23	0,04	0,88	0,11	0,46	0,52
Copépodos ciclopoideos								
"Mesocyclops" sp.	♂	0,17	0,17	0,05	0,05	0,04	0,00	0,00
	♀	0,02	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Copepoditos ciclopoidos		1,45	2,48	0,81	3,56	0,75	1,85	2,45
Nauplia		2,65	3,61	1,65	6,35	3,73	3,49	5,17
Cladóceros								
Daphnia pulex		0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
Neobosmina chilensis		0,19	3,16	0,05	0,49	0,37	0,33	0,26
Ceriodaphnia dubia		0,17	0,34	0,16	0,38	0,05	0,15	0,42
Diaphanosoma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (Ind/L)		5,4	10,4	3,2	13,8	5,3	6,7	10,2

Continuación tabla 99

Especies/estación		C1	C2	101332	101051	100678	100394	101291
Copépodos		03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12	03-10-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoditos calanoidos		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,30	0,06	0,12	1,20	0,15	0,21	0,73
	♀	0,13	0,40	0,13	0,77	0,08	0,21	0,57
	♀+H	0,30	0,23	0,04	0,88	0,11	0,46	0,52
Copépodos ciclopoideos								
"Mesocyclops" sp.	♂	0,17	0,17	0,05	0,05	0,04	0,00	0,00
	♀	0,02	0,00	0,01	0,05	0,02	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
Copepoditos ciclopoidos		1,45	2,48	0,81	3,56	0,75	1,85	2,45
Nauplia		2,65	3,61	1,65	6,35	3,73	3,49	5,17
Cladóceros								
Daphnia		0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00
Neobosmina chilensis		0,19	3,16	0,05	0,49	0,37	0,33	0,26
Ceriodaphnia dubia		0,17	0,34	0,16	0,38	0,05	0,15	0,42
Diaphanosoma		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total (Ind/L)		**5,4**	**10,4**	**3,2**	**13,8**	**5,3**	**6,7**	**10,2**

3.4.6.3 Sedimento

En el lago Chapo se muestrearon 6 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo Colulí (100678), Desagüe 1 (101291), Desagüe 2 (101394), Puerto La Peña (101332), Río Pitote (101051) y Río Sur (101278).

En la Tabla 100 se presenta el porcentaje promedio obtenido (n=3) de las fracciones sedimentarias en cada una de las tres estaciones del centro de cultivo Colulí, donde se observó claramente el predominio de la fracción de fango (phi 5), en la estación 1 (44 %), de la fracción grava en la estación 2 (38 %) y de la fracción arena muy fina (44 %) en la estación 3.

En la misma tabla se presenta el porcentaje promedio obtenido (n=3) de las fracciones sedimentarias en las estaciones del centro de cultivo Desagüe 1, donde predominó la fracción de fango, especialmente en las estaciones 1 y 3 donde representó el 48 y 44 % de la muestra, respectivamente. En la estación 2 fue importante el aporte de las arena muy fina con el 54 %.

En las tres estaciones del centro Desagüe 2 se presentaron evidentes diferencias granulométricas, estando la estación 1 representada principalmente por fango (48 %) y por la fracción grava (16 %). En la estación 2 el mayor porcentaje promedio correspondió a la fracción fango (89 %). Una situación muy diferente se presentó en la estación 3, donde predominaron las arenas (más de 80 % en conjunto)).

En las cercanías del centro Puerto La Peña el mayor aporte correspondió a la fracción fango en la estación 1 (39 %). También fue importante el aporte de la fracción arena muy fina en las estaciones 2 y 3 la que representó el 23 y 44 % respectivamente.

En el centro de cultivo Río Pitote predominó la fracción de fango, especialmente en la estación 1 representando el 52 % de la muestra. En la estación 2 fue mayormente importante el aporte de las arenas finas con 27 %, mientras que en la estación 3 predominó la fracción grava (29 %).

En el centro de cultivo Río Sur predominó la fracción de fango en la estación 1 donde representó el 66 % de la muestra. En la estación 2 dominó la arena muy fina (60 %) y en la estación 3 fue importante el aporte de la arena fina y muy fina con valores cercanos al 21 % en cada caso.

Tabla 100 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Chapo.
Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm.

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Colulí 100678					
Grava	-1	4 - 2	10.86	37.90	4.27
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.48	7.86	2.459
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.25	5.54	6.07
Arena media	2	0,5 - 0,25	2.54	8.77	10.27
Arena fina	3	0,25 - 0,125	15.18	9.35	17.45
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	23.26	12.24	43.57
Fango	5	< 0,063	44.42	18.35	15.87
Centro Desagüe 1 101291					
Grava	-1	4 - 2	0.49	0.52	10.86
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.35	0.45	2.48
Arena gruesa	1	1 - 0,5	0.41	0.62	1.25
Arena media	2	0,5 - 0,25	5.24	1.84	2.54
Arena fina	3	0,25 - 0,125	24.92	22.98	15.18
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	20.74	54.27	23.26
Fango	5	< 0,063	47.84	19.32	44.42
Centro Desagüe 2 101394					
Grava	-1	4 - 2	13.85	2.10	1.57
Arena muy gruesa	0	2 - 1	3.64	2.54	1.73

Continuación tabla 100

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.98	2.20	5.55
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.71	2.72	25.96
Arena fina	3	0,25 - 0,125	5.91	11.04	23.77
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	24.32	62.86	22.51
Fango	5	< 0,063	45.60	16.54	18.90
Centro Puerto La Peña 101332					
Grava	-1	4 - 2	22.10	19.32	2.00
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.97	5.97	1.78
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.31	5.53	1.84
Arena media	2	0,5 - 0,25	4.94	7.87	5.41
Arena fina	3	0,25 - 0,125	15.44	18.70	30.60
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	16.64	22.96	43.95
Fango	5	< 0,063	38.61	19.65	14.42
Centro Río Pitote 101051					
Grava	-1	4 - 2	1.06	11.04	29.00
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.889	4.66	3.30
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.20	10.39	2.04
Arena media	2	0,5 - 0,25	4.61	19.09	5.98
Arena fina	3	0,25 - 0,125	18.63	26.90	18.87
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	21.37	10.81	23.57
Fango	5	< 0,063	52.23	17.74	17.23
Centro Río Sur 101278					
Grava	-1	4 - 2	0.10	1.96	18.70
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.79	3.11	7.07
Arena gruesa	1	1 - 0,5	0.66	3.64	6.49
Arena media	2	0,5 - 0,25	0.60	4.38	10.76

Continuación tabla 100

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Arena fina	3	0,25 - 0,125	3.87	8.49	21.49
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	27.86	60.10	20.61
Fango	5	< 0,063	66.10	18.32	14.88

Las características del sedimento, representadas por los estadígrafos sedimentológicos, señalan las principales tipologías del depósito y se indican en la Tabla 70. El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena fina y muy fina, aunque también se observó para varias estaciones la presencia de limos gruesos y de arenas gruesas.

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estándar gráfica inclusiva, indicó una alta variabilidad en todas las estaciones del lago, aunque predominaron las arenas pobremente seleccionadas. La Asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media, indicó mayoritariamente sedimentos simétricos o con un moderado exceso de gruesos (Tabla 101).

Tabla 101 Parámetros sedimentológicos (M: media, S: selección, A: Asimetría y C: curtósis) de el lago Chapo.
Tres estaciones (1-2-3) con tres réplicas A-B-C en cada estación

Centro	Repl.		M	S	A	C	
Centro Colulí	1	A	1,75	2,54	-0,21	0,50	Arena media
100678		B	4,29	0,60	-0,33	1,34	Limo muy grueso
		C	3,27	0,80	-0,04	0,99	Arena muy fina
	2	A	1,47	2,31	-0,12	0,63	Arena media
		B	0,40	2,50	0,81	0,54	Arena gruesa
		C	1,37	2,37	0,05	0,59	Arena media
	3	A	2,50	1,64	-0,21	0,93	Arena fina
		B	3,16	1,14	-0,37	1,61	Arena muy fina
		C	3,08	1,39	-0,41	1,82	Arena muy fina
Desagüe 1	1	A	3,83	1,01	-0,51	0,82	Arena muy fina
101291		B	3,93	0,89	-0,43	0,88	Arena muy fina
		C	3,08	1,05	0,10	0,97	Arena muy fina
	2	A	3,45	0,75	-0,03	1,26	Arena muy fina
		B	3,30	0,85	0,01	0,93	Arena muy fina

Continuación tabla 101

Centro	Repl.		M	S	A	C	
		C	3,42	0,81	-0,10	1,37	Arena muy fina
	3	A	1,75	2,54	-0,21	0,50	Arena media
		B	4,29	0,60	-0,33	1,34	Limo muy grueso
		C	3,27	0,80	-0,04	0,99	Arena muy fina
Desagüe 2	1	A	2,32	2,57	-0,69	0,48	Arena fina
101394		B	4,04	1,27	-0,62	2,73	Limo muy grueso
		C	2,88	1,54	-0,57	2,22	Arena fina
	2	A	3,02	1,39	-0,45	1,69	Arena muy fina
		B	3,55	0,70	-0,07	1,76	Arena muy fina
		C	3,49	0,76	-0,13	1,78	Arena muy fina
	3	A	2,50	1,45	0,23	1,07	Arena fina
		B	3,26	1,00	-0,25	1,44	Arena muy fina
		C	2,43	1,54	0,14	1,27	Arena fina
La Peña	1	A	2,80	2,22	-0,70	1,13	Arena fina
101332		B	3,57	1,13	-0,33	0,74	Arena muy fina
		C	0,48	2,48	0,76	0,52	Arena gruesa
	2	A	0,49	2,48	0,76	0,65	Arena gruesa

Continuación tabla 101

Centro	Repl.		M	S	A	C	
		B	3,29	0,89	-0,03	0,96	Arena muy fina
		C	2,24	1,92	-0,21	0,85	Arena fina
	3	A	2,99	1,08	-0,02	1,13	Arena fina
		B	3,10	1,24	-0,27	1,65	Arena muy fina
		C	3,21	0,93	-0,27	1,42	Arena muy fina
Centro	**Repl.**		**M**	**S**	**A**	**C**	
Río Pitote	1	A	3,86	1,11	-0,57	1,14	Arena muy fina
101051		B	4,13	0,75	-0,41	1,16	Limo muy grueso
		C	3,11	1,10	-0,03	1,02	Arena muy fina
	2	A	1,57	2,35	-0,21	0,65	Arena media
		B	2,16	1,67	0,15	0,80	Arena fina
		C	2,54	1,64	-0,05	1,43	Arena fina
	3	A	0,29	2,44	0,83	2,34	Arena gruesa
		B	3,19	0,96	-0,09	1,05	Arena muy fina
		C	2,09	2,13	-0,38	1,01	Arena fina
Río Sur	1	A	4,46	0,39	-0,13	1,00	Limo muy grueso
101278		B	4,46	0,39	-0,12	0,98	Limo muy grueso

Continuación tabla 101

		C	3,47	0,70	-0,12	1,80	Arena muy fina
Centro		**Repl.**	**M**	**S**	**A**	**C**	
	2	A	3,51	0,72	-0,09	1,70	Arena muy fina
		B	3,60	0,59	0,08	1,35	Arena muy fina
		C	2,57	1,87	-0,50	0,95	Arena fina
	3	A	2,90	1,24	-0,29	1,31	Arena fina
		B	1,43	2,41	-0,06	0,59	Arena media
		C	1,29	2,24	-0,08	0,66	Arena media

La materia orgánica contenida en el sedimento del Lago Chapo, expresada como porcentaje de materia orgánica total (combustibles totales), en las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo de salmones en el Lago Chapo se indica en la Tabla 102. Destacó el gran aporte de material orgánico depositado en una estación del centro Desagüe 2 donde se obtuvo un valor de 21 % y otros cercanos al centro Río Sur, en especial la estación 2 donde se registró un valor de 38 % y leve olor a podrido y la estación 1 cercana al centro La Peña, con un aporte orgánico de 32 % con olor a podrido (Tabla 102).

Tabla 102 Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento en el lago Chapo.
Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Coluli	100678	1	40 m	5,88	Café	sin olor
		2	90 m	6,83	Café verdoso	sin olor
		3	80 m	15,47	Fango verde	leve olor a podrido
Desagüe 1	101291	1	40 m	6,35	Café	sin olor
		2	90 m	6,74	Café verdoso	sin olor
Desagüe 2	101394	1	30 m	21,10	Café plomizo	olor a huevo duro
		2	46 m	12,02	Café plomizo	sin olor
		3	6 m	2,03	Café plomizo	olor a podrido
Puerto La Peña	101332	1	40 m	32,36	Café	olor a podrido
		2	90 m	4,00	Café verdoso	sin olor
		3	80 m	0,24	Fango verde	leve olor a podrido
Río Pitote	101051	1	35 m	10,73	Café plomizo	sin olor
		2	15 m	1,37	Plomo	sin olor
		3	40 m	6,32	Café plomizo	sin olor
Río Sur	101278	1	17 m	20,67	Café	leve olor a podrido
		2	50 m	38,04	Café	leve olor a podrido
		3	40 m	14,18	Café	leve olor a podrido

En la figura 162 se aprecian el porcentaje de fango, materia orgánica (ambos parámetros ya fueron descrito más arriba) y el potencial de Redox medido en terreno. Según este último parámetro, en todas las estaciones el sedimento esta bien oxigenado a pesar de mostrar en varias estaciones (101278, 101394, 100678) elevadas contenidos de materia orgánica.

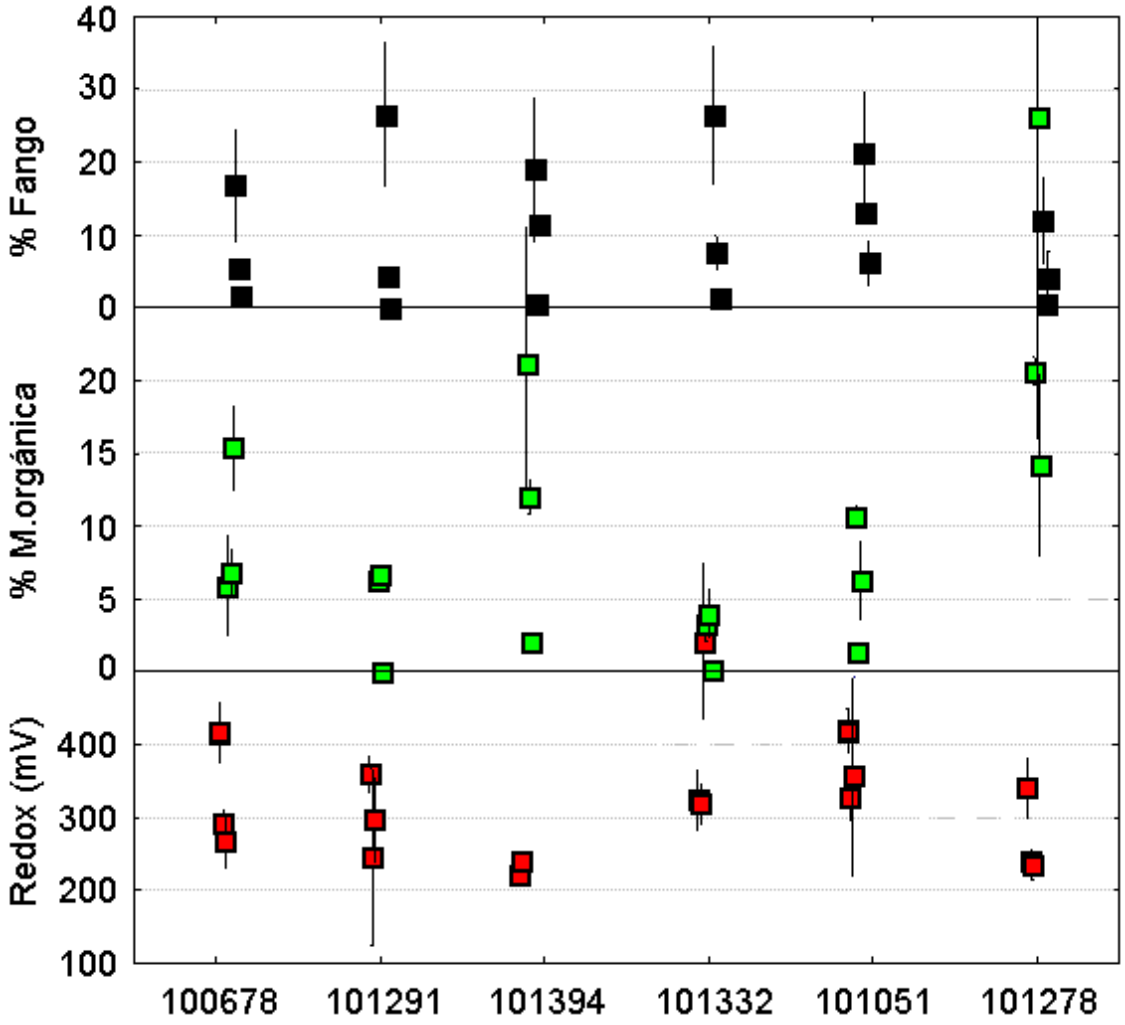


Fig. 162 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Chapo.

3.4.6.4 Correntometría

Velocidad de Corrientes

La Tabla 103 muestra la estadística general de la intensidad de las corrientes registradas para la totalidad de los casos obtenidos en los puntos de medición en el lago Chapo.

Tabla 103 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos en el lago Chapo.

	Código de Centros Lago Chapo			
	101278	**101051**	**100332**	**101291**
Estadígrafo	**Valores (cm/s)**			
Media	4,2	2,8	2,7	2,5
Max	13,0	7,9	4,9	2,5
Min	2,5	2,5	2,5	2,5
Mediana	4,2	2,5	2,5	2,5
Moda	2,5	2,5	2,5	2,5
Desvest	3,2	1,2	0,8	0,0

La tabla anterior nos muestra magnitudes muy discretas en los puntos de medición, especialmente en el Centro 101291, en que los valores de intensidad de corriente se encuentran en el límite de medición del equipo. Por otra parte, las restantes mediciones registran valores que se encuentran dentro de un rango de intensidad de corrientes entre 2,5 y 13,0 cm/s; en general, se evidencia una partición modal inferior a la medial, lo que pone de manifiesto, que la mayor cantidad de casos se concentra en valores inferiores a la media.

El análisis de las componentes direccionales de los datos registrados permiten inferir que en el centro 101278 (río Sur), la dirección predominante corresponde a las componentes NW y SE registrándose el 37 % y el 29 % de las corrientes, respectivamente; sólo se manifiestan algunos casos dentro de los cuadrantes NE y SW con frecuencias no mayores al 10% (Figura 163).

Tabla 104 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Chapo.

	Código de Centros Lago Chapo			
	101278	**101051**	**101332**	**101291**
Estadígrafo	**Valores (grados)**			
Media	182	157	77	150
Max	356	354	359	354
Min	7	5	5	6
Mediana	197	197	85	205
Moda	154	307	35	130
Desvest	102	108	60	98

Por otra parte, en el sector de emplazamiento del centro N° 101051 (río Pitote), se evidencia que la mayor frecuencia de los componentes direccionales, provienen desde los cuadrantes NNW y ESE, concentrándose en estos sectores más del 60 % de las corrientes; mientras que en los restantes cuadrantes las frecuencias fluctúan entre el 10% y 15 % (Figura 164).

Por otra parte, en el sector de emplazamiento del centro 101332 (Puerto La Peña), se evidencia que los componentes direccionales, provienen casi exclusivamente desde el cuadrante SSE y SSW, concentrándose en este sectores más del 60 % de las corrientes; mientras que en los restantes cuadrantes registran frecuencias inferiores al 10% (Figura 165).

En área de localización del Centro de Cultivos N° 101291 (desagüe), se puede verificar que los componentes direccionales se concentran casi exclusivamente en el cuadrante NNE encontrándose en estos cuadrantes más del 50% de las corrientes; mientras que en el resto de los cuadrantes se manifiestan frecuencias entre 10% a 15%, (Figura 166).

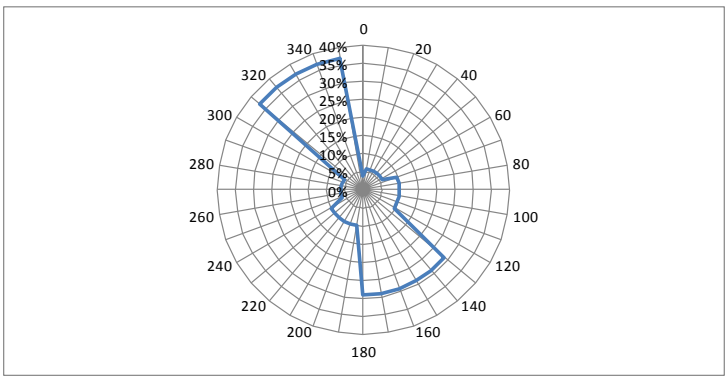


Fig. 163 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101278, ubicado en el lago Chapo.

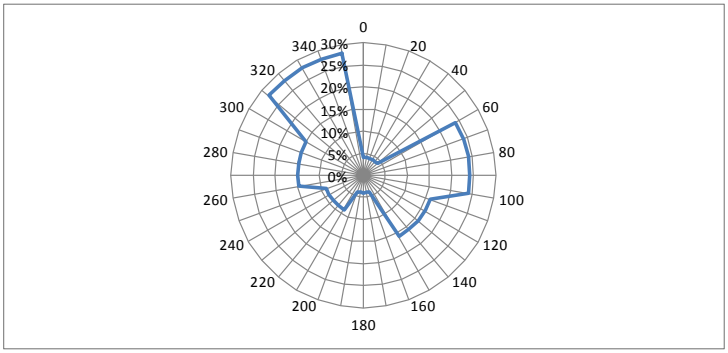


Fig. 164 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101051, ubicado en el lago Chapo.

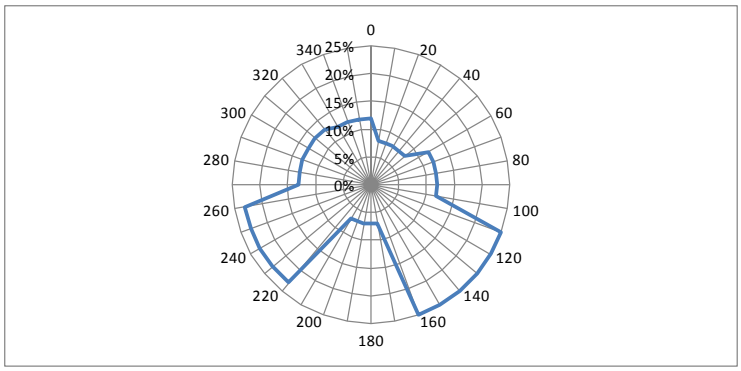


Fig. 165 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101332, ubicado en el lago Chapo.

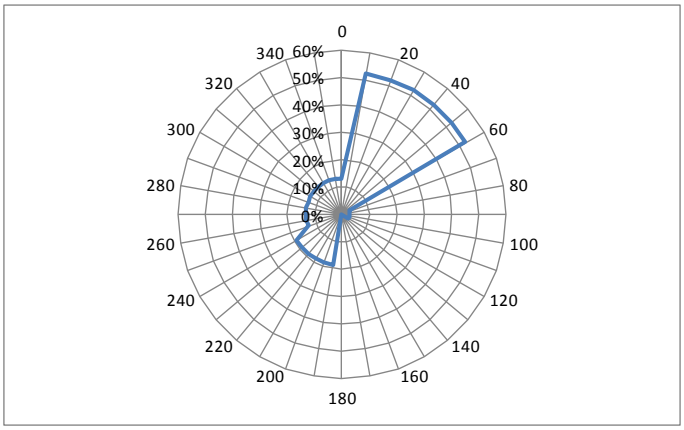


Fig. 166 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101291, ubicado en el lago Chapo.

Correntometría Lagrangeana (Fig. 167, 168)

Observaciones de la correntometría en el periodo de primavera.

La primavera es la época del año en la que los lagos norpatagónicos chilenos comienzan a estratificarse térmicamente luego de su período de circulación invernal.

En las temperaturas registradas en el lago Chapo en la columna de agua entre 0 y 15m se aprecia una incipiente diferencia de temperatura entre la superficie y los 15m de profundidad (1,5 ° C.) que es el estrato de agua en el que se midieron las corrientes.

El lago Chapo tiene una forma de L invertida con un brazo menor orientado en el sentido EW y un brazo mayor orientado en el sentido NW-SE Esta forma particular y el hecho de que el lago se encuentra en un profundo valle precordillerano hace que los vientos provenientes del N y W se encaucen en el valle alterando su dirección haciéndola coincidente con el valle del lago, de esta manera un viento que llega del W avanza en esa dirección en el brazo corto, pero cambia su dirección al SE en el brazo largo. Los vientos del N dividen su acción tomando una dirección W en el brazo corto y una dirección al SE en el brazo largo. El trabajo de correntometrìa lagrangeana se inició el dìa 24 de octubre concluyendo el dìa 25.

Para la determinación de las corrientes de definieron tres transectas transversales al eje principal del lago con tres estaciones en cada transecta y dos derivadores en cada estación: uno superficial y uno a 15m. Los 18

derivadores sembrados en el lago, permanecieron por un período aproximado de 15 a 20 hrs. Las trayectorias seguidas por los derivadores se ilustran en las figuras N2 y N3, en las que se han separado las trayectorias de los derivadores superficiales de los derivadores de 15m para mayor claridad. Los derivadores superficiales de la primera transecta ubicada en la brazo corto del lago, siguieron la dirección del viento del W y cambiaron su dirección a SW cuando el viento hizo lo propio al encauzarse por el brazo largo. Los derivadores de las dos transectas del brazo largo se desplazaron siguiendo la dirección del valle. Los derivadores de las dos primeras transectas en su trayectoria sobrepasaron la ubicación de las transectas siguientes, en tanto los derivadores de la última transecta fueron recuperados varados en la playa del extremo sur del lago. Es decir la trayectoria de los derivadores superficiales cubrió la totalidad del cuerpo del lago.

Las velocidades medias de los derivadores superficiales fluctuaron desde los. 19...cm/s a los 27 cm/s. Las velocidades del viento medido con el anemómetro desde la embarcación registran dirección e intensidad del viento con valores de entre 5 a 9 k/h para el día 24 de Octubre con una dirección al 254 y de 19 k/h para el día 25 a las 11 hrs. con una dirección al 288°.

Los derivadores de 15m de profundidad mostraron un comportamiento diametralmente opuesto a los derivadores superficiales, es decir sus trayectorias son opuestas a la dirección del viento y al desplazamiento de los derivadores superficiales. Al observar sus trayectorias se advierten movimientos complejos antes de definir sus movimientos definitivos. En términos generales podemos señalar que los derivadores superficiales muestran coincidencia con la dirección del viento, siguiendo fielmente la trayectoria y las variaciones de dirección del viento que los impulsa. Este movimiento superficial se observa en toda la extensión del lago, por cuanto se trata de un lago regular en su forma. En bahías como la de Pitote o del río Sur se producen alteraciones en la dirección siguiendo los contornos de las bahías. Este movimiento superficial que compromete al total del lago da origen a un movimiento de retorno que se manifiesta en las aguas subsuperficiales como lo muestran las corrientes detectadas por los derivadores de 15m de profundidad.

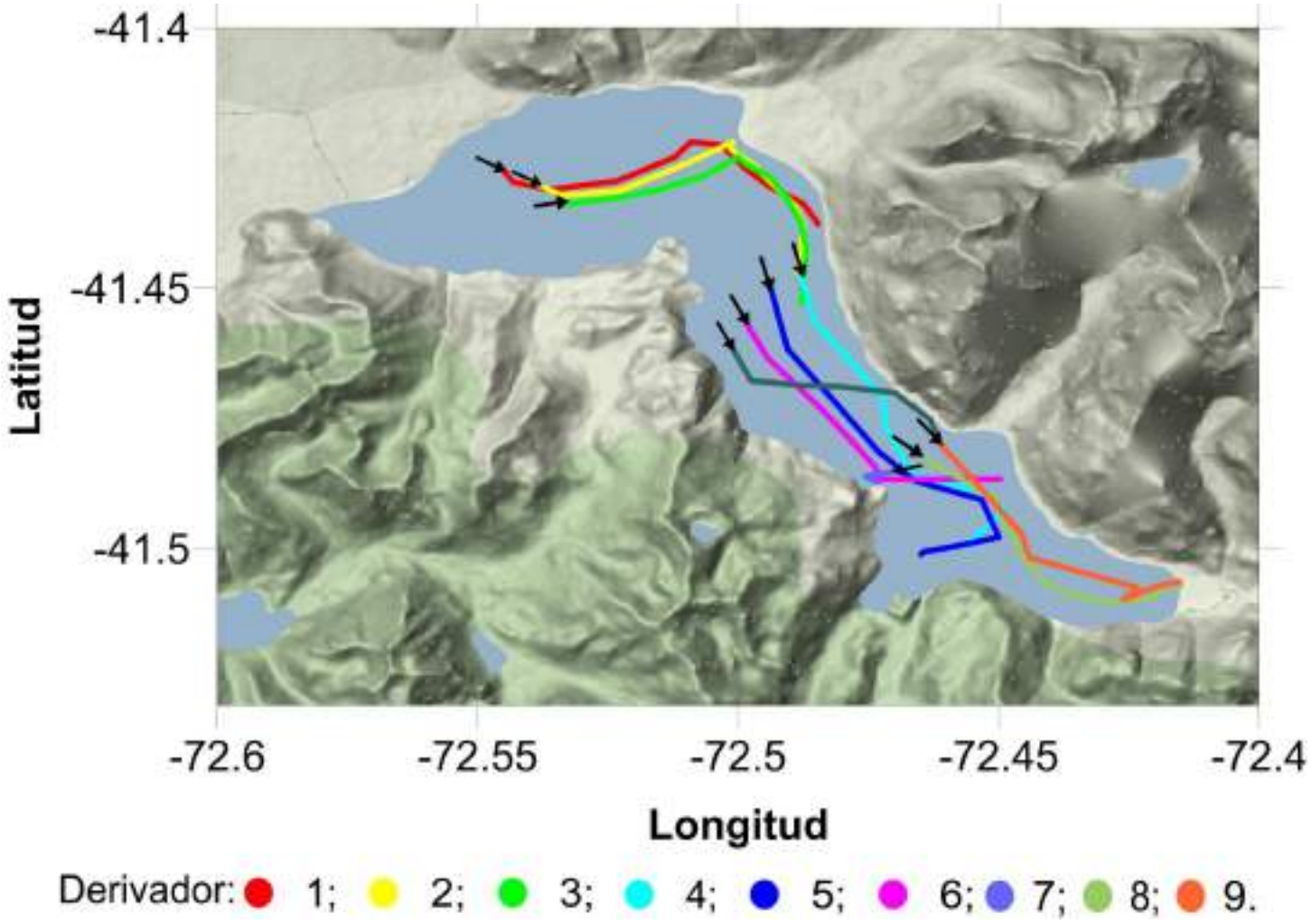


Fig. 167 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Chapo

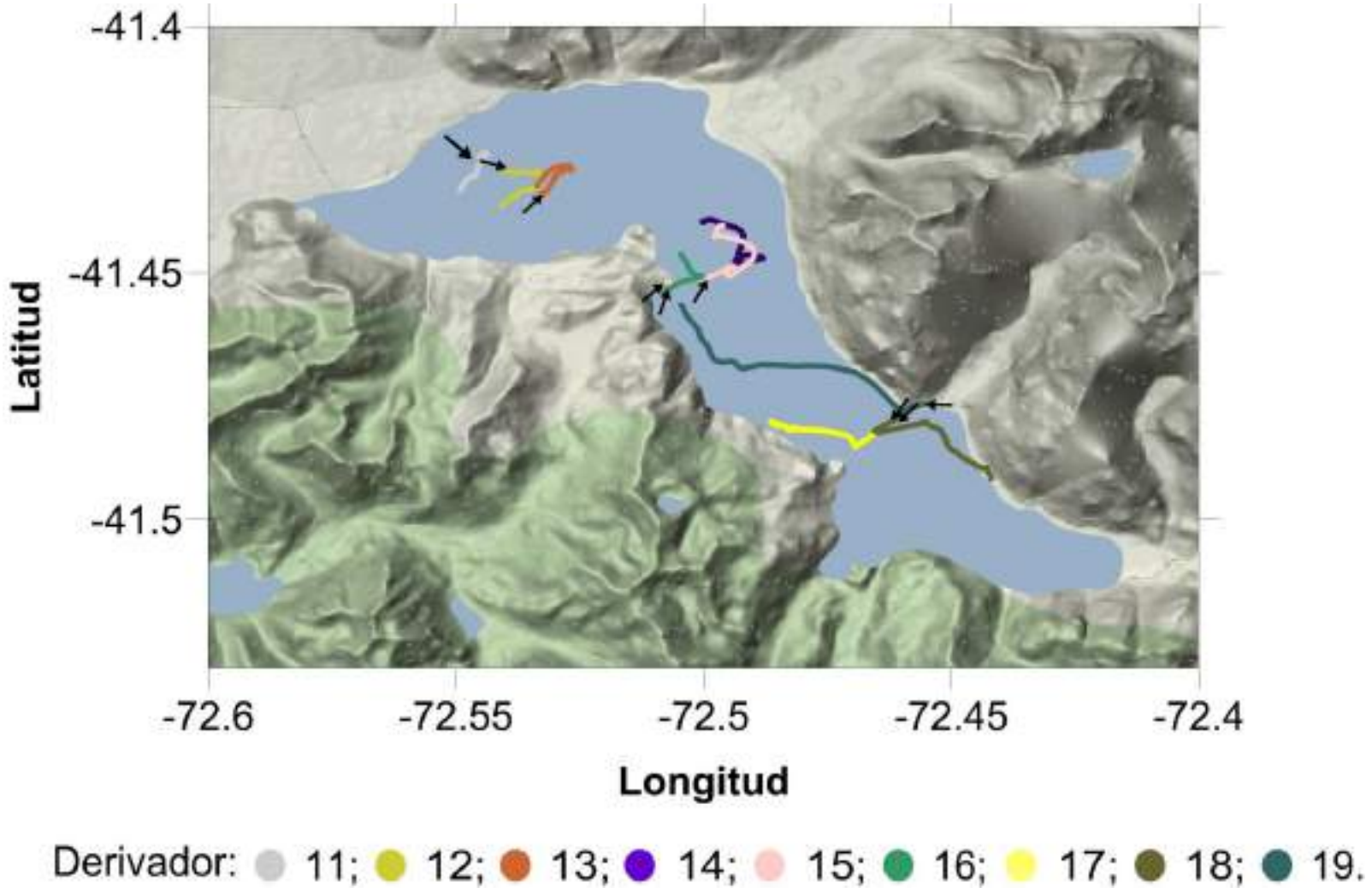


Fig. 168 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Chapo

Concluyendo:

- El lago Chapo es el mayor de los lagos denominados pequeños en este trabajo.
- La dirección del viento se modifica de acuerdo a la forma del valle que contiene al lago.
- Los derivadores superficiales liberados en tres transectos en el cuerpo del lago se desplazaron siguiendo la dirección del viento y sus variaciones de rumbo cubriendo la totalidad de la superficie del lago, los derivadores profundos (15m) mostraron una dirección opuesta a los derivadores superficiales, dando cuenta así lo que hemos denominado como corrientes de retorno.
- Las trayectorias de los derivadores de profundidad muestran desvíos en su trayectoria en sectores de costa irregular y otros en agua abiertas que corresponderían a movimientos turbulentos de la masa de agua.
- El lago Chapo registra antecedentes sobre su correntometría aportados por la U de Valparaíso el año 1998. Aun cuando fueron obtenidos en tres períodos del año, verano, invierno y primavera son escasos y en lugares puntuales restringidos, lo que no permite establecer comparaciones sobre la hidrodinámica del lago ni establecer patrones de comportamiento estacional

Los datos obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto es el resultado de un día de trabajo, no obstante la cantidad de derivadores sembrados en el lago en número de 18, la permanencia en el lago, 20 hrs., las distancias recorridas por los derivadores y el área de cobertura alcanzada por ellos, nos permite afirmar que un viento que se manifiesta del NW con intensidad que varió entre los 5.4 y 19.9 Km/h. El estrato de agua superficial del lago avanza siguiendo la dirección del viento según los dos ejes mayores del lago. Recorren la totalidad de la superficie del lago, en cambio los derivadores de 15m hacen un recorrido en sentido inverso, esto se debería al retorno del agua profunda para compensar el desequilibrio generado por el viento en el estrato de agua superficial. En cualquier época del año las velocidades de las corrientes del lago están condicionadas por la dirección e intensidad del los vientos que las

generan, sufriendo modificaciones en su dirección de acuerdo a la topografía del valle que contiene al lago y factores que pueden modificarlas como es la estratificación térmica del lago durante el período estival.

3.4.7 Evaluación del estado trófico del lago Chapo

Para el lago Chapo existen datos históricos disponibles desde 1986/87 hasta 2008, mas los datos puntuales de este estudio durante primavera 2012. El primer estudio disponible es la linea base del proyecto hidroelectrica Canutillar en 1986. Fue ejecutado por la Universidad Austral de Chile (Dr. Hugo Campos y colaboradores) y posteriormente publicado por Woelfl et al. 2003. Sigue el estudio sobre el balance de nutrientes de la Universidad de Valparaiso durante 1998 (Proyecto FIP 97-40) y desde 2003 hasta 2008 el monitoreo de la Dirección General de Aguas. Todos los datos fueron unificados en un banco de datos (formato excel) para ser evaluados.

3.4.7.1 Análisis de la cálidad de los datos históricos

1986/87 (Woelfl 2003): Se monitoreo mensualmente la columna de agua (9 profundidades, 0-100 m) en una estación central del lago Chapo. Respecto a los parámetros transparencia y clorofila a no se encontraron datos dudosos o erróneos. Respecto a la calidad de los datos de fósforo total, se encontraron problemas de los siguientes índoles:

- los valores medidos en los primeros 7 meses del estudio son extremadamente bajos (< 0,001 mg PT/L) (Fig. 169)
- a partir de abril 1987 los valores de PT aumentan abruptamente por el factor 5 respecto a los valores anteriormente medidos (0,002 y 0,003 mg PT/L) (Fig. 169). Sin embargo, siguen siendo muy bajos.

Este consultor estima que es muy probable que todos los valores medidos estan bajo del límite de detección de este parámetro que se estima por lo menos ~ 0,003 mg PT/L (o mas alto).

Respecto al aumento abrúpto de PT en abril 1987, no se conoce procesos/causas para explicar tal aumento en un lago araucano con un tiempo de renovación hídrica mensual de ~ 1% de su volumen. Similares problemas ya se discutió en estudios similares en los lagos Puyehue (capítulo 3.1.2) y Rupanco (capítulo 3.2.2)

Se concluye que los valores de PT para esta epóca no son confiables en su totalidad, especialmente los datos entre septiembre 1986 y mayo 1987.

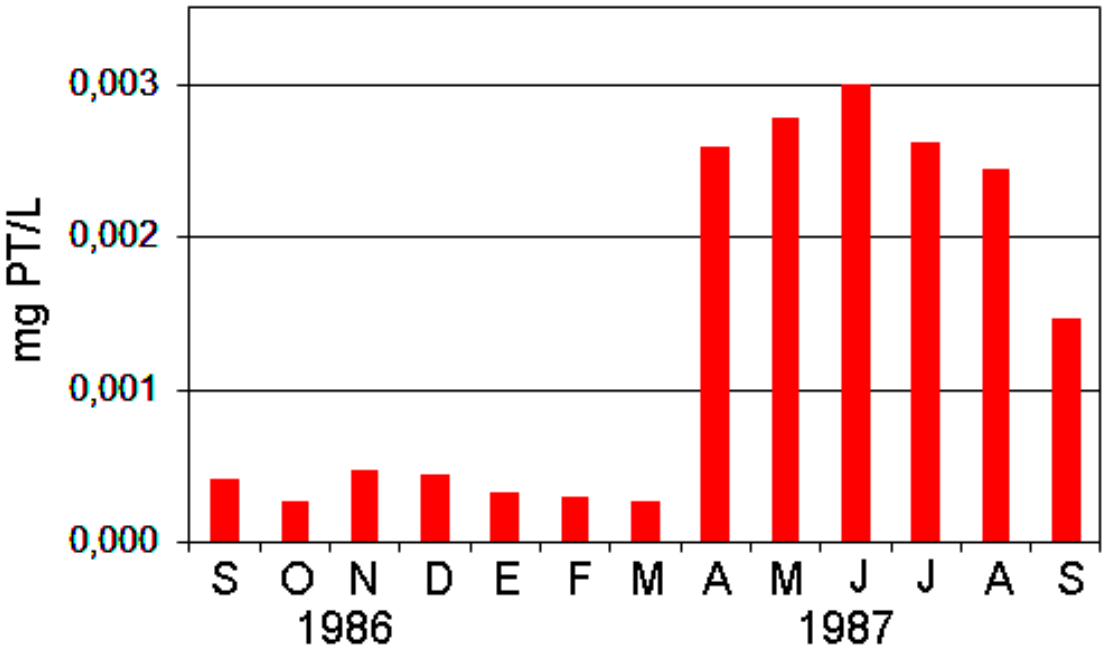


Fig. 169 Promedio de fósforo total en la columna de agua en el lago Chapo (0 – 100 m, estación centro) durante 1986/87 (Woelfl et al. 2003)

1998 (Universidad de Valparaiso): Los datos de este estudio (proyecto FIP 97-40) fue extensamente evaluado en el capítulo 3.4.2. Sin embargo, un chequeo detallado de la cálidad de los datos tróficos presentados en el informe se dificultó por la completa falta de los datos crudos, que se presentaron solamente en figuras o en forma resumida. No obstante de esta dificultad, se estima que la cálidad analítica de datos parece ser satisfactoria a pesar de que se observaron ciertos valores dudosos que no son coherentes (muy bajos o altos) con los demás valores p.e. en las figuras de la serie de tiempo de PT en el informe (Fig. 170).

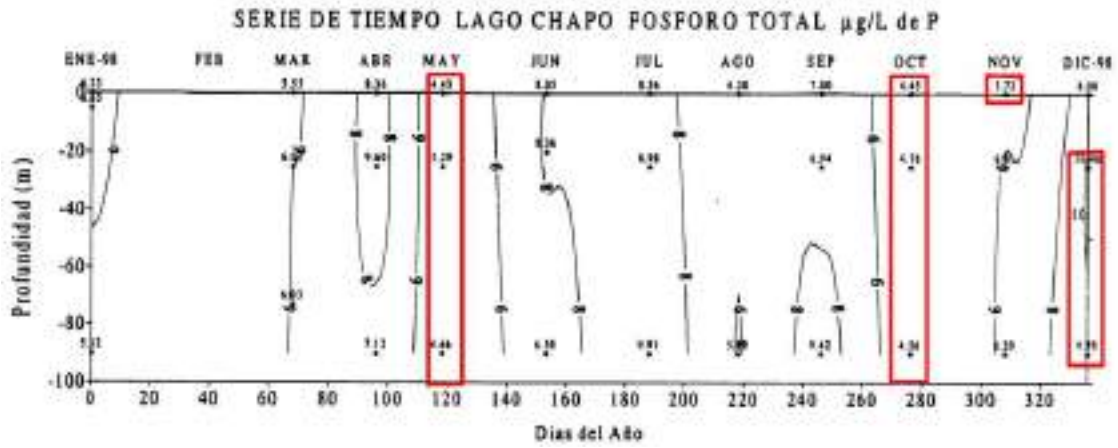


Fig. 170 Serie de tiempo de PT en el lago Chapo (corresponde a figura 46 del informe FIP IT 97-90).

2003-2008 (DGA): Estos datos fueron entregados por la Dirección General de Aguas, que monitorea desde 2003 la cálidad de agua del lago Chapo en las profundidades 0-15-30 m en 3 estaciones a lo largo del eje longitudinal del lago con una frecuencia trimensual (Fig. 171).

Fig. 171 Ubicación de las estaciones de monitoreo de la DGA (1: Chamiza, 2: Centro, 3: Canutillar).
Fuente: POCH Informe S.I.T. N°192 (2012), Figura 43 A, levemente modificada.

Respecto a los valores de transparencia y clorofila a, todos los datos de la DGA parecen correctos y coherentes. No se descarta ningún valor.

Respecto al fósforo total se estima que en general todos los datos son dudosos debido a los siguientes consideraciones:

1) Hay valores extremos (> 0,200 mg P/L) (Tabla 105, Fig. 172) que se puede considerar completamente fuera del rango esperado (< 0,020 mg P/L) para un lago araucano. Según la DGA, estos análisis fueron realizados por un laboratorio externo cuyos límites de detección fueron 0,200 mgP/L..

2) Los valores de PT no son coherentes entre si. Se observa cambios abruptos entre fechas y en menor grado también entre diferentes profundidades (Tabla 106). Por ejemplo, entre 12.11.2003 y 31.8.2004 el PT cambió desde 0,0015 mg P/L a 0,0102 mg P/L, o sea por el factor 7. Posteriormente baja a 0,038 mg P/L y sube de nuevo, ahora hasta 0,0185 mg P/L (13.7.2005). Como ya se discutió en capítulos anteriores (3.1.2; 3.2.2), no se debería esperar cambios abruptos de PT ni en un perfil vertical ni en el tiempo en el pelagial de un lago araucano.

Se concluye que la mayoría de los datos de PT de la DGA son dudosos y/o incluso erróneos. Su uso para evaluar la trofía del lago Chapo es cuestionable.

Tabla 105 Ejemplo de valores extremo de PT, medido en el lago Chapo durante 2009.
Celdas naranjas destacan los valores extremos

Estación	fecha	Profundidad (m)	PT mg/L
CENTRO	11-02-2009	0,1	0,2000
CENTRO	11-02-2009	15,00	0,2000
CENTRO	11-02-2009	30,00	0,3500
CANUTILLAR	11-02-2009	0,1	0,2000
CANUTILLAR	11-02-2009	15,00	0,3500
CANUTILLAR	11-02-2009	30,00	0,3200
Chamiza	11-02-2009	0,1	0,2000
Chamiza	11-02-2009	15,00	0,2000
Chamiza	11-02-2009	30,00	0,2400

Es posible que estas grandes variaciones de PT son debido al mal uso de la curva de calibración, que incluye solamente un rango entre 0,012 mg P/L y 0,200 mg P/L (comunicación personal DGA). Por lo tanto, la curva de calibración no es apta para medir concentraciones de PT menores a 0,012 mg P/L.

Tabla 106 Concentraciones de fósforo total, medidas en la estación Centro del lago Chapo (2003-2006).

Rojo: valores muy altos; naranjo: valores altos; azul: valores muy bajos.

Fecha	Prof. (m)	PT mg/l	Promedio PT mg/L
12-11-2003	0,1	0,0016	0,0015
	15,00	0,0015	
	30,00	0,0013	
05-05-2004	0,1	0,0030	0,0033
	15,00	0,0030	
	30,00	0,0040	
31-08-2004	0,1	0,0082	0,0102
	15,00	0,0123	
	30,00	0,0080	
10-11-2004	0,1	0,0047	0,0038
	15,00	0,0033	
	30,00	0,0037	
26-01-2005	0,1	0,0046	0,0039
	15,00	0,0042	
	30,00	0,0025	
13-07-2005	0,1	0,0296	0,0185
	15,00	0,0150	
	30,00	0,0144	
09-05-2006	0,1	0,0050	0,0042
	15,00	0,0041	
	30,00	0,0037	
24-08-2006	0,1	0,0113	0,0148
	15,00	0,0139	
	30,00	0,0199	

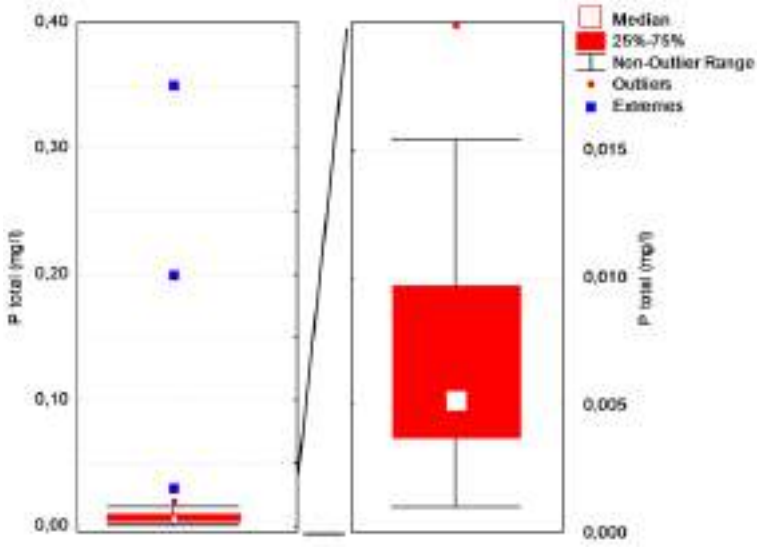


Fig. 172 Box-whisker plot de PT para el lago Chapo. Datos de la DGA (2003-2008)

3.4.7.2 Evaluación del estado trófico

Como se discutió en el capitulo anterior, los datos de PT de la DGA y en 1986/87 no parecen confiables, por lo cual no se incluyen en la evaluación del desarrollo del estado trófico del lago Chapo. En la figura 173 se marcó estos valores dudosos con color gris.

La figura 173 muestra los valores promedios de la profundidad Secchi, clorofila a y PT para cada fecha y estación de muestreo, mientras la figura 174muestra los promedios anuales de clorofila a y visibilidad. Además se hizo una indicación del estado trófico en diferentes colores.

En general se aprecia una alta variabilidad de los datos de la DGA que probablemente esta relacionada con los diferentes estaciones de muestreo.

Tabla 107 Evaluación del estado trófico histórico del lago Chapo (promedio ± desviación estándar).
Clorofila medido con fotometría. N = fechas de muestreo. s.d. sin datos; * datos dudosos
Fuente: 1: Woelfl et al. 2003; 2: Informe FIP-IT/97-40 (1999); 3: DGA, banco de datos; 4: este estudio

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	Transparencia (m)	PT (mg/L)	Chla (µg/L)	Fuente
1986/87 (N=12)	16,9 ± 5,0	0,001* ± 0,001*	0,55 ± 0,2	1
1996-1997 (N=12)	11,2 ± 2,0	0,007 ± 0,001	1,43 ± 0,71	2
2003 (N=4)	16,3 ± 0,8	0,001* ± 0,000	s.d.	3
2004 (N=4)	9,2 ± 2,0	0,007* ± 0,003	s.d.	3
2005 (N=4)	12,9 ± 0,7	0,012* ± 0,009	1,45 ± 0,5	3
2006 (N=4)	13,1 ± 2,9	0,011* ± 0,005	2,29 ± 0,4	3
2007 (N=4)	9,9 ± 3,6	0,005* ± 0,002	2,36 ± 1,5	3
2008 (N=6)	10,4 ± 4,7	0,007* ± 0,004	2,91 ± 1,3	3
2012 (N=1)				4
Centro 1	8,5	0,006 ± 0,001	5,3 ± 0,6	
Centro 2	6	0,006 ± 0,001	5,1 ± 1,7	
100394	6	0,006 ± 0,001	6,1 ± 1,1	
101332	8	0,006 ± 0,001	3,3 ± 0,6	
101291	7,5	0,007 ± 0,003	4,6 ± 1,6	
101051	7,5	0,006 ± 0,003	5,5 (1 valor)	
100678	9	0,006 ± 0,000	5,2 (1 valor)	

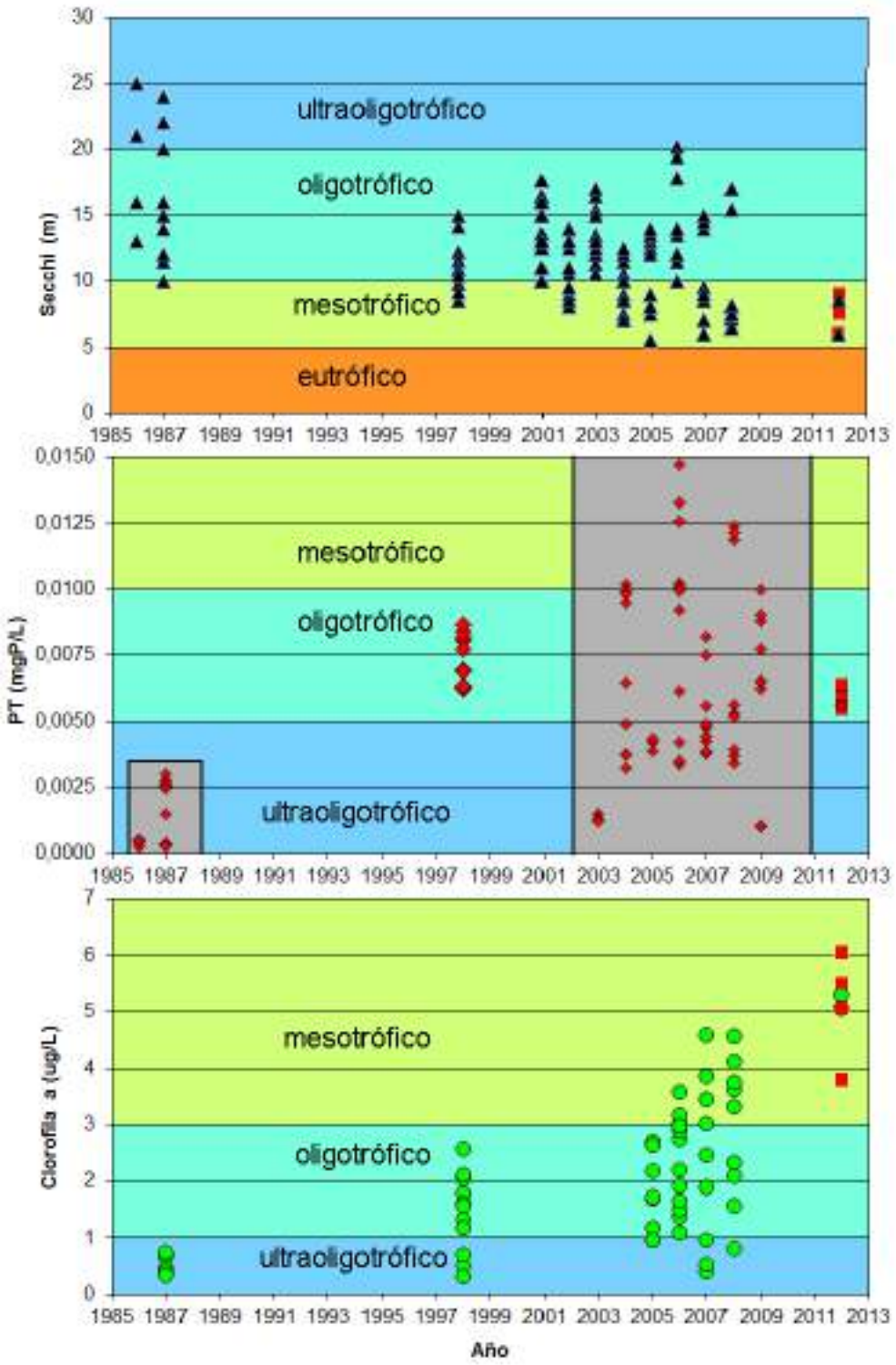


Fig. 173 Parámetro tróficos (promedio) de cada estación en el lago Chapo entre 1987 y 2012.
área gris: valores dudosos; ■ datos este muestreo

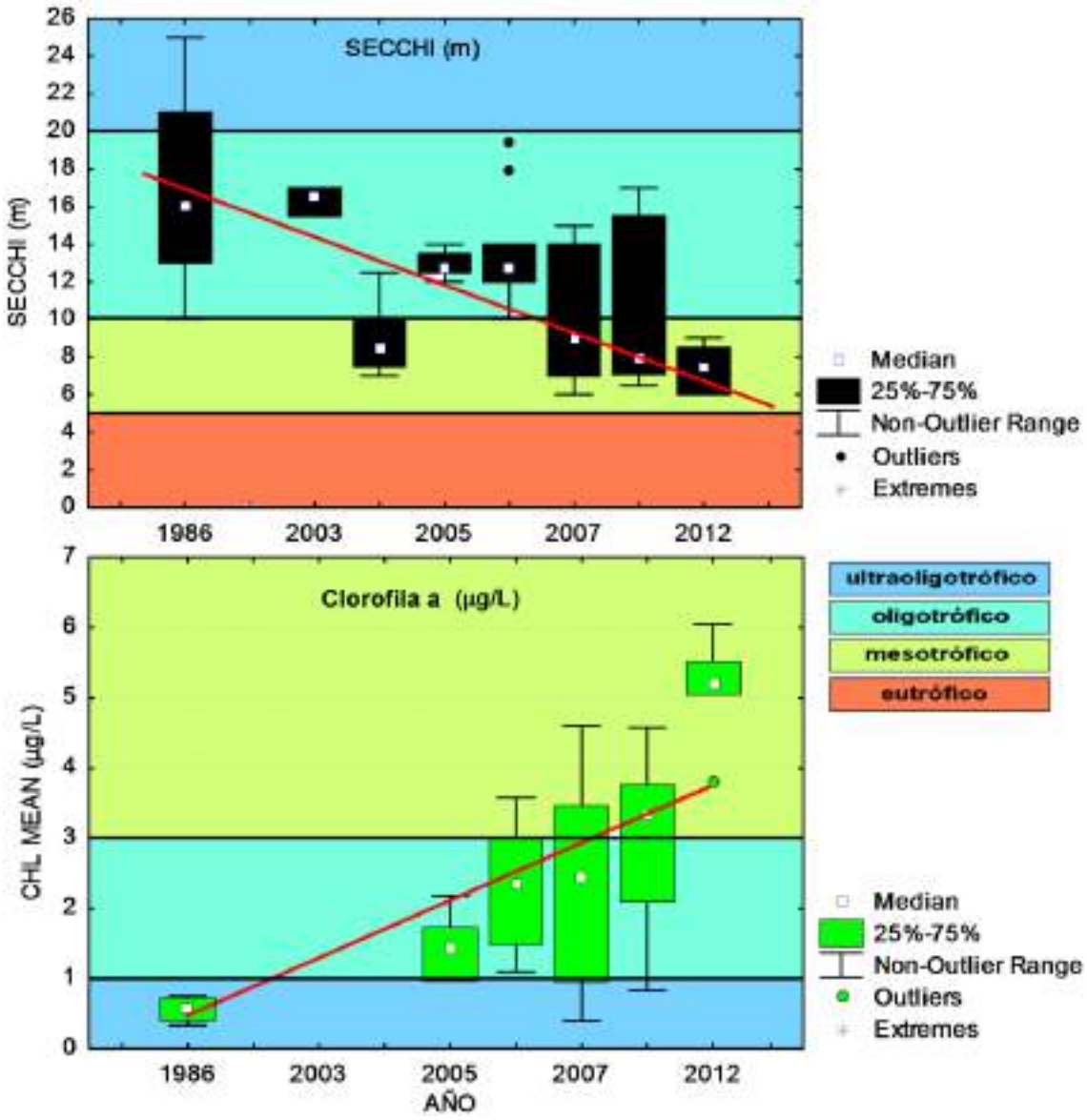


Fig. 174 Box wisker plot de profundidad Secchi y clorofila a (promedio anual) y indicación del estado trófico en el lago Chapo entre 1987 y 2012

Una similar heterogenidad se reportó también en el informe FIP IT 97-40 como muestra por ejemplo la figura 175 para la distribución horizontal de clorofila a y PT en invierno y primavera 1998.

De acuerdo a los parámetros transparencia y clorofila a el lago Chapo muestra claramente un cambio de su estado ultra-oligotrófico en el año 1986/87 hacia un estado oligotrófico-mesotrófico en 2011 (Tabla 107, Fig. 174). Los datos puntuales (una fecha) de este estudio apuntan en la misma dirección, pero no pueden ser tomado como promedio anual, porque estos dos parámetros muestran naturalmente cambios notables durante el año (Woelfl et al. 2003, Villalobos et al. 2003).

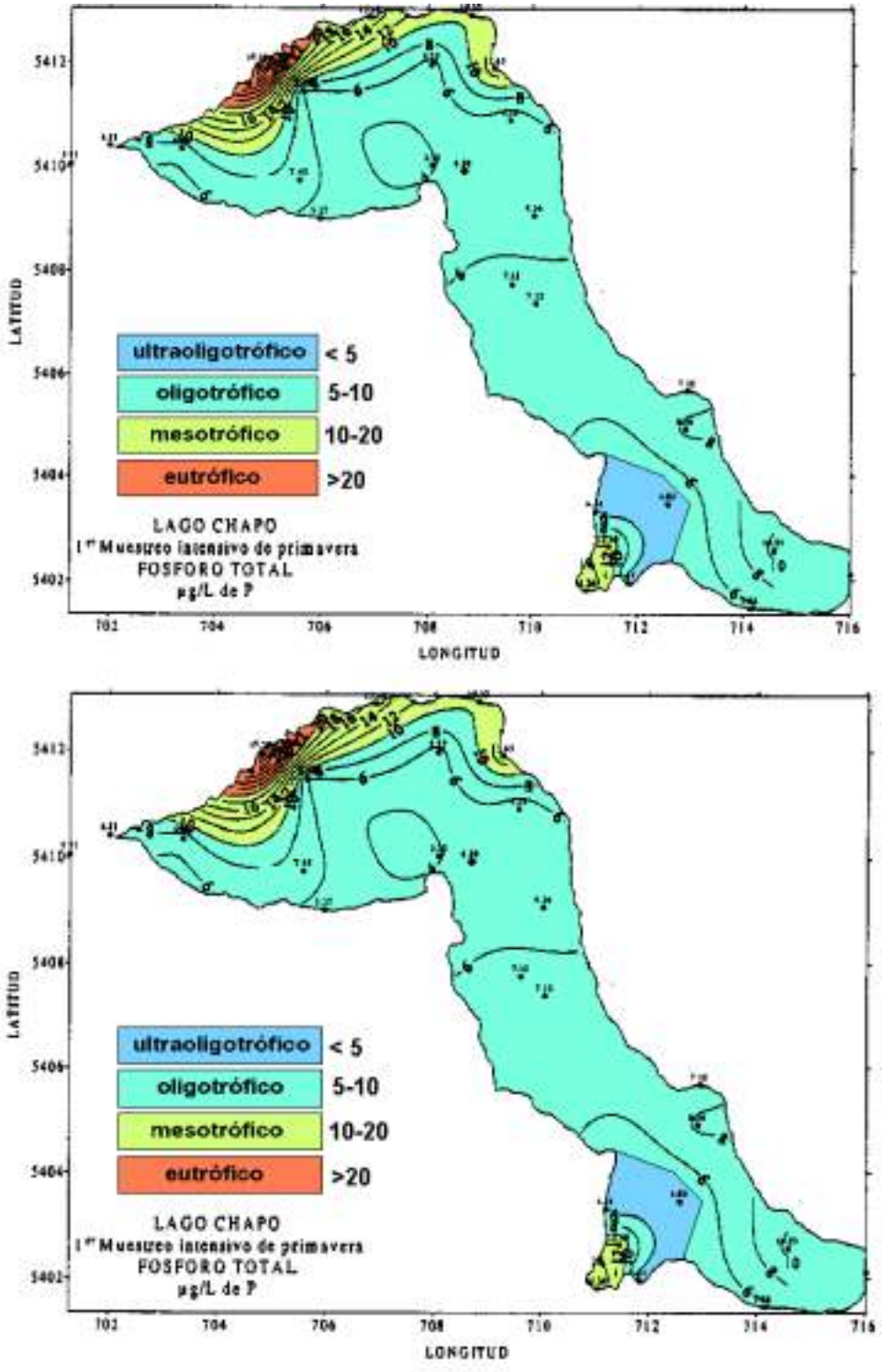


Fig. 175 Distribución horizontal de clorofila a y PT en el lago Chapo. (Fuente: Informe FIP IT 97-40, indicación trófica agregada por este consultor)

Respecto al PT, los datos de 1998 y de este estudio son muy similares, por lo menos respecto a la zona pelágica del lago Chapo, indicando un estado

todavía oligotrófico, pero con tendencia a mesotrofía. Los datos de PT de la UACH en 1986/87, aún cuando son muy dudosos, si parecen haber sido bajos (< 0,005 mg P/L), lo que deja concluir que el lago Chapo si esta sufriendo una eutrofización durante los últimos 25 años (véase próximo capítulo).

3.4.8 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto a el estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respecto a interrognate de si el lago Chapo es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.4.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS Y BASE DE DATOS DGA – Como se discutío anteriormente muy detalladamente, sobre el lago Chapo existe amplia información desde los años ochenta, con los estudios básicos de la UACH, posteriormente el estudio sobre el balance de nutrientes de la Universidad de Valparaiso (FIP-IT/97-40) y desde 2003 el monitoreo de la DGA.

La revisión y evaluación de la información relevante recopilada de este estudio entrega la siguiente información en forma resumida:

- En la base de datos de la DGA, se detectaron en algunos casos problemas mayores – principalmente metodológicos y analíticos - que limitan en parte realizar conclusiones robustas, especialmente sobre el desarrollo de la concentración de fósforo total en los últimos 10 años.
- En casi la totalidad del estudio FIP-IT/97-40 fue imposible o muy difícil verificar tanto los cálculos realizados para obtener las diferentes cargas

como el contenido de P en la columna de agua y la salida de nutrientes por el efluente.

- Referido al estudio FIP-IT/97-40, las cargas de P aportadas por los centros están sobreestimadas (factor 6-7x !!) y fue prácticamente imposible verificar el resultado entregado.
- Los parámetros clorofila a y transparencia muestran muy claras señales de eutrofización del lago Chapo desde los años ochenta.

B) INFAS – La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura entregó los informes de la información ambiental de solo un centro de cultivo (100394) para los años 2010-2011. Lo sitios de referencia presentaron entre sí, diferencias de hasta un 35% en fango (2010-2012), mientras las estaciones bajo las balsas jaulas presentaron solo diferencias leves con los sitios de referencia relativo a la materia orgánica. Respecto al potencial de redox, las estaciones de referencia indicaron una mejora en las condiciones de oxigenación respecto a las restantes estaciones mas afectadas. En suma, se observaron en general diferencias relativamente notables entre años y estaciones.

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~450 y ~3000 ton/año. En los últimos 2 años (2011-2012) la producción fluctuó entre 1700 y 2000 ton de peces por año. Según los cálculos del presente estudio, los aportes de P correspondientes a los seis centros de cultivo fluctuaron entre 3 y 17 tonP/año. En general, la carga de P, evidencia un incremento sostenido hasta 2009. Luego, tiende a bajar a niveles entre 10 y 17 ton/año hasta 2012.

D) MONITOREO DE ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

En el marco de este proyecto se realizó un muestreo de la columna de agua (7 estaciones) y del sedimento (5 estaciones). Además se realizaron mediciones de correntometría.

CORRIENTES – Se midieron las corrientes en todas las bahías con centros de cultivos en el lago Chapo. Como resultado general se puede resumir que

existen corrientes notables dependientes de la velocidad, orientación del viento y la morfometría del lago. Importante desde el punto de vista de este informe es que se puede suponer con un alto grado de certeza que las corrientes (por lo menos en la capa superficial hasta los 15 m de profundidad) son suficientemente fuertes (2 – 30 cm/s) para producir una buena distribución y mezcla de los nutrientes disueltos. Las mediciones muestran una similitud a las mediciones reportadas en 1998 por el proyecto FIP-IT/97-40.

SEDIMENTO – En general se observó una buena oxigenación de los sedimentos muestreados. Se observaron diferencias notables entre sitios y entre réplicas de la misma estación. Se destacó el gran aporte de material orgánico depositado en una estación del centro Desagüe 2 donde se obtuvo un valor de 21 % y otras estaciones cercanas al centro Río Sur, en especial en la estación 2 donde se registró un valor de 38 % con un leve olor a podrido y la estación 1 cercana al centro La Peña, con un aporte orgánico de 32 % con olor a podrido.
Se concluye, que por falta de información de las INFAS de cuatro de cinco centros, no se puede realizar una comparación con los datos de este estudio.

No obstante, este consultor (por medio del Dr. Dirk Schories) tiene adicionalmente información visual sobre el sedimento en las cercanías del centro de cultivo 100394 (41°26’7’’S 72°34’40’’W), donde a través de buceo subacuático durante marzo 2011 se pudo comprobar que el sedimento estuvo completamente cubierto en su parte menos profunda (< 5 m de profundidad) por especies de Charophytas (*Nitella tenuissima* y *Chara braunii*). Mientras que se observaron especies que estuvieron sanas y de color verde oscuro en la parte Norte de la estación de muestreo (Figura 176), el color de *N. tenuissima* cambió a amarillo a una distancia relativamente corta en la parte Sur (Figura 176). Esta diferencia en la coloración fue causada por los depositos provenientes de los cultivos de salmones. Esos restos, depositados sobre las Charophytas y más probablemente los altos contenidos de amonio de los alimentos en descomposición fueron la causa de la decoloración (clorosis) de las algas, correspondiente a un daño fisiológico. Debido a los altos valores de nutrientes, probablemente varias otras algas filamentosas oportunistas se

desarrollaron y distribuyeron en la parte interior de la bahía, soltándose algunos talos después de que alcancen cierto tamaño (Figura 176).

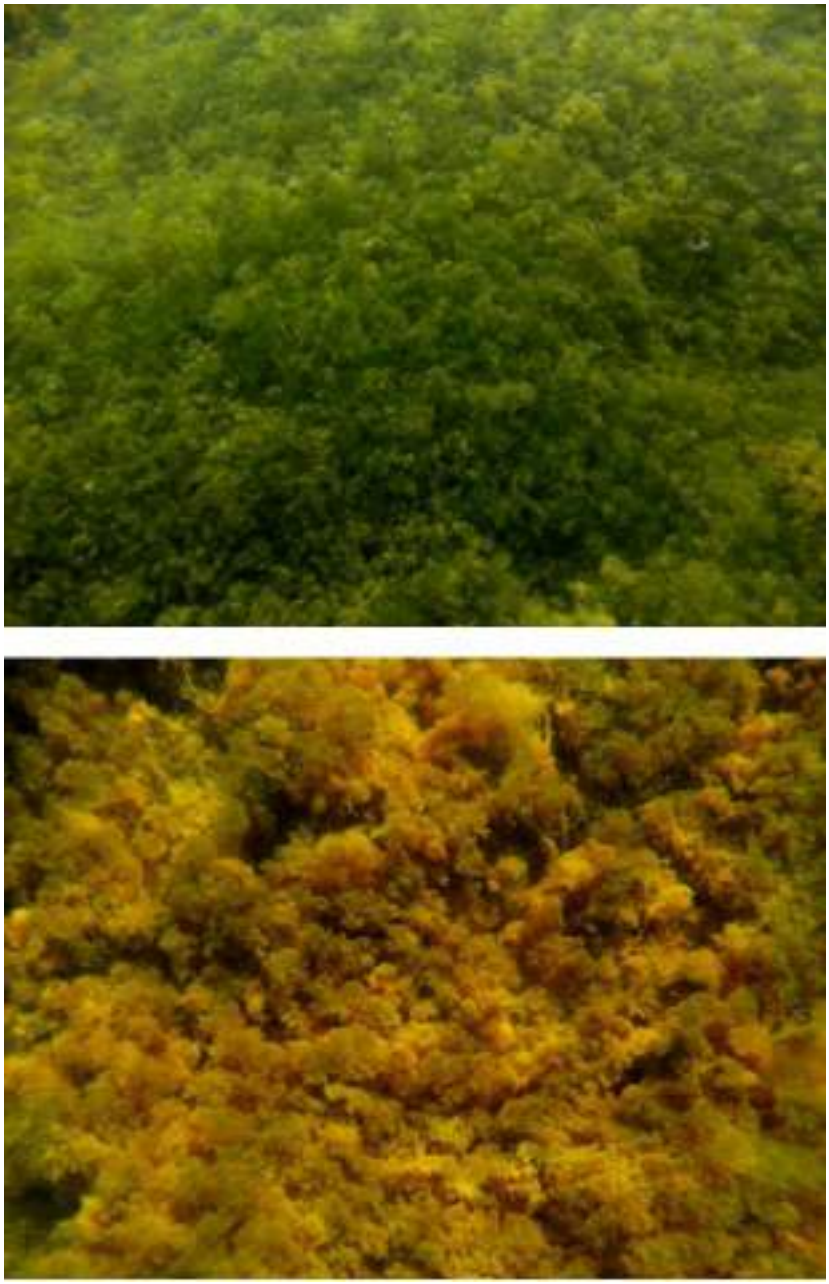


Fig. 176 Fotos subacúaticos de Characeas en el lago Chapo (Marzo 2011).
Fuente: D. Schories

CALIDAD DE AGUA – En el capítulo 3.4.7 ya se discutió este aspecto en detalle y en conjunto con los datos históricos. En resumen se puede decir:

- Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 fueron prácticamente los mismos que en 1996/97 (0,006-0,007 mgP/L) y típicos para ambientes todavía oligotróficos. No se encontraron diferencias significativas importantes entre estaciones referenciales y los demás estaciones cerca de los centros de cultivo.

- Sin embargo tanto la transparencia como la clorofila a, que fueron similares en todas las estaciones, indicaron un estado trófico mas bien mesotrófico. Aúnque en 2012 solamente había un muestreo, tanto la transparencia como la clorofila a mostraron desde los años 1986 hasta la fecha un continuo y marcado empeoramiento de la calidad del agua.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS - Respecto al fitoplancton, solamente existen datos de 1986 (Villalobos et al. 2003) y de verano 2011 (EULA-DGA, 2011) para comparar con los resultados obtenidos en este estudio. Las densidades de fitoplancton encontradas en todas las estaciones son bastante mas altas que los datos reportados en la literatura científica 1986 (promedio 250.000 cel/L) y en verano 2011 (20-70.000 cel/L).

Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio son en parte diferentes a las de 1986 (Villalobos et al. 2003), porque *Boeckella gracilipes* anteriormente dominante no se encontró, tampoco *Diaphanosoma chilense*. Domina el copepodo calanoideo *Diaptomus diabolicus.*

Por otro lado, las densidades de zooplancton encontradas en nuestro estudio fueron similares al amplio rango reportado en 1986.

3.4.8.2 Conclusiones y recomendaciónes

El lago Chapo claramente muestra señales de eutrofización

Respecto a la pregunta, si en el futuro se va a mantener el estado todavía oligotrófico o cuan grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Chapo, se debería disponer de datos mas recientes sobre los ingresos de nutrientes al lago para hacer afirmaciones mas acertadas. Sin embargo, las informaciones disponibles permiten realizar las siguientes consideraciones:

- De acuerdo a nuestros resultados el lago tiene una concentración promedia de ~ 0,006 – 0,007 mg PT/l en la columna de agua, tanto en los sitios de

control como en las bahías con actividad salmonicultura. Estos valores indicarían un estado todavía oligotrófico.

- Sin embargo, la transparencia y clorofila a, muestran claramente un aumento de la trofía hacía condiciones mesotróficas durante los últimos 20 años.
- La carga crítica (para no sobrepasar 0,010 mg P/l en la columna de agua) correspondiente al lago Chapo es de 42 y 57 tonP/año, asumiendo un tiempo de renovación de 5,5 (valor reportado 1986) y 3,4 años (valor reportado 1998).
- En el caso que el lago se encuentre en equilibrio dinámico (véase 2.2.1.1), el lago debería recibir una carga de ~ 25 ton P/año (Tw=3,4 años) hasta 34 ton P/año (Tw=5,5 años). En el caso que el lago no se encuentre todavía en equilibrio, estaría experimentando una acumulación de P y en este caso la carga de P sería mayor a 25-34 ton P/año.
- Se estima que la carga de P por parte de la actividad acuícola es por lo menos 50-60% de la carga actual total de la cuenca, que se estima en mínimo 25 tonP/año (en 1998 los afluentes aportaron 7,4 tonP/año, precipitación 1,4 tonP/año, mas otras cargas < 1 tonP/año).

Se concluye y recomienda lo siguiente:

Respecto a la actividad acuícola en el lago Chapo, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola para no sobrepasar o acercarse demasiado a la capacidad de carga del lago. Se debe incluso ver la posibilidad de reducir la carga por actividad acuícola. Se debe evaluar mejor el riesgo de un aumento de trofía y realizar un balance actual de los nutrientes de la cuenca del lago Chapo. A su vez se sugiere estudiar la influencia de la variación del nivel del lago sobre su trofía.

3.5 LAGO POPETÁN

3.5.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Popetán (42º12´S, 73º28W) se ubica en el noreste de la isla grande de Chiloe, a unos 8 km al sur de Quemchi. Tiene una superficie de solo 1,6 km^2 y una cuenca hidrográfica 8,3 veces mayor (Tabla 108). Su profundidad máxima y media es solamente 17,4 y 8,1 m. Su tiempo de renovación es ~0,2 años (informe FIP-IT/97-40, 1999).

Tabla 108 Características básicas del lago Popetán

Superficie (km^2)	1,6
Cuenca (km^2)	13,3
Relación cuenca/lago	8,3
Volumen (km^3)	0,013
Profundidad máxima (m)	17,4
Profundidad media (m)	8,1
Tiempo de renovación (años)	0,2

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 109 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Popetán. Este lago fue solamente estudiado por la Universidad de Valparaíso que realizó un balance de nutrientes durante 1998.

Tabla 109 Resumen de los datos disponibles para el lago Popetan

verde: información disponible; rojo: sin información disponible
1: Universidad de Valparaiso (1999) informe FIP-IT/97-40; 2: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1998			1
Balance hídrico	1998-99			1
Calidad química agua lago y efluente	1998		5 estaciones muestreo mensual, 3 profundidades	1
Calidad química agua afluentes	1998-99		3 afluentes, muestreo estacional	1
Cuantificación carga centros	1998		4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles)	1
Cuantificación carga otras fuentes	1998		4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles)	1
Balance de nutrientes, carga actual	1998			1
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1998		catastro bosque	1
Biología				
Calidad sedimentos	1998		3 estaciones (1 estación bajo la influencia de centro, 2 estaciones controles)	1
Correntometría	1998		0 y 5 m muestreo estacional	1
Infas				
Producción peces	1998			2
Régimen térmico	1998-99		0 – 12 m	1

3.5.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Existe solamente el estudio efectuado el año 1998 por el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso tenía como propósito determinar la capacidad de carga y balance de P y N del lago Popetan (Informe FIP IT 97-40). Sus alcances y limitaciones se presentan a continuación:

USO DEL SUELO

Metodología – Las cartas de uso de suelo se basaron en mapas topográficos del IGM escala 1:50000 y en cartas del "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF-Conama-Birf, 1997). La descripción de los tipos de bosques presentes se realizó por la fisionomía de la vegetación, basado en datos aportados por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (CONAF-Conama-Birf, 1997).

Resultados – La cuenca fue constantemente perturbada por uso agrícola con una notable disminución de vegetación nativa que ha sido reemplazada por mirtáceas (Tabla 110). Las praderas perennes que alcanzan el 25% de la superficie de la cuenca esta dominado por especies introducidas herbáceas de uso ganadero en zonas que están en contacto directo con el lago. Siguen en importancia vegas (22%), renoval denso (20%) y renoval semidenso (9,4%).

Tabla 110 Tipos de vegetación en cuenca lago Popetán

Tipos de Vegetación	Superficie km^2	% superficie cuenca
Bosque nativo adulto denso	1,63	12,3
Bosque nativo adulto semidenso	0,50	3,7
Renoval denso	2,67	20,1
Renoval semidenso	1,27	9,4
Renoval abierto	0,24	1,8
Praderas perennes	3,43	25,8
Matorral abierto arborescente	0,35	2,6
Matorral abierto	0,28	2,1
Vegas	2,92	22
Total	**13,28**	

Evaluación

No hay observaciones.

ENTRADAS DE NUTRIENTES AL LAGO

Metodología

Carga por afluentes - El ingreso de agua por afluentes se efectuó desde febrero de 1998 a enero de 1999, el estudio se vio interrumpido desde primera

semana de febrero hasta abril. Se midieron 2 afluentes y producto de una prolongada sequía durante 1998 se observo la sequedad total del principal afluente en enero de 1999. El afluente 2 fue medible desde junio representando una proporción que fluctuó entre el 2,3% del afluente principal.

Carga por escurrimiento superficial - El ingreso por escurrimiento superficial difuso se efectuó por la selección de dos parcelas (bosque renoval y pradera) donde se se midió directamente la concentración de P presente en la aguas de escurrimiento difuso que no vierten hacia afluentes individuales del lago.

Carga por precipitación - Las precipitaciones y evaporación se estimaron por estación metereológica no se incluyeron determinaciones directas de P total (solo de nitrógeno). Para estimación de cargas de P aportadas anualmente por precipitación se uso el promedio ponderado por precipitación establecido para el lago Chapo en este mismo estudio (0,0137 mg/L P total).

Carga por centros de cultivos - Para estimar el ingreso de nutrientes por centros de cultivo, se realizó el análisis de los pellets suministrados a los salmones y se instalaron trampas de sedimentación en trenes de balsa y en tres zonas control, ubicadas a la zona de ingreso del afluente principal, en el área central del lago próximo al sector de las balsas y en sector cercano al desagüe natural, mediciones solo en invierno y primavera, por no contar con autorización de ingreso por parte de empresas. Además se estimaron la producción de salmonidos en los centros de cultivo y la cantidad de alimento necesario.

Resultados

Carga afluentes - La carga total de P no sale en el informe porque faltan las respectivas páginas. Sin embargo, según el resumen del informe FIP el aporte de P por el cultivo fue 160 kg al año.

Carga difusa - Se estimo un caudal de escurrimiento difuso equivalente al 79.8% del total aportado por cursos afluentes, que contribuye anualmente con 0,9 kg de P.

Carga lluvia - La carga anual de P total por lluvias al lago Popetán se estimó igual a 21 kg.

Carga centro de cultivo - El alimento utilizado contenía 0,88 % P. El sedimento captado bajo las balsas fue entre 72 y 306 g/m^{2}xdía, con un contenido de 2,85-3,79% P. La carga total de P no sale en el informe porque faltan las respectivas páginas. Sin embargo, según el resumen del informe FIP el aporte de P por el cultivo fue 7976 kg al año.

Evaluación

La estimación anual de ingresos de N y P al lago es aproximativa, ya que se realizaron tres campañas intensivas de terreno durante un año, considerados períodos que reflejan la variabilidad anual en los caudales y concentraciones de nutrientes. Llama la atención la muy baja carga por ingreso de escurrimiento difuso. No se puede validar estas estimaciones porque el informe no entrega los valores de P medidos en el agua de escurrimiento, ni los cálculos realizados.

El aporte de P por precipitaciones no se puede validar porque se presentan solo datos sobre ocho meses y no sobre doce meses como muestra la tabla 66 del informe FIP.

Tabla 66. Precipitación acumulada mensual, lago Popetán.

MES	PP (mm)	MES	PP (mm)
Marzo	149,6	Octubre	10,6
Abril	137,8	Noviembre	74,6
Junio	142,4	Diciembre	20,6
Julio	264,2		
Agosto	171,0		

Sin embargo, el valor entregado en el informe FIP (21 kg P) parece en el rango esperable.

Respecto a la carga por el centro de cultivo llama la atención el muy alto valor de 7,98 ton P reportado. No esta claro como se calculó este valor, porque en el informe FIP no se presenta el cálculo. Propablemente se calculó con las tasas de flujo medidas con las trampas de sedimentación las cuales se multiplicaron con el área de las balsas (no hay datos al respecto).

Según nuestras consideraciones esta carga es sobreestimado por el factor ~ 4-5x veces. Si se considera - tal como se reporta en el informe - un contenido de 0,88% de P en el alimento administrado que según la Fig. 177 fue ~ 190 Ton/año, entonces el alimento contenía ~ 1,67 ton P y por ende este sería la carga máxima disponible. Nuestras propias estimaciones en base de los datos obtenidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura también confirman que la carga de P debía haber sido ~ 1-2 ton P al año durante los años noventa (véase 3.5.4).

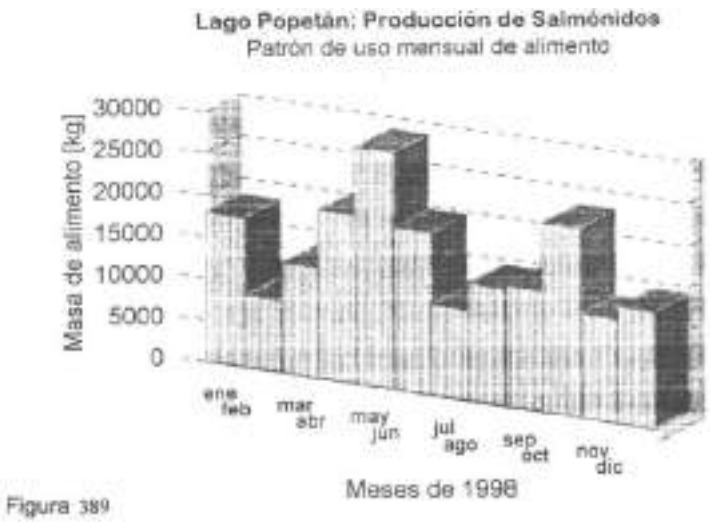


Fig. 177 Masa de alimento suministrado en el cultivo de salmonidos en el lago Popetán (1998)

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA COLUMNA DE AGUA

Metodología – Se efectuaron 3 muestreos anuales (verano, invierno, primavera), en cada uno de ellos se realizaron dos campañas espaciadas por un lapso de 5 días. Se seleccionaron 5 estaciones, en cada estación se obtuvieron muestras a dos profundidades debido al escaso fondo del cuerpo de agua (profundidad máxima: 15 m) (Fig. 178). En muestreos mensuales complemetarios se tomaron muestras a tres niveles de profundidad de la estación representativa del centro del lago (0, 5 y 10 m).

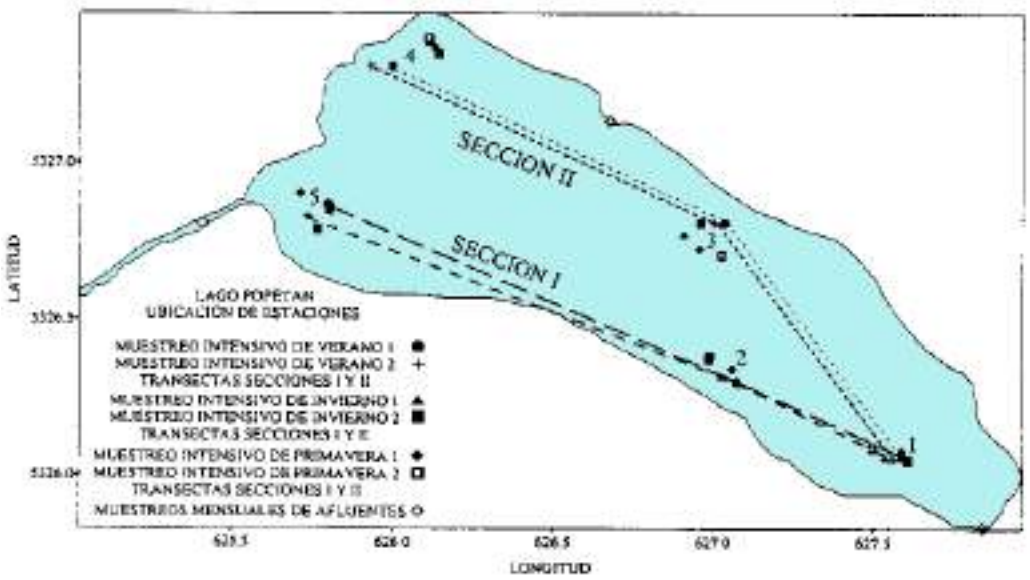


Fig. 178 Diseño del muestreo intensivo de la columna de lago Popetán

Resultados

En el informe FIP faltan las páginas sobre este tema (pag. 388 y 389), solo se encuentran figuras el P total en lago. Según estas el P total fluctuó entre 0,01 y 0,02 mg PT/L. Sin embargo, en la tabla 66 del informe se presentan la masa de P en el lago (Tabla 111), con la cual se puede calcular la concentración de P total a 0,013 ± 0,0023 mg P/L (Volumen lago: 13 x 10^6 m^3) (llama la atención la muy alta masa de nitrógeno).

Tabla 111 Contenido total de formas de P y N en el lago Popetán (1998)

Tabla 74. Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago Popetán.

MES	FOSFORO TOTAL /kg	FOSFATO kg	NITROGENO TOTAL /kg	NITRATO kg	NITRITO kg	AMONIO kg
Febrero	164	62,9	7981	2874	5,0	1021
Marzo	163	111	7396	2781	4,5	798
Abril	169	89	6627	2875	5,7	824
Mayo	160	97	7053	2943	8,3	643
Junio	233	91	4171	3024	6,0	755
Julio	194	111	6441	2531	1,4	626
Agosto	171	114	6772	2400	0,0	406
Septiembre	196	91	6344	2549	0,4	543
Octubre	169	47,8	7034	2489	4,7	599
Noviembre	168	46,5	6826	2601	3,9	626
Diciembre	125	42,7	8961	2853	1,5	572
Enero	121	52,7	7996	2983	9,9	402
PROMEDIO ANUAL	**170**	**79,8**	**6967**	**2725**	**4,3**	**651**

Evaluación

Dado el tamaño pequeño del lago Popetán, se estima el diseño del muestreo apto para determinar la masa de P en el lago Popetán. Los resultados obtenidos parecen confiables, aunque con relativamente altas variaciones que pueden ser producto de la alta tasa de renovación de agua.

BALANCE HIDRICO

Metodología – El balance se estableció por la variación del volumen a partir de los ingresos y egresos de agua com o **ΔV= ingresos - egresos**. Se cuantificaron por medición directa los caudales de afluentes y los aportes de lluvia y el caudal del efluente y la evaporación.

Resultados – Valor negativo indica que la cuenca entregó más agua que la recibida (Tabla 110). De acuerdo a esto deberían existir aportes subterráneos que evitarían desecamiento del lago. El calculo del tiempo de renovación del volumen del lago, estimado por la tasa de egreso en 1998 fue de $52{,}7 \cdot 10^6$ m^3/año, permite establecer un resultado de 0,246 años, que implica que capacidad de renovación anual del agua es 4,1 veces el volumen total del lago.

Tabla 112 Estimación del balance hídrico del lago Popetán 1998

Tabla 73. Estimación del balance hídrico del lago Popetán durante 1998

Ingreso directo por Lluvia /10^6 m^3	*Ingreso por Afluentes 10^6 m^3*	*Ingreso por Escurrimiento Difuso / 10^6 m^3*	*Egreso por Evaporación 10^6 m^3*	*Egreso por Efluente 10^6 m^3*	*ΔV 10^6 m^3*
1,554	10,715	8,551	0,172	52,583	-31,934

Se menciona que el balance hídrico podría tener un factor de incertidumbre de hasta 50%.

Evaluación

Por falla de fuente de poder no se pudo computar lluvia caída durante mayo, primera semana de junio y todo septiembre y varios meses no se controlo flujo de afluentes menores podría estimarse un error entre 35 y 40% del valor

estimado (hasta máximo 50%) para el total de agua ingresada. Esta incertidumbre es bastante alta, pero difícil de corregir.

DETERMINACION DEL BALANCE DE FOSFORO Y CARGA CRÍTICA

Metodología – La determinación del balance de fósforo fue realizado de la misma manera que en el lago Chapo, es decir por la suma de los flujos (cargas) ingresos y egresos, cada uno calculado por el producto entre le correspondiente flujo de agua y su concentración. La carga crítica fue calculada con el modelo de Dillon & Rigler. Detalles véase en 3.4.2..

Resultados

Balance de P - Las hojas 398 y 399 faltan en el informe FIP. Sin embargo, según el resumen presentado el lago Popetán recibió en el año un total de 160 kg de fósforo aportados por sus afluentes, 21 kg aportados por precipitaciones, 0,9 kg por arrastres difusos desde laderas y **7976** kg suministrados desde un centro de cultivo. En el año salieron por su efluente 1748 kg de fósforo y por incorporación a los sedimentos 6229 kg adicionales.

Carga crítica - La carga critica de P obtenida con modelo aplicado es 494 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ o 0,790 ton P. La carga actual calculada fue 7,99 ton P, es decir que existía una sobrecarga de 7,2 ton anuales. Esta carga debería producir una concentración de P total de 0,091 mg/L (= 1,185 ton P) de acuerdo a modelo de Dillon y Rigler. Sin embargo, en el lago se mide solamente ~ 0,013 mg/L.

Evaluación

Como menciona el informe FIP, hay una relevante incertidumbre en el balance hídrico lo que también se refleja en el balance de P.

Por otro lado existe una gran diferencia entre la masa de P que se debería esperar en el lago Popetán según la carga y la masa de P medidas en el lago. En buena parte esta diferencia es causada por el incierto balance hídrico y la sobreestimación de la carga del cultivo.

CONCLUSION FINAL

El balance de P del lago Popetán muestra un alto grado de incerteza debido a limitaciones en el balance hídrico y la supuesta sobreestimación de la carga de P por el cultivo por el factor ~ 4-5x veces . El informe carece en partes importantes información verificable para seguir las estimaciones y cálculos realizados (p.e. carga difusa, carga cultivos) (Tabla 113).

Tabla 113 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Popetán

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico		30-50%	
Cuantificación cargas afluentes			
Cuantificación carga precipitación		subestimada ?	
Cuantificación carga centros acuícolas			Sobreestimación por factor 5x veces
Cuantificación otras cargas		Correcta, pero insignificante	
Contenido P lago		correcta	
Descarga efluentes		correcta	
Modelos utilizados		Apropiados	
Balance de P			errónea por carga errónea de centro

3.5.3 Producción de peces

En el lago Popetan existe una concesión otorgada, que corresponde al centro numero 100671 (Tabla 114). La producción bruta de este centro alcanza los 202,2 (ton/año). Durante el periodo 1995 -2012 los mayores volúmenes de productividad se registran entre los años 2007 y 2008 con valores hasta 380 Ton/año (2008). En años anteriores - 1995 al 2006, la producción de este

centro fue continua, con montos que oscilan entre las 50 y 250 (ton/año). Entre los años 2010 y 2011, no se registran datos de producción (Fig. 179).

Tabla 114 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Popetán durante 1995-2004 y 2005-2011 (ton/año).
No se encontró registro de las actividades productivas desde 2010.

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2009
Sin nombre	100671	128,6	179,2

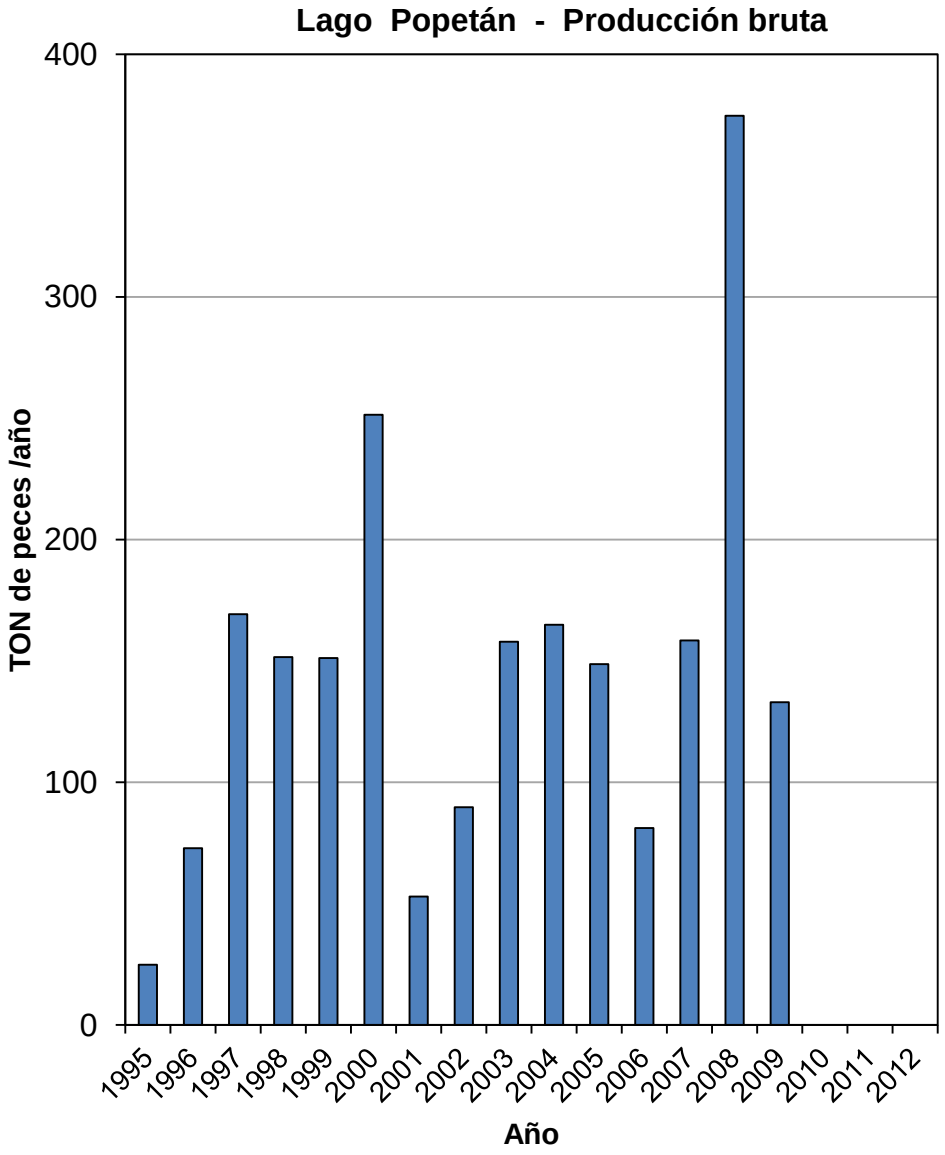


Fig. 179 Promedio de la producción acuícola de salmón [ton/año] en el lago Popetan durante el período 1995 – 2012.

3.5.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción de los peces (Fig. 180.

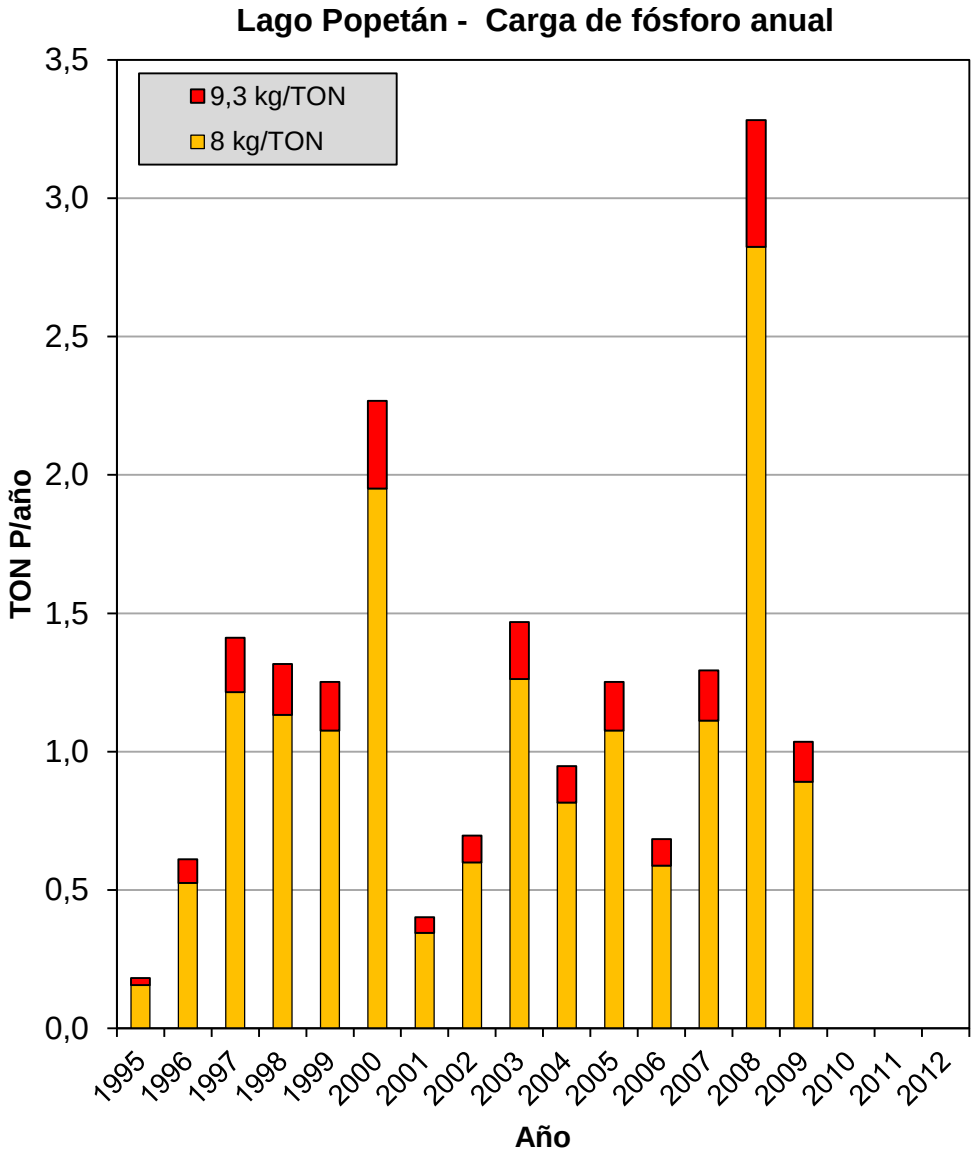


Fig. 180 Los aportes de P calculado para el lago Popetan

El centro de producción existente en el lago Popetan (cod. 100671) aportó con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre un mínimo 0,16

ton/año (1995), y un máximo 3,3 ton/año (2008) (Tabla 115). En general, se observa un primer período con valores en aumento con app. 0,8 ton/año (1995 – 2000), seguido por un segundo período que evidenció un fuerte aumento en el aporte de P asociado a la producción en período 2001 – 2008. En los años 2010-2012 no existen datos de producción.

Tabla 115 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Popetán durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	100671	
Año	MIN	MAX
1995	0,16	0,18
1996	0,53	0,61
1997	1,21	1,41
1998	1,13	1,32
1999	1,08	1,25
2000	1,95	2,27
2001	0,35	0,40
2002	0,60	0,70
2003	1,26	1,47
2004	0,82	0,95
2005	1,08	1,25
2006	0,59	0,68
2007	1,11	1,29
2008	2,82	3,28
2009	0,89	1,04
2010	0,00	0,00
2011	0,00	0,00
2012	0,00	0,00
TOTAL	**15,57**	**18,10**

3.5.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.5.6 Evaluación del estado trófico del lago Popetán

Para el lago Popetan existen datos tróficos solamente para el año 1996/97 presentados en el informe FIP-IT/96-54. Desafortunadamente en este informe no se presentaron tablas con los valores medidos (solamente figuras) ni los valores promedios (excepción transparencia), por lo cual se puede evaluar el estado trófico de este lago solamente en base de los rangos de los parámetros tróficos (Tabla 116).

Los valores de fósforo total y clorofila a indicarón mesotrofía, mientras la transparencia fue muy baja debido al caracter distrófico del lago (alta concentración de materia orgánica disuelta). Ello no se debe interpretar como indicación de ambientes eutróficos.

No esta claro como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

Tabla 116 Evaluación del estado trófico histórico del lago Popetán (promedio ± desviación estándar).
Fuente: 1: Informe FIP IT 97-40

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=12)	3,8 ± 0,5	0,010 - 0,022	0,5 - 6,5	1

3.5.7 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respecto a la interrogante de si el lago Popetán es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA –El lago Popetán es un lago pequeño (1,6 km^2) con una profundidad media (8,2 m) y un volumen (0,013 km^3) bajo. El tiempo de renovación teórica de sus agua es muy corto (0,2 años). No existen datos sobre su calidad ambiental reciente (columna de agua, sedimento) salvo los datos reportados en el estudio FIP IT 97-40. Acceso a las INFAS no obtuvo este consultor.

La revisión y evaluación de la información relevante recopilada en este estudio revela en resumen lo siguiente:

- Los valores de fósforo total y clorofila a indicarón mesotrofía en 1998, mientras la transparencia fue muy baja debido al caracter distrófico del lago (alta concentración de materia orgánica disuelta). Ello no se debe interpretar como indicación de ambientes eutróficos.
- La actividad acuícola no se registra desde 2010, antes se produjieron ~ 140 - 350 ton peces por año (producción bruta), que aportaron ~ 1-3,5 toneladas de P por año al lago.

Ya en 1999 el consultor del mencionado estudio (Universidad de Valparaiso) enfatizó que la carga de fósforo por la actividad acuícola **superó por creces** la carga crítica estimada para el lago Popetán.

El estado trófico del lago Popetán ya estaba mostrando una transición de un estado de oligotrofía hacia un estado mesotrófico. Consecuentemente este

estudio ya concluyó en 1999, que se debe "*disminuir su actual volumen de piscicultura si se desea mantener la condición actual de trofía del lago*".
Sin embargo, contrario a la recomendación de este consultor, el volumen de producción acuícola se mantuvo y aún peor se amplió hasta llegar en los años 2007 y 2008 incluso a valores hasta 350 ton/año (2008), que es ~ 2 veces mayor a la producción registrada en 1998.

Aún considerando que para este lago no existen datos recientes acerca de su calidad ambiental, este consultor concluye y recomienda lo siguiente:

Respecto a la pregunta si el lago Popetán es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **no** es apto. Se recomienda no retomar la producción de peces depués de abandonar la actividad acuícola en 2009 hasta la fecha.
Se recomienda enfáticamente mantener el lago Popetán sin actividad acuícola.

3.6 LAGO SAN ANTONIO

3.6.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago San Antonio (42º57´30´´S, 73º44W) se ubica en el sudeste de la isla grande de Chiloe, a unos 25 km al norte de Quellon. Tiene una superficie de 3 km^2 y una cuenca hidrográfica 8,2 veces mayor (Tabla 117). Su profundidad máxima y media es solamente 10,9 y 5,4 m. Su tiempo de renovación es ~ 0,4 años (informe FIP-IT/97-40, 1999).

Tabla 117 Características básicas del lago San Antonio

Superficie (km^2)	3,03
Cuenca (km^2)	24,8
Relación cuenca/lago	8,2
Volumen (km^3)	0,0175
Profundidad máxima (m)	10,9
Profundidad media (m)	5,4
Tiempo de renovación (años)	0,4

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 118 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago San Antonio. Este lago fue solamente estudiado por la Universidad de Valparaíso que realizó un balance de nutrientes durante 1998/99 (Proyecto FIP-IT/97-40).

Tabla 118 Resumen de los datos disponibles para el lago San Antonio

verde: información disponible; rojo: sin información disponible
1: Universidad de Valparaiso (1999) informe FIP-IT/97-40; 2: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1998			1
Balance hídrico	1998-99		Incluyó subcuencas	1
Calidad química agua lago	1998		6 estaciones muestreo mensual, 3 profundidades	1
Calidad química agua afluentes	1998-99		3 afluentes, muestreo estacional	1
Calidad química agua efluente	1998		1 efluente muestreo estacional	1
Cuantificación carga centros	1998		4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles	1
Cuantificación carga otras fuentes	1998			1
Balance de nutrientes, carga actual	1998			1
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1998		catastro bosque	1
Biología				
Calidad sedimentos	1998		4 estaciones (1 estación bajo la influencia de centro y 3 estaciones controles)	1
Correntometría	1998		0 y 5 m muestreo estacional	1
Infas				
Producción peces				2
Régimen térmico	1998-99		0 – 10m	1

3.6.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

El estudio efectuado por el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso (Informe FIP IT 97-40) determinó la capacidad de carga y el balance de P y N para el lago San Antonio.

USO DEL SUELO (Capítulo 1.2)

Metodología – Las cartas de uso de suelo se basaron en mapas topográficos del IGM escala 1:50000 y en cartas del "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF-Conama-Birf, 1997). La descripción de los tipos de bosques presentes se realizó por la fisionomía de la vegetación, basado en datos aportados por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (CONAF-Conama-Birf, 1997).

Resultados – El bosque nativo denso y semidenso alcanza el 63% de la superficie de la cuenca, seguido por renoval semidenso (12%) y denso (9%) y matorral (Tabla 119).

Tabla 119 Tipos de vegetación en cuenca lago San Antonio

Tipos de Vegetación	Superficie km^2	% superficie cuenca
Bosque nativo adulto denso	13,3041	52,9
Bosque nativo adulto semidenso	2,625	10,4
Renoval denso	2,40	9,5
Renoval semidenso	3,096	12,3
Renoval abierto	0,575	2,3
Bosque nativo achaparrado denso	0,33	1,3
Matorral abierto	0,95	3,8
Matorral-Pradera regular abierto	1,8777	7,4
Total	**25,1578**	

Evaluación

No hay observaciones.

ENTRADAS DE NUTRIENTES AL LAGO (Capítulo 1.3 -1.6)

Metodología

Carga por afluentes - La estimación del ingreso de nutrientes por afluentes se realizó en un periodo anual que abarcó desde febrero de 1998 a enero de 1999, en 3 afluentes. Caudal medido mensualmente en arroyo que desemboca

al oeste del lago (afluente 1), y en febrero, junio, noviembre en los restantes cursos de agua.

Carga por escurrimiento superficial - El ingreso por escurrimiento superficial difuso se efectuó mediante la selección de dos parcelas (bosque y pradera), que corresponden a subcuencas 1 y 5.

Carga por precipitación - El registro de ingreso de aguas lluvias se efectuó por medición directa de la variación del espejo de agua del lago. Dichas mediciones se complementaron a partir del mes de octubre con un pluviógrafo analógico, un barógrafo, un registrador de humedad relativa y temperatura. Paralelo a esto se recurrió a registros de pluviosidad de la Dirección Meteorológica de Chile en el aeródromo de Quellón.

Carga aguas residuales - Se estimó la carga de aguas residuales en base de la cantidad de habitantes en la cuenca (25 personas).

Carga por centros de cultivos - Para estimar el ingreso de nutrientes por centros de cultivo, se realizó el análisis de los pellets suministrados a los salmones. Se instalaron trampas de sedimentación en trenes de balsas (45-82 hrs.) y trampas de control (46-88 hrs.) de deposición natural en tres sitios distintos cercano a la zona de ingreso de afluente principal (Oeste del lago), área central del lago, próximo al sector de las balsas y sector ubicado en el tercio del lago que lleva a su desagüe natural (sector Este).

Resultados

Carga afluentes - De los tres afluentes, el afluente 1 aportó entre 75 y 80% del caudal total de los afluentes. La carga total de P varía entre 1,6 y 188 kg por mes, con un total de 343 kg P al año (Tabla 120).

Carga difusa - Se estimó un aporte de P proveniente de escurrimiento difuso de 2,6 kg.

Carga lluvia - La carga anual de P total por lluvias al lago Popetán se estimó igual a 40 kg.

Carga aguas residuales - El factor aguas residuales representó como máximo 18 kg de P anuales.

Carga centro de cultivo - El alimento utilizado contenía 0,87 -1,22 % P. El sedimento captado bajo las balsas fue entre 0,2 y 52,72 g/m^2 día, con un contenido de 3,36 - 5,32% P (promedio). La carga total de P fue 501 kg al año.

Tabla 120 Carga fluvial de P y N ingresada al lago San Antonio

Tabla 84. Carga fluvial mensual de fósforo y nitrógeno ingresada al lago San Antonio

MESES	FOSFORO TOTAL kg	FOSFATO kg	NITROGENO TOTAL kg	NITRATO kg	NITRITO kg	AMONIO kg
Feb-98	1.73	0.73	64.3	1.01	0.64	2.55
Mar-98	1.87	1.81	35.5	2.25	0.01	1.94
Abr-98	7.95	5.09	104	8.12	0.34	6.23
May-98	23.3	18.0	856	39.0	2.22	21.7
Jun-98	189	18.0	1464	118	2.51	7.03
Jul-98	22.8	13.6	899	8.30	0.00	15.7
Ago-98	26.9	11.6	692	14.1	0.00	7.52
Sep-98	33.9	19.2	19.2	66.8	7.36	7.62
Oct-98	19.7	14.3	609	16.8	2.35	27.6
Nov-98	1.64	1.69	48.7	3.72	0.04	2.67
Dic-98	10.0	1.39	134	4.64	0.00	6.50
Ene-99	4.28	4.04	160	9.67	0.00	4.04
TOTAL ANUAL	343	109	5085	292	15	111

Evaluación

La estimación anual de la carga de P al lago no se puede verificar debido a que en el informe no se entregan explícitamente los valores crudos y/o los cálculos realizados. Por ejemplo, en el caso del aporte por los afluentes se entregan los caudales, pero no las concentraciones de P medidas. Lo mismo es válido para la estimación de la carga de las lluvias. En el caso de la carga por cultivos no se presentan los datos crudos ni la forma como se calculan los aportes, ni la cantidad de alimento administrado ni la producción de peces. Llama la atención los altos valores de P total (naranjo) en relación con el N (rojo) como muestra la tabla 88 en el informe FIP (Tabla 121).

Tabla 121 Resumen Sedimento captado por trampas en el lago San Antonio

Tabla 88. Sedimento captado por trampas de sedimentación en el lago San Antonio y contenido promedio de nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica de estos sedimentos. (Los valores se indican cuando es posible como promedio y error estándar)

UBICACION	EPOCA del AÑO	TIEMPO DE CAPTURA horas	SEDIMENTO CAPTADO g/m²·d	NITROGENO TOTAL %	FOSFORO TOTAL %	MATERIA ORGANICA %
Control afluente	Verano	46,0	0,051	-	-	-
	Invierno	71,8	3,94	-	-	-
	Primavera	86,7	0,988	-	-	-
Control centro lago	Verano	45,9	0,065	-	-	-
	Invierno	71,7	1,5	-	-	-
	Primavera	86,7	0,033	-	-	-
Control efluente	Verano	46,2	0,58	-	-	-
	Invierno	71,5	0,29	-	-	-
	Primavera	86,7	0,264	-	-	-
Tren de balsas	Verano	45,2	0,216 ± 0,057	-	-	-
	Invierno	71,5	22,15 ± 9,58	3,38 ± 0,40	5,32 ± 0,51	47,3
	Primavera	82,4	52,72 ± 48,98	2,89	3,36	72,5

Respecto a la carga por los centros de los cultivos es posible que sea mas o menos correcta, si consideramos la masa de alimento suministrado que se suma a ~58 ton anuales como muestra la figura 475 del informe FIP (Fig. 181). Esta masa contiene ~ 560 kg P, de la cual ~ 300 - 350 kg P podrían ser liberados al lago.

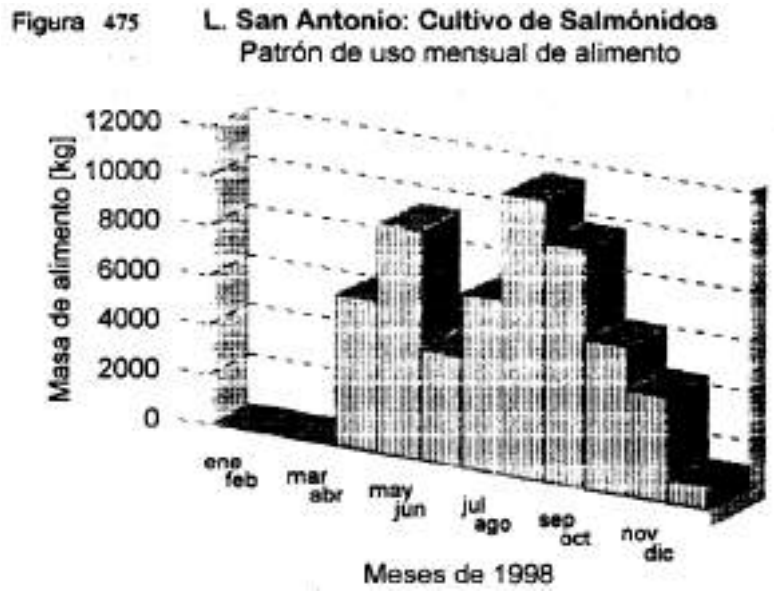


Fig. 181 Masa de alimento suministrado en el cultivo de salmonidos en el lago San Antonio (1998)

DESCARGA DE FÓSFORO A TRAVES DEL EFLUENTE

Metodología – Se estimó mensualmente la descarga de P por el efluente midiendo el caudal y la concentración de P en el efluente.

Resultados – La mayor evacuación de carga de P se produjo en el invierno, en concordancia con los mayores caudales de los afluentes. Anualmente el efluente descargó 650 kg P en promedio (Tabla 122).

Evaluación

No se presentan valores crudos (caudal, P) para verificar los cálculos hechos, solamente se presentan los resultados finales sobre la salida mensual de P en una tabla (85 en el informe FIP).

Tabla 122 Descarga fluvial mensual de P y N exportada por efluente

Mes	P total Kg	N total kg
Febrero	5,74	156
Marzo	69,50	1088
Abril	48,25	631
Mayo	76,62	1872
Junio	37,54	1158
Julio	68,59	1581
Agosto	60,74	1727
Septiembre	76,88	1219
Octubre	117,90	1857
Noviembre	6,11	23
Diciembre	50,20	628
Enero	31,86	319
Promedio anual	650	12260

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA COLUMNA DE AGUA

Metodología – Se trabajó en 6 estaciones en transectos horizontales (Fig. 182). En las secciones verticales la resolución es de 50 m en distancia y 1 m en profundidad (Pág. 508). En cada estación se obtuvieron muestras a dos profundidades (0 y 6 m) debido al escaso fondo del cuerpo de agua. En muestreos mensuales complemetarios se tomaron muestras a mismos niveles de profundidad**.**

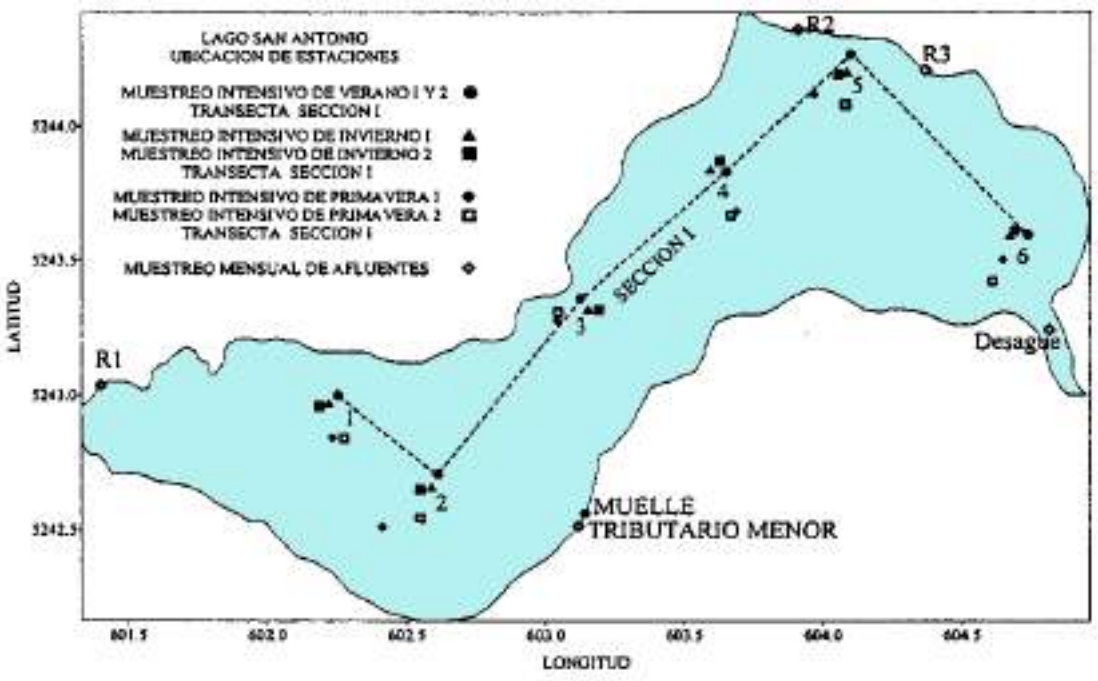


Fig. 182 Diseño del muestreo intensivo de la columna de lago San Antonio

Resultados – En verano las concentraciones superficiales de fósforo fueron mayores a 10 µg/L en el sector Oeste y parte del costado Norte, distribución vertical homogénea con valores levemente superiores a 8 µg/L. El fósforo total presentó valores mas bien bajos en la mayor parte de la superficie del lago, solo en los extremos N y O los valores superaron este limite alcanzando los 11,4 µg/L. En relación a la distribución vertical los valores de P total se mantuvieron entre 6 a 10 µg/L a excepción de 2 observaciones del fondo que superaron los 11 µg/L. La distribución temporal mostró gran uniformidad las concentraciones entre 8 y 10 µg/L. A fines de primavera se produce un aumento alcanzando valores de hasta 40 µg/L en zonas profundas y más de 20 µg/l en la mayor parte de la columna de agua. La masa total de P varía entre 117 y 175 kg P (Tabla 123), lo que corresponde a una concentración promedia de 0,0067 - 0,0108 mg P/L.

Tabla 123 Contenido total de formas de P y N en lago

Mes	P total kg	N total kg
Febrero	137	3561
Marzo	117	3470
Abril	189	1933
Mayo	127	3896
Junio	139	2732
Julio	103	3650
Agosto	126	6243
Septiembre	141	3430
Octubre	125	3568
Noviembre	143	3420
Diciembre	175	4760
Enero	131	3371
Promedio anual	**138**	**3669**

Evaluación

Dado el pequeño tamaño del lago San Antonio, se estima que el diseño del muestreo es apto para determinar la masa de P. Los resultados (P) obtenidos parecen confiables.

BALANCE HIDRICO

Metodología–El balance se estableció por medio de la variación del volumen a partir de los ingresos y egresos de agua como **ΔV = ingresos - egresos**. Se cuantificaron por medición directa los caudales de afluentes y los aportes de lluvia y el caudal del efluente y la evaporación.

Se contó con información de ingresos de afluentes y escurrimiento superficial, y con egreso por el efluente, faltó información sobre precipitación para estimar su aporte. No se pudo utilizar registros previos debido a que el año de estudio 1998 fue uno de los más secos con un déficit del 40%. Se tomo como referencia el valor calculado para lago Popetan con un 7.5% de aporte hídrico.

Medición directa de ΔV a partir de medición semidiaria del nivel del lago por medio de una vara adosada a un pilote de muelle obteniendo una estimación del ingreso por vía pluvial, con esto se obtiene la variación del lago

A la falta de información de precipitaciones se suma el desconocimiento del flujo anual de vapor de agua, por falta de información de temperaturas y ausencia de información de viento.

Resultados – El cálculo del tiempo de renovación estimado a partir del egreso de aguas de 1998 que fue de $36662 \cdot 10^6$ m^3/año, y permite establecer un resultado de 0,447 años, que implica que la capacidad de renovación anual es de 2,2 veces el volumen total del lago (Tabla 124).

Tabla 124 Estimación del balance hídrico durante 1998 para el lago San Antonio

Tabla 91. Estimación del balance hídrico del lago San Antonio durante 1998.
(El ingreso por lluvia ha sido estimado como 40% de un año normal)

Ingreso directo por Lluvia /10^6 m^3	*Ingreso por Afluentes 10^6 m^3*	*Ingreso por Escurrimiento Difuso / 10^6 m^3*	*Egreso por Evaporación 10^6 m^3*	*Egreso por Efluente 10^6 m^3*	*ΔV 10^6 m^3*
2,559	14,946	0,0198	0,110	36,662	-19,247

Evaluación

El informe no discute el problema central del balance hídrico, que fue similar al del lago Popetán. Es decir el balance hídrico arojó un déficit (-19,24 x 10^6 m^3) en el orden del propio volumen del lago (17,5 x 10^6 m^3) lo que significa que el lago perdió mas que dos veces su volumen mientras se midió el ingreso de agua correspondiente a un volumen del lago (Tabla 124).

DETERMINACION DEL BALANCE DE FOSFORO Y CARGA CRÍTICA

Metodología – La determinación del balance de fósforo fue realizado de la misma manera que en el lago Chapo, es decir por la suma de los flujos (cargas) ingresos y egresos, cada uno calculado por el producto entre el correspondiente flujo de agua y su concentración. La carga crítica fue calculada con el modelo de Dillon & Rigler. Detalles véase en 3.4.2..

Resultados

Balance de P – Este lago posee un contenido másico de fósforo que asciende a 138 kg y recibió en el año un total de 343 kg de fósforo aportados por sus afluentes, 40 kg aportados por precipitaciones, 2,6 kg por arrastres difusos desde laderas y 501 kg suministrados desde un centro de cultivo. En el año salieron por su efluente 650 kg de fósforo y por incorporación a los sedimentos 236 kg adicionales (Tabla 125). El balance arroja un flujo neto hacia sedimentos, por lo que estos actúan como sumideros de fósforo, durante 1998 aportaron con una descarga de 236 kg desde el lago. Los bajos caudales de afluentes determinan que la carga de fósforo proviene principalmente de centros de cultivo, el tiempo de residencia del fósforo es de 58 días, que implica que el contenido de este se renueva 6 veces por año.

Tabla 125 Balance de P del lago San Antonio durante 1998

Masa total P en lago kg	Ingreso por afluentes kg	Ingreso por precipitaciones	Egreso por escurri-miento difuso	Ingreso por centros de cultivo kg	Egreso por efluente	Intercambio con sedi-mentos kg
138	343	40	2,6	501	650	-236

Carga crítica – El coeficiente de retención por sedimentación calculado por fracción de volumen de agua renovado es de 0.471. La carga total de P por unidad de área es de 293 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$. Estos valores dan una concentración total de P en lago de 12,8 $mg \cdot m^{-3}$, según modelo de Dillon y Rigler. La masa total de P estimada a partir de esta concentración es de 209 kg. Sin embargo se midió solamente 7,9 $mg \cdot m^{-3}$ en el lago. La tasa de renovación de P calculada a partir de balances de masas da una renovación anual de 886 kg.

Carga critica de P con modelo aplicado da 202 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$, puesto que la carga medida (293 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$), es superior al 45% de la carga critica, la capacidad de carga respecto del P estaría sobrepasada.

Evaluación

El balance de P del lago San Antonio muestra un cierto grado de incerteza debido a limitaciones en el balance hídrico. Además el informe carece en partes importantes de información verificable para seguir las estimaciones y

cálculos realizados, especialmente respecto a la carga de los cultivos. Sin embargo, estos parecen mas o menos en el rango esperado de acuerdo al alimento suministrado en los centros de cultivo.

CONCLUSION FINAL

El balance de P del lago Popetán muestra un cierto grado de incerteza debido a limitaciones en el balance hídrico. El informe carece en partes importantes de información verificable para seguir las estimaciones y cálculos realizados (Tabla 126).

Tabla 126 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago San Antonio

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**Dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico		No se discute balance negativo	
Cuantificación cargas afluentes			
Cuantificación carga precipitación			
Cuantificación carga centros acuícolas		En el rango esperado, eventualmente sobreestimado (30%)	
Cuantificación otras cargas		correcta	
Contenido P lago		correcta	
Descarga efluentes		correcta	
Modelos utilizados		Apropiados	
Balance de P		Correcto si el balance hídrico es correcto	

3.6.3 Producción de peces

El Lago San Antonio cuenta con la existencia de una concesión otorgada con el N° 101746. Este centro presenta una producción activa con un promedio de 10,9 (ton/año) en el periodo 1995 -2012 y 31 ton/año durante 1995-2004 (Tabla 127). En el periodo antes mencionado, refleja un carácter irregular en los datos de producción existente. Por una parte se evidencia que los años de mayor

producción corresponde al periodo 1999 a 2001, alternando con periodos donde no se reportan datos (1995 -1988 y 2009 -2012). Producciones inferiores a 1 (ton/año) se registran en los años 2003, 2007 y 2008 (Fig. 183).

Tabla 127 Ubicación y promedio de la producción de salmónidos en el lago San Antonio durante 1995-2004 y 2005-2008 (ton/año).
No se encontró registro de las actividades productivas desde 2009.

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2008
Sin nombre	101746	31,88	0,1

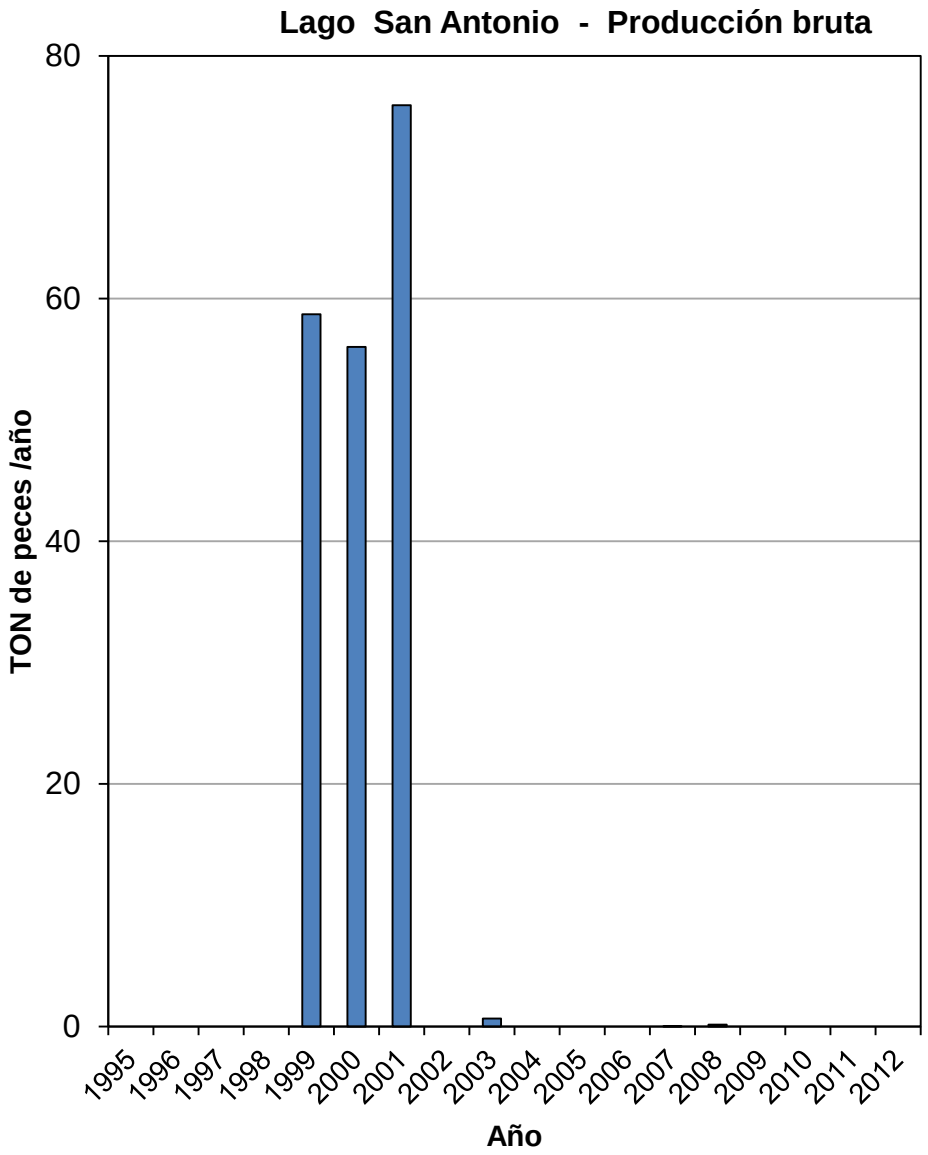


Fig. 183 Promedio de la producción bruta acuícola de salmón [ton/año] en el lago San Antonio durante el período 1995 – 2012.

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.6.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces.

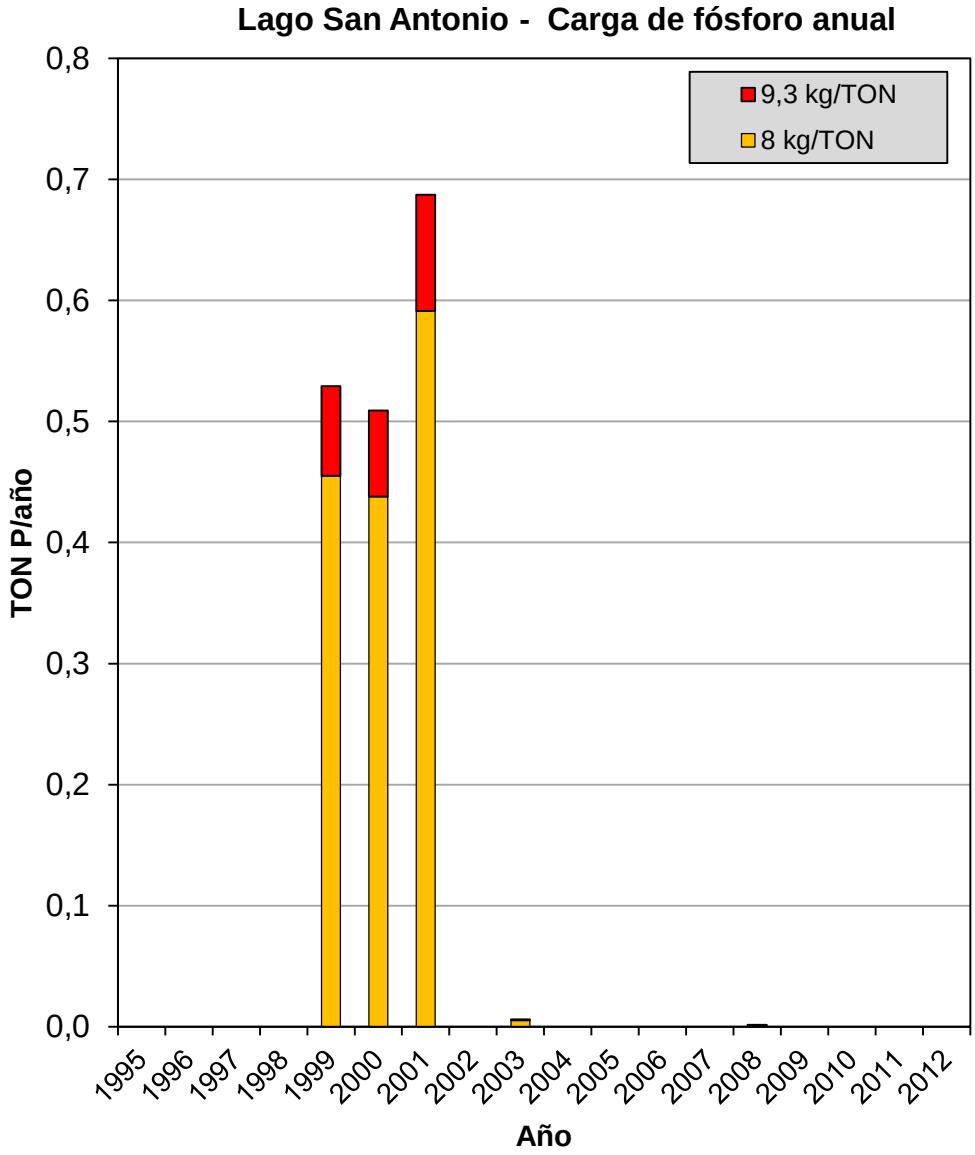


Fig. 184 Los aportes de P calculados para dos escenarios en el lago San Antonio durante 1995-2012.

El centro de producción existente en el lago San Antonio (cod. 101746), aportó con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre un mínimo 0,05 ton/año (2008), y un máximo 0,7 ton/año (2001). En general, se evidencia que la mayor carga de P se observa entre los años 1999 – 2001. En los años 2003 y 2007 el aporte de P fue marginal y en el resto del período no existen datos de producción (Fig. 184, Tabla 128).

Tabla 128 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago San Antonio durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	**101746**	
Año	MIN	MAX
1995	0,00	0,00
1996	0,00	0,00
1997	0,00	0,00
1998	0,00	0,00
1999	0,46	0,53
2000	0,44	0,51
2001	0,59	0,69
2002	0,00	0,00
2003	0,01	0,01
2004	0,00	0,00
2005	0,00	0,00
2006	0,00	0,00
2007	0,00	0,00
2008	0,00	0,00
2009	0,00	0,00
2010	0,00	0,00
2011	0,00	0,00
2012	0,00	0,00
TOTAL	1,49	1,73

3.6.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.6.6 Evaluación del estado trófico del lago San Antonio

Para el lago San Antonio solamente existen datos tróficos para el año 1996/97 presentados en el informe FIP-IT/96-54. Desafortunadamente no se presentan los valores crudos ni valores promedios (excepción transparencia) en este informe, por lo cual se puede evaluar el estado trófico de este lago solamente en base de los rangos de los parámetros tróficos (Tabla 129).

De acuerdo a estos rangos el fósforo total y clorofila a estuvíeron en el borde de la oligotrofía hacia mesotrofía (habían algunos valores muy altos cerca del efluente), mientras que la transparencia fue muy baja debido al caracter distrófico del lago (alta concentración de materia orgánica disuelta). Ello no se debe interpretar como indicación de ambientes eutróficos.

No esta claro como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

Tabla 129 Evaluación del estado trófico histórico del lago San Antonio
(promedio ± desviación estándar).
N = fechas de muestreo
Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=6)	3,1 ± 0,3	0,008 - 0,010 (max 0,100)	0,5 – 4,3	1

3.6.7 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación. Aúnque actualmente en este lago no se registran actividades acuícolas se entregara una recomendación respecto a la pregunta si es apto para desarrollar actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA – No existen datos sobre su calidad ambiental (columna de agua, sedimento) salvo los del estudio FIP IT 97-40. Acceso a las INFAS no obtuvo este consultor.

El lago San Antonio es distrófico con una alta concentración de ácidos húmicos, que disminuyen la transparencia del agua. Es un lago pequeño (3,03 km2) con una profundidad media (5,4 m) y un volumen (0,017 km3) relativamente reducido. El tiempo de renovación teórica de sus agua es corto (0,4 años). La revisión y evaluación de la información relevante recopilada en este estudio revela en resumen lo siguiente:

- El nivel trófico en 1998 ya estaba mostrando una transición de un estado de oligotrofía hacia un estado mesotrófico con algunos valores de fósforo total muy altos (0,100 mgP/L) que son característicos para lagos eutróficos. A causa de esto el consultor recomendó en 1999, que “no se debe ampliar el actual volumen de piscicultura si se desea mantener *la condición actual de trofía del lago*”.
- La producción acuícola solamente se realizó durante 1999-2001, con una producción bruta de 58-75 ton/año. El aporte de P fue ~ 0,45-0,7 tonP/año.
- Ya en 1999 en el informe FIP IT 97-40 se enfatizó que la carga de fósforo por la actividad acuícola superó la carga crítica estimada para el lago San Antonio.

Se concluye lo siguiente:

Respecto a la pregunta si el lago San Antonio es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **no** es apto. Se recomienda **NO** retomar la producción de peces.

3.7 LAGO NATRI

3.7.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Natri tiene una superficie de solamente 7,8 km^2 y una cuenca hidrográfica seis veces mayor (Tabla 130). Su profundidad máxima y media es 58 m y 35 m. Su tiempo de renovación es ~ 3,5 años (informe FIP-IT/96-54).

Tabla 130 Características básicas del lago Natri.

Superficie (km^2)	7,8
Cuenca (km^2)	46,5
Relación cuenca/lago	6
Volumen (km^3)	0,273
Profundidad máxima (m)	58
Profundidad media (m)	35
Tiempo de renovación (años)	3,5

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 131 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Natri. Este lago fue estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97que realizó un estudio de balance de nutrientes (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Los resultados de este estudio fueron publicados por Villalobos y col. (2003). En otro estudio de la fundación Chile se estudio además el impacto del fósforo proveniente del alimento utilizado en salmonicultura (Informe FIP 94-02; 1997).

Tabla 131 Resumen de los datos disponibles para el lago Natri.
verde: información disponible
1: UACH (1997) informe FIP-IT/96-54; 2: Villalobos et al. (2003); 3: Fundación Chile (1997) informe FIP-IT/94-02; 4: datos entregados por Subpesca

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	No		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1996-1997			1, 2
Balance hídrico	1996-1997			1,2
Calidad química agua lago	1996-1997		muestreo mensual, 0-58 m	1, 2
Calidad química agua afluentes	1996-1997		3 afluentes, muestreo mensual	1,2
Calidad química agua efluente	1996-1997		muestreo mensual	1,2
Cuantificación carga centros	1996-1997 1997		Mediciones bajo balsas Mediciones aporte P alimento	1, 2 3
Cuantificación carga otras fuentes				
Análisis uso de suelo	1996-1997		catastro bosque	1, 2
Balance de nutrientes	1996-1997			1, 2
Información adicionalmente disponible				
Biología	1996-1997		Fito-, Zooplancton, producción primaria, muestreo mensual	1,2
Calidad sedimentos	1996-1997 1997		2 estaciones (bajo balsa jaula y control), estacional Mediciones aporte P	1,2 3
Correntometría	1996-1997		muestreo estacional	1,2
Infas	2010-2012			4
Producción peces	1995-2012			4
Régimen térmico	1996-1997		0 – 58 m	1, 2

3.7.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Solamente Campos y colaboradores estudiaron en detalle el lago Natri realizando un balance de nutrientes durante un año (nov 96 – oct 97).

EL lago Natri es un lago pequeño (superficie: 7,8 km^2) con una profundidad máxima y media de 58 m y 35 m y un volumen de solamente 0,273 km^3. Los resultados más importantes son los siguientes:

INGRESO DE NUTRIENTES SEGÚN USO DEL SUELO (Capítulo 1)

DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS Y USO DEL SUELO

Metodología - El uso de suelo se determinó por fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías áreas a escala 1:20.000, interpretación de imágenes satelitales y levantamiento de terreno. Esta información finalmente fue cartografiada y digitalizada en Autocad e ingresada Idrisi (SIG). La información se corrigió en terreno para obtener cartografía final 1:50.000.

Resultados - Las principales subcuencas (representando 78,4 % de la cuenca completa) que drenan al lago Natri se presentan en la tabla 132.

Tabla 132 Uso de suelo en la cuenca del lago Natri (1996).

Tipos uso de suelo	**Superficie (km^2)**	**Peso en la cuenca(%)**
Bosque nativo mixto	26,7	57,4
Renoval nativo mixto	7,5	16,1
Praderas naturales y mejoradas	10,2	22
Áreas de desmontes o talas	1,8	3,9
Áreas de humedales	0,3	0,6
Total	**46,5**	**100**

Predominan bosque nativo (57,4%), praderas (22%) y bosque renoval (16,1 %) en la cuencas del lago Natri.

EVALUACIÓN

Sin observaciones. Se estima que la metodología aplicada fue apropiada. Consecuentemente los resultados obtenidos se estiman confiables.

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES Y DESCARGA POR EFLUENTE (Capitulo 2)

ENTRADAS DE NUTRIENTES Al LAGO NATRI POR AFLUENTES

Metodología - En los tres afluentes más importantes del lago Natri se determinaron mensualmente las concentraciones de N y P, los que en combinación con la medición de caudales permitió estimar las cargas de nutrientes ingresados al lago Natri a través de sus afluentes.
Paralelamente se calcularon en base a los usos de suelo predominantes en la cuenca con ayuda de índices de exportación de nutrientes la exportación de nutrientes por subcuencas. Sin embargo, para calcular finalmente la carga de los afluentes, se usaron solamente los valores medidos.

Resultados - El caudal y las concentraciones de fósforo total de los afluentes más importantes se presentan en la tabla 91, mientras en el Box-Wisher plot (Fig. 185) se graficó solamente el PT. En general los valores de PT en los tres rios son muy similares en el rango de ~ 30 µg P/L. Sin embargo, se observa algunos valores altos y un valor muy bajo, tanto en la evaluación empírica (celdas naranjas, Tabla 133) como en la figura 185 (solamente valores altos).

Tabla 133 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Natri (DS: desviación estándar).
Naranjo: valores (altos o bajos) que llaman la atención

	Río S/Nombre 8 (R-19)		**Río S/Nombre 1 (R-20)**		**Río S/Nombre 3 (R-21)**	
	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)
nov-96	0,09	8,1	0,36	20,4	0,32	17,7
dic-96	0,16	34,5	0,10	21,5	0,10	24,2
ene-97	0,08	40,4	0,06	24,5	0,05	50,6
feb-97	0,36	37	0,33	32,1	0,27	19,1
mar-97	0	41	0,04	62,3	0,01	34,2
abr-97	0,16	46,6	0,62	49,3	0,87	35,3
may-97	0,01	31,9	0,17	15,5	0,08	18,1
jun-97	0,01	25,1	0,39	27,6	0,3	12,8
jul-97	0,08	28,7	0,96	20	0,84	104,8
ago-97	0,08	39,6	0,82	22,5	0,6	22,3
sep-97	0,01	25,3	0,22	17,9	0,08	30,2
oct-97	0,02	26,8	0,24	39,8	0,32	40,4
Promedio ± DS	**0,09 ± 0,10**	**32,1 ± 10,3**	**0,36 ± 0,30**	**29,4 ± 14,2**	**0,32 ± 0,30**	**34,1 ± 24,8**

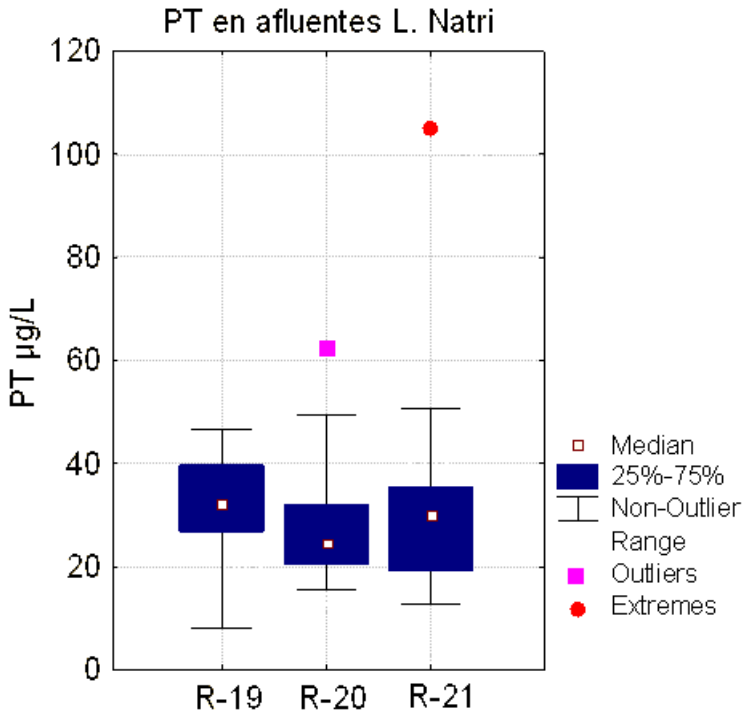


Fig. 185 PT en los afluentes muestreados del lago Natri (1996/97, elaboración propia).

La carga total de los afluentes fue **0,75** ton P por año.

Evaluación

*Por falta de otras mediciones no se puede validar los datos. A pesar de los dos valores altos, identificados como outlier y extremo, el resto de los datos parece "confiable" y coherente. Se recalculó la carga total de los tres afluentes arrojando una valor de **0,84** ton P/año que es levemente mayor que el valor reportado en el informe FIP (**0,75** ton P).*

Respecto al cálculo de la carga total de los afluentes se observa en el informe FIP que se usó solamente las cargas medidas en los tres afluentes que representan solamente 51 % (pág. 16), pero no se incluyó la carga de los demás ríos para los cuales se había calculado con el uso de índices de exportación su aporte de P (capítulo 7, Tabla Nº38).

*Otro problema mayor se presentsa si uno compara la estimación de la carga usando índices con las mediciones reales que fue en 2 casos muy inferior a la carga medida. Según este consultor la carga total recalculada fue **1,57**TON P/año (última columna Tabla 133) lo que es dos veces mayor a la carga reportada en el informe FIP 96-54 (**0,74** ton P/año, recalculo arojó 0,84 ton*

P/año, Tabla 134). Se estima que se debería corregir el balance de P por este valor.

Tabla 134 Carga de P para todas las subcuencas, calculada con índices y mediciones en terreno.

		Carga subcuenca		
N	**Subcuenca**	**cálculo índice kg P/año**	**Medida kg P/año**	**Recalculada kg P/año**
1	Est. Miraflores R20	320	304	304
2	s/nombre	110		110
3	Estero Mañio	99		99
4	s/nombre R21	35	438	438
5	s/nombre	44		44
6	s/nombre	49		49
7	s/nombre	21		21
8	Estero Cerco 2 R19	**61**	94	94
9	Estero Cerco 1 R191	189		
10	s/nombre	**40**		40
11	s/nombre	30		30
12	s/nombre	279		279
13	s/nombre	41		41
14	Estero R201	18		18
	Suma kg/año	**1336**	**836**	**1567**

DESCARGA DE FÓSFORO A TRAVES DEL EFLUENTE

Metodología - Se determinaron mensualmente las concentraciones de fósforo en el efluente del lago Natri, las que en combinación con la medición de caudales permitió estimar la descarga de nutrientes.

Resultados - El caudal y las concentraciones de fósforo total del efluente del lago Natri se presentan en la tabla 135. Hay variaciones notables en el caudal y en menor grado también en las concentraciones de PT (promedio: 29 µg P/L), con dos valores (naranjos) – uno muy bajo y uno muy alto (84,2 µg P/L) – que llaman la atención.

Tabla 135 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente (Río Natri) en comparación con el P total en la superficie del lago Natri. Naranjo: valores que llaman la atención.

	Caudal (m^3/s)	Efluente P total (µg/l)	Descarga ton P/mes	Superficie lago P total (µg/l)
nov-96	1,36	23,6	0,086	14,7
dic-96	2,80	20,2	0,151	18,5
ene-97	0,44	24,7	0,028	17,0
feb-97	3,11	15,1	0,114	22,5
mar-97	0,48	38,3	0,049	26,4
abr-97	3,63	8,3	0,078	24,5
may-97	2,88	84,2	0,650	35,1
jun-97	5,81	27,6	0,416	15,7
jul-97	6,09	20,8	0,339	20,4
ago-97	1,93	34,9	0,180	26,4
sep-97	1,77	24,2	0,111	23,2
oct-97	2,65	26,2	0,186	20,4
Promedio ± DS	**2,75 ± 1,8**	**29 ± 19,1**	**2,388**	**22 ± 5,7**

En total salieron a través del efluente 2,2 ton P/año (recalculada: 2,39 ton P/año).

Evaluación

En general se puede esperar que las concentraciones de nutrientes en el efluente sean concordantes con los valores superficiales en el columna del lago. Las concentraciones de P en el efluente fueron más o menos similares a las concentraciones en la superficie del lago (Tabla 135), salvo en dos ocasiones donde se reportaron un valor muy bajo y un valor muy alto. Estos dos valores son dudosos.

Respecto a la descarga, el valor re-calculado (2,39 ton P) esta cerca del valor reportado (2,2 ton P) en el informe FIP.

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIÓNES Y BALANCE HÍDRICO (Capítulo 3)

Metodología -Se instalaron en la zona de estudio (5 lagos en Chiloe) una red de 13 pluvimetros totalizadores y 3 pluviógrafos. Mediante el programa computacional SURFER se confecionaron cinco mapas que muestran la distribución espacial de las precipitaciones anuales para toda la zona de estudio para cuatro períodos. Finalmente se sumaron los valores de precipitación calculados para las vertientes y sobre la superficie del lago. La pérdida de agua por evaporación desde el lago, se consideró equivalente a la registrada por una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio. La descarga del lago se determinó mediante un limnigrafo instalado en la desembocadura del lago.

Para determinar el ingreso de nutrientes por precipitación directa se midieron los nutrientes en el agua precipitada.

Resultados - De los 137.186*10^6 m^3 de agua que llegaron a la cuenca a través de las precipitaciones, 83.547*10^6 m^3 salieron por la desembocadura del lago, la cantidad restante participó en los procesos de evaporación, modificaciones en el contenido de agua edáfica y en la reserva del lago (Tabla 136).

Tabla 136 Balance hídrico total de la cuenca del lago Natri (10^6 m3).

N	-	Ev	-	Q_{na}	$\pm \Delta W$	=	Evtr$\pm \Delta W_s$
137,186	-	4,328	-	83,547	+1,003	=	50,314

Donde: N = precipitación

Ev = evaporación desde el lago

Q_{na} = caudal efluente

$\pm \Delta W$= variación contenido de agua del lago

Evtr$\pm \Delta W_s$ = evapotranspiración y variación contenido agua edáfica

A través de las precipitaciones ingresaron **0,2** ton P al lago por año.

Evaluación

No hay observaciones. Las mediciones parecen coherentes y correctas.

INGRESO AL LAGO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (Capítulo 4)

Metodología - Habían tres centros de cultivos en el lago Natri, para los cuales – por falta de antecedentes acerca de la producción de los centros – se estimó la producción y el aporte de nutrientes por parte de los centros de cultivos. Para calcular el aporte de nutrientes, se realizó estacionalmente un análisis de alimentos suministrados a los peces en cultivo.
Adicionalmente se midieron en tubos de sedimentación bajo las balsas jaulas el ingreso de nutrientes a través de las partículas sedimentadas.
Resultados – Se estimó la producción de peces en el lago Natri entre 480 y 800 ton por año, para lo cual se estimó necesario entre 576 y 960 ton de alimento (factor de conversión: 1,2). El aporte de P se estimo en 5,97 ton P/año (véase mas abajo).

Evaluación

A pesar de la falta de antecedentes acerca de la producción de los centros, este consultor estima correcto el procedimiento para estimar el aporte de nutrientes al lago por parte de los centros. Sin embargo, los datos acerca de la producción de salmones, entregados a este consultor (véase 3.7.3) indica una producción de salmones de solamente 281 ton en 1996 y 283 ton en 1997 y no 480 – 800 Ton/año como señala el informe de la UACH. Por lo tanto, se debe corregir (disminuir) la carga calculada en el balance de nutrientes que debía haber sido alrededor de ***2,0-2,6*** *ton P/año y no* ***5,95*** *ton P/año (véase abajo y 3.7.4).*

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO (Capítulo 5)

Metodología - El contenido de fósforo se determinó mensualmente en la columna de agua en la estación central en tres estratos (0,1 m, 20-27 m, 40-55 m) y en una estación en las balsas jaulas (solamente muestra integrada: superficie-medio.fondo).
Resultados –El contenido de P en la columna de agua varia bastante durante el estudio con valores de PT siempre sobre 10 µg/L, es decir indicativos para un estado trófico meso- o eutrófico. En promedio se registraron valores típicos para un lago eutrófico (25,6 µg/L) en ambas estaciones. Se registraron también

dos valores “extremos” (62-97 µg/L) durante otoño e invierno como muestra la tabla 137 y el Box-Wiskers plot (Fig. 186). No se encontraron diferencias significativas al comparar los valores de PT entre las dos concentraciones (Fig. 186).

Tabla 137 P total en la columna del lago Natri en dos estaciones.
Naranjo: valores que llaman la atención (extremos)

Fecha	Estación centro P total (µg/l)			Estación Balsas P total (µg/l)
	0,1 m	20-27 m	40-55 m	integrada
nov-96	14,7	10,2	17	28,1
dic-96	18,5	13,2	16,4	18,9
ene-97	17,0	10,8	11,1	23,2
feb-97	22,5	18,5	14,0	40,0
mar-97	26,4	19,4	12,8	34,0
abr-97	24,5	21,7	22,3	22,1
may-97	35,1	22,1	97,6	20,1
jun-97	15,7	17,7	14,5	20,4
jul-97	20,4	62,9	24,7	16,2
ago-97	26,4	30,8	26,6	30,4
sep-97	23,2	22,5	25,3	22,3
oct-97	20,4	27,6	25,3	24,7
Promedio ± DS	**22,1 ± 5,7**	**23,1 ± 14,0**	**25,6 ± 23,3**	**25,0 ±6,6**

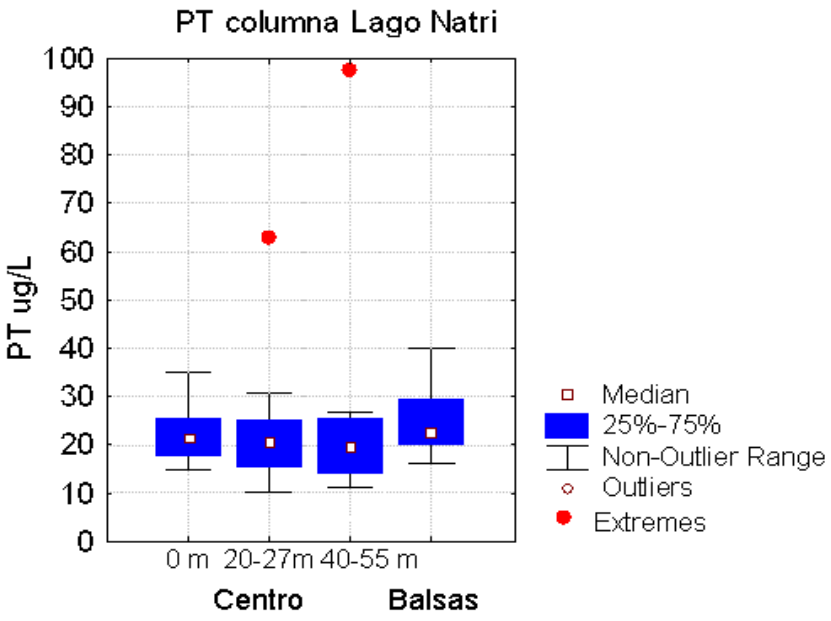


Fig. 186 Box-Wiskers plot dePT para las dos estaciones pelágicas en la columna del Lago Natri.

Multiplicando el volumen del lago con el contenido promedio de P en la columna de agua, el lago Natri presentó un promedio de **6,3** ton P en su totalidad.

Evaluación

La metodología (no el diseño !) del muestreo y análisis fue correcto. Sin embargo, para estimar bien el contenido de nutrientes en la columna de agua, hubiera sido mejor tomar muestras en mas de solamente tres profundidades y especialmente una muestra más cerca del fondo. No esta claro como se calculó el contenido total de P en el lago, ya que no se presenta curvas hipsográficos en el estudio. Parece que se calculó el contenido de P en el lago solamente en base de la concentración promedia no ponderada (por estrato) y el volumen total del lago. Tampoco esta claro porque y como se tomaron en el metalimnion y el hipolimnion muestras en intervalos y no en profundidades fijas. Respecto a la confiablidad de los resultados, se estima que con excepción de dos valores extremos (> 60 µgP/L) los demás valores parecen confiables mostrando en general un comportamiento más o menos coherente, es decir variaciones verticales y mensuales moderadas (< al factor 2).

BALANCE DE NUTRIENTES Y CARGA CRÍTICA (CAPÍTULO 8 Y 9)

Metodología -El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out}= descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int}= carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP= diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga L_{ext} se sumaron las cargas de los afluentes, de los centros acuícolas, de la precipitación y de la carga directa de aguas residuales. Esta última se determinó a través de una recopilación de antecedentes sobre la

cantidad de habitantes en la zona y estimación de su descarga de P al lago. La descarga se calculó como anteriormente descrito.

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

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

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (35 m) y el tiempo de renovación teórica del lago (3,5 años).

Resultados -En la tabla 138 se presentan el resumen de las cargas y de la salida de fósforo total del lago Natri durante un año. Las cargas externas total fue 7.2 ton P siendo la calculada carga de los centros de cultivos lejos la mas grande

Tabla 138 Resumen de las cargas de P total del lago Natri durante un año (nov 96-oct 97).
Se presenta datos del informe FIP y recalculados por este consultor.
Azul: valores

	Cargas de P (ton P/año)		
	Informe FIP		**Recalculada**
Afluentes (L_{ext})	0,74		1,57
Aguas Residuales (L_{ext})	0,3		0,3
Agua Lluvia (L_{ext})	0,2		0,2
Centros de Cultivo (L_{ext})	5,95		2,0-2,6
Liberación de sedimentos (L_{int})	0		0
Total cargas	**7,2**		**4,1 – 4,7**

Carga crítica fue **2,2**TON P, lo que significa que el lago recibió una carga 2 veces mayor que la carga crítica.

El balance de P arojó que la mayor parte (~ 70%) de la carga externa L_{ext} sedimenta (L_{int} es negativo) (Taba 139). El resto se descarga a través del efluente.

Tabla 139 Balance de P total para el lago Natri según informe FIP y recalculada.
Azul: valores corregidos.

	ton P/año		
	Informe FIP		**Recalculada**
L_{int}	- 5,0		~ 0 – (-) 0,6
Carga de P Lext.	7,2		4,1-4,7
Salida efluente (L_{out})	2,2		2,2
± TP en lago	0,02		0,02
Contenido P en lago	6,3		6,3

Evaluación balance de fósforo total

Contenido P lago: *Tecnicamente se calculo bien el balance de nutrientes. Los problemas respecto a la determinación del contenido de P en la columna de agua (página 157 dice al respecto solamente "se calculó de acuerdo al contenido de fósforo en todo el volumen de agua a diferentes estratos del lago") probablemente no hayan influido demasiado negativamente en el balance de nutrientes. Respecto a las cargas de los centros acuícolas este consultor estima que este fue sobreestimado porque la producción real de los peces (véase 3.7.3) y por ende su aporte de P al lago fue mucho menor.*

Se estima que la carga total al lago Natri fue alrededor de ***4,1-4,7*** *ton P y no* ***7,2*** *ton P.*

La carga crítica se calculó correctamente.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye que el estudio en general tiene pocas falencias, la mas grande esta relacionada con la sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas debido a la falta de información (Tabla 140).

Tabla 140 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Natri (1996/97).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	correcto		
Cuantificación cargas afluentes	parece correcta		
Cuantificación carga precipitación	correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas	Sobrestimada: debe ser ~2 ton P, no 5,9 ton P		
Cuantificación otras cargas	parecen correctas		
Contenido P lago	Algunos datos altos		
Descarga efluentes			
Modelos utilizados	Apropiado		
Balance de P	Técnicamente correcta, pero sobreestimacion carga externa		

3.7.3 Producción de peces

De acuerdo a los datos entregados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en el lago Natri se evidencian la existencia de 3 concesiones otorgadas con producción activa que alcanza en promedio 833 ton/año en el período 1995-2012 y 1048 ton/año durante 2005-2012 (Tabla 141). Se observa el máximo productivo en su primer año de otorgamiento con un valor de 2913 ton/año, cuyo valor es dudoso (y fue eliminado aqui). En los años siguientes se observa una tendencia al aumento en el promedio de volumen de producción entre los años 1996-2012, con bajas temporales en la producción en los años 2002, 2004, 2006, 2008 y 2010. Los valores mas altos (1500-2000 ton/año) fueron registrados en los últimos dos años.

En relación al volumen productivo las tres producieron mas o menos la misma cantidad de peces (Fig. 187) durante 2005-2012.

Tabla 141 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Natri durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2012
AL NORTE DE RÍO NATRI	100427	194	346
SECTOR MIRAFLORES	100437	187	400
AL NOROESTE DE PUENTE NATRI	100600	81	301
	TOTAL	**463**	**1048**

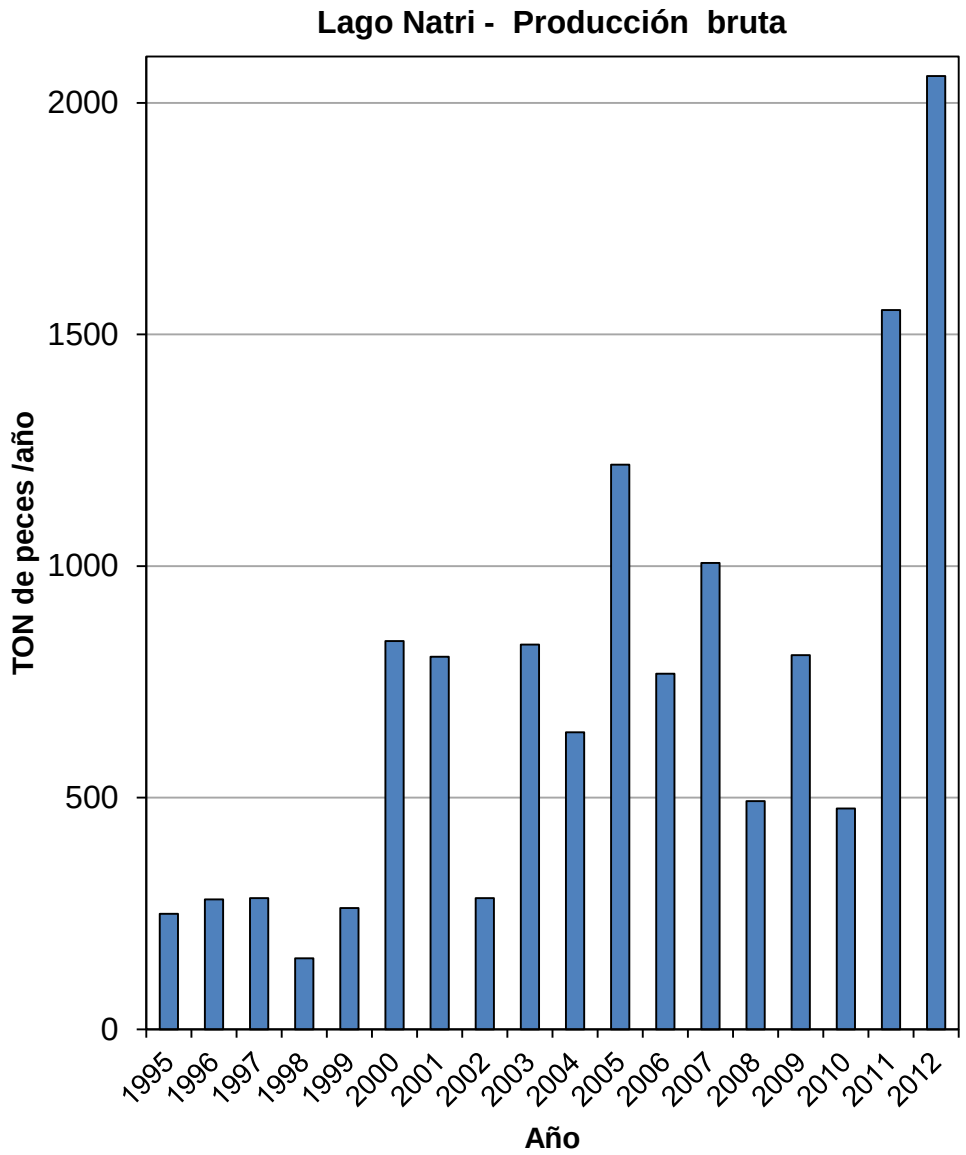


Fig. 187 Producción brutaa de salmones (ton/año) en el lago Natri durante el período 1995 – 2012 .

La comparación de la producción anual promedio muestra una alta heterogeneidad entre centros de cultivo y muestra un patrón propio para cada concesión.

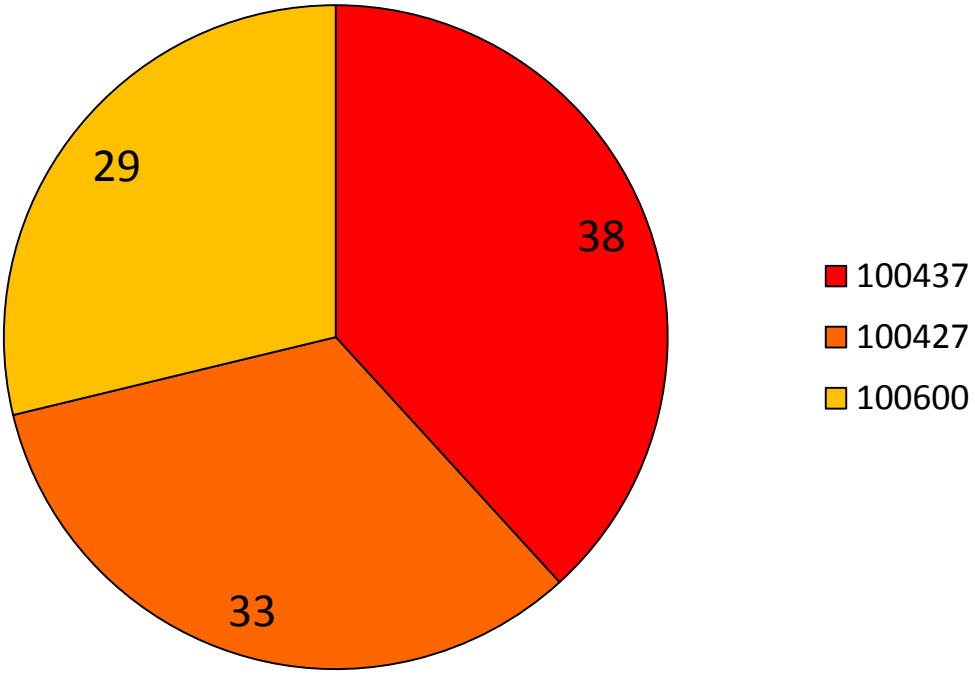


Fig. 188 Porcentaje de producción de salmones por centro acuícola en el Lago Natri durante el periodo 2005-2011.

La producción anual detallada y el abastecimiento de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.7.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Anexo 2, Fig. 189).

En el lago Natri la carga de P aportada por la Salmonicultura proviene de la operación de 3 centros de producción de Smolts, las cantidades generadas fluctúan según los niveles de producción alcanzado; es así como, durante el

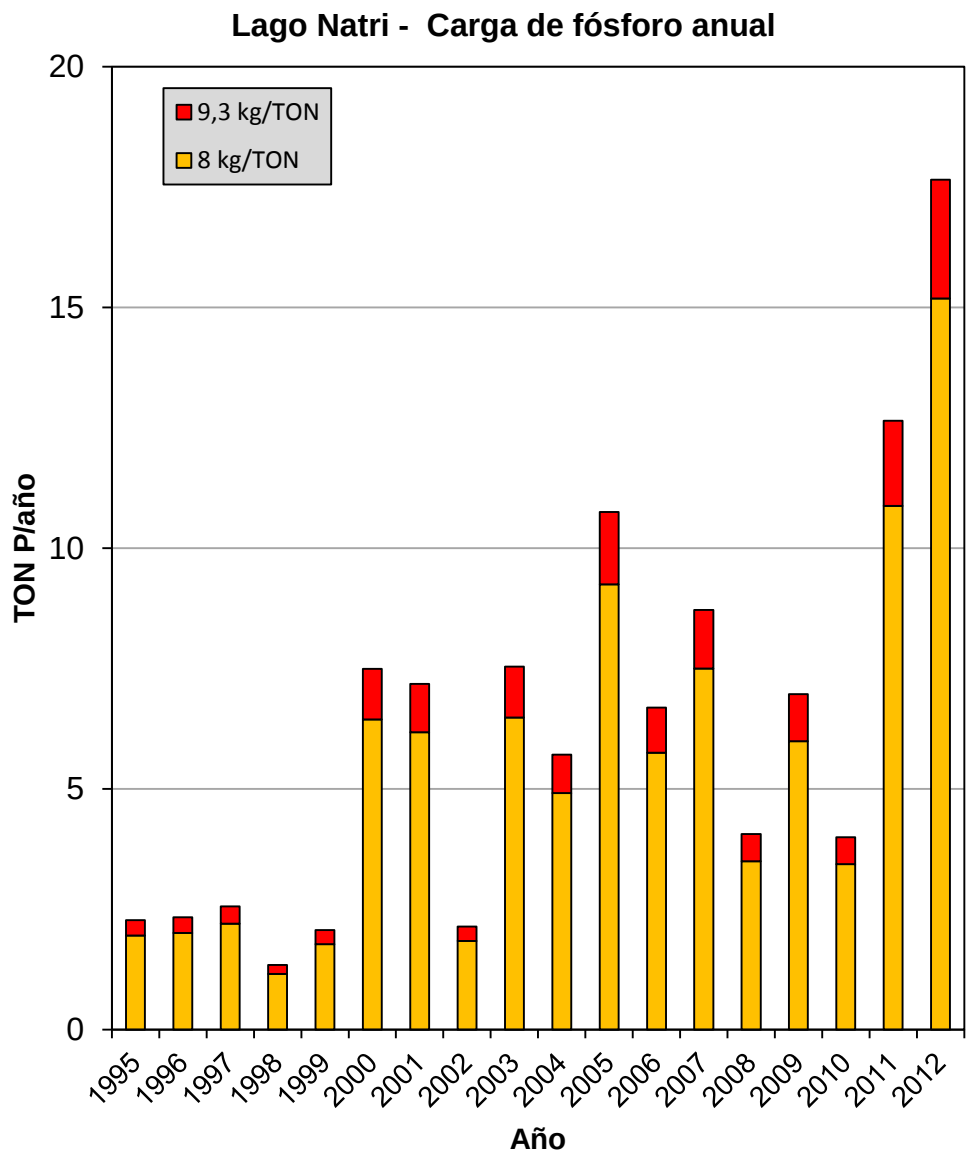


Fig. 189 Los aportes de P calculados para dos escenarios en el lago Natri durante 1995-2012.

período analizado (1995 – 2012), se puede observar que la carga de P registra un mínimo de 1,2 ton/año (1998), y un máximo de 18 ton/año durante el 1995 (Fig. 189). Por otra parte, se puede apreciar que, durante los últimos 2 años los aportes de P han aumentado considerablemente.

APORTES DE P POR CENTRO DE CULTIVO)

En el lago Natri existen dos centros pertenecientes a Invertec (100600 y 100437) y un centro (100427) perteneciente a Pacific Star; en general, los aportes de P son irregulares durante todo el período considerado y no se observan tendencias claras. No obstante, estos tres centros de cultivo de peces

aportan cantidades de P con valores promedio anuales que fluctúan entre ~2,7 y ~6,2 ton/año en los últimos 2 años (Tabla 143). El aporte relativo de P fluctuó entre 39% (centro 100437) y 27% (centro 100600) e los últimos 7 años (Tabla 142).

Tabla 142 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Natri durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
SECTOR MIRAFLORES	100437	39
AL NORTE DE RÍO NATRI	100427	34
AL NOROESTE DE PUENTE NATRI	100600	27
	TOTAL	**100**

Tabla 143 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Natri durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	**100427**		**100437**		**100600**		**Total**	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	1,8	2,1	0,0	0,1	0,1	0,1	**2,0**	**2,3**
1996	0,3	0,4	0,3	0,4	1,3	1,6	**2,0**	**2,3**
1997	0,9	1,0	0,3	0,4	1,0	1,2	**2,2**	**2,6**
1998	1,0	1,2	0,0	0,0	0,1	0,2	**1,2**	**1,3**
1999	0,9	1,0	0,8	0,9	0,1	0,1	**1,8**	**2,1**
2000	1,0	1,2	5,2	6,1	0,2	0,3	**6,4**	**7,5**
2001	1,5	1,8	3,7	4,3	1,0	1,2	**6,2**	**7,2**
2002	0,2	0,3	1,3	1,5	0,3	0,4	**1,8**	**2,1**
2003	5,0	5,9	1,2	1,4	0,3	0,3	**6,5**	**7,5**
2004	2,2	2,5	1,2	1,5	1,5	1,7	**4,9**	**5,7**
2005	2,2	2,6	5,1	6,0	1,9	2,2	**9,3**	**10,8**
2006	3,0	3,5	0,9	1,0	1,9	2,2	**5,8**	**6,7**
2007	3,2	3,7	1,8	2,1	2,5	2,9	**7,5**	**8,7**
2008	0,7	0,8	0,9	1,0	1,9	2,2	**3,5**	**4,1**
2009	1,0	1,2	4,9	5,8	0,0	0,0	**6,0**	**7,0**
2010	3,0	3,5	0,0	0,0	0,5	0,5	**3,4**	**4,0**
2011	3,1	3,6	5,0	5,8	2,7	3,2	**10,9**	**12,6**
2012	4,6	5,4	5,2	6,1	5,3	6,2	**15,2**	**17,7**
TOTAL	**36**	**42**	**38**	**44**	**23**	**26**	**96**	**112**

3.7.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.7.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.7.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

En el lago Natri la estación central C1 mostró temperaturas en el rango de 9,01 – 13,02 °C, con un promedio de 7,47 ± 0,18 °C. Las temperaturas más altas se observan en el estrato superficial (epilimnion) con una leve termoclina entre la sub-superficie a los 20m de profundidad. Sobre estas profundidades respectivas se observa una temperatura relativamente estable hasta los 55 (C1) (Anexo 3, Fig. 190).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de temperaturas entre 13,77 °C (en superficie) a 9,22 °C (en el fondo). Las temperaturas promedios en los centros de cultivo fueron las siguientes: Centro Pitote (100427) 11,50 ± 1,19 °C; Sector Miraflores (100437) 11,30 ± 1,90 °C; Noroeste Puente Natri (100600) 11,80 ± 2,33 °C. La distribución vertical de temperaturas en las concesiones de los centros de cultivo presenta una tendencia similar a la descrita para las estaciones centrales con temperaturas superficiales más altas disminuyendo con el aumento de la profundidad (Anexo 3).

pH y CONDUCTIVIDAD

El pH en la estación central del lago Natri C1 de profundidad mostró valores en el rango de 7,34 – 7,87, con un promedio de 7,47 ± 0,18. En general se observó una leve disminución de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de pH entre 7,21 a 8,08. Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Centro Pitote (100427) 7,74 ± 0,33; Sector Miraflores (100437) 7,63 ± 0,14; Noroeste Puente Natri (100600) 7,31 ± 0,10. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia a la observada en la estación central est. C1 (Anexo 3).

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto la central como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron casi ninguna variación manteniéndose en valores entre los 50-53 µS/cm. No se observó diferencias entre conductividades medidas en las estaciones de los centros de cultivo respecto a la central de referencia (C1) (Anexo 3).

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en la estación central C1 del lago Natri mostró valores en el rango de 8,76 - 11,32 mg/L, con un promedio de 10,07 ± 1,11 mg/L. Se observaron valores más altos en superficie disminuyendo gradualmente hacia los estratos de profundidad, encontrando saturación completa de oxígeno hasta los 20m de profundidad. A partir de los 30m de profundidad se observó una disminución más rápida de las concentraciones de oxígeno disuelto hasta alcanzar valores de 8,76 mg/L con una marcada subsaturación de oxígeno del 76% sobre el fondo (Anexo 3, Fig. 190).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 9,26 - 11,04 mg/L y para la saturación de oxígeno entre 81 - 107%. Los valores de oxígeno disuelto y saturación promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Centro Pitote (100427) 10,16 ± 0,78 mg/L; Sector Miraflores (100437)

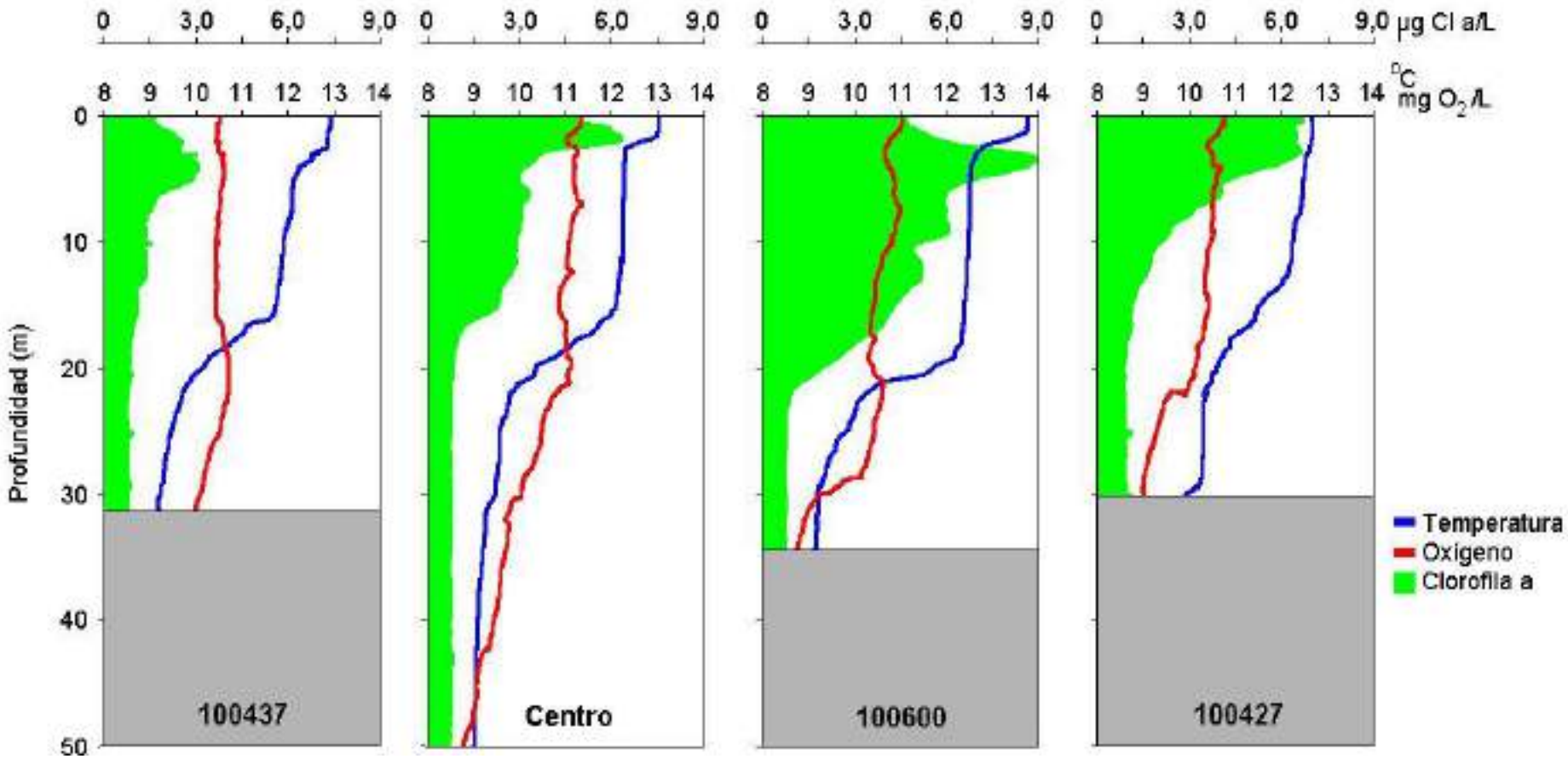


Fig. 190 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Natri.

10,35 ± 0,24 mg/L; Noroeste Puente Natri (100600) 10,24 ± 0,90 mg/L. La distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó una tendencia similar a la observada para la estación de referencia en el centro del lago (C1).

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en la estación central del lago Natri se observó una profundidad de disco secchi de 3,5m. La zona eufótica se extendió solamente hasta los 5,9m con un coeficiente de atenuación (kd) de 0,775 m^{-1}(Tabla 144, Fig. 191). Debido al hecho de ser un lago húmico (alto contenido de carbono orgánico disuelto) la transparencia y la zona eufótica están reducidas, y coeficiente de atenuación es elevado.

Ello se refleja también en la baja y hasta muy baja transparencia en la cercanía de los centros de cultivo, donde se midieron valores entre 1,5 y 4 m de visibilidad.

Tabla 144 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Natri. n.d.: no determinado

Estación	transparencia (m)	´= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro C1	3,5	6,63	5,9	0,775
100437	4	n.d.	n.d.	n.d.
100600	2,5	n.d.	n.d.	n.d.
100427	1,5	n.d.	n.d.	n.d.

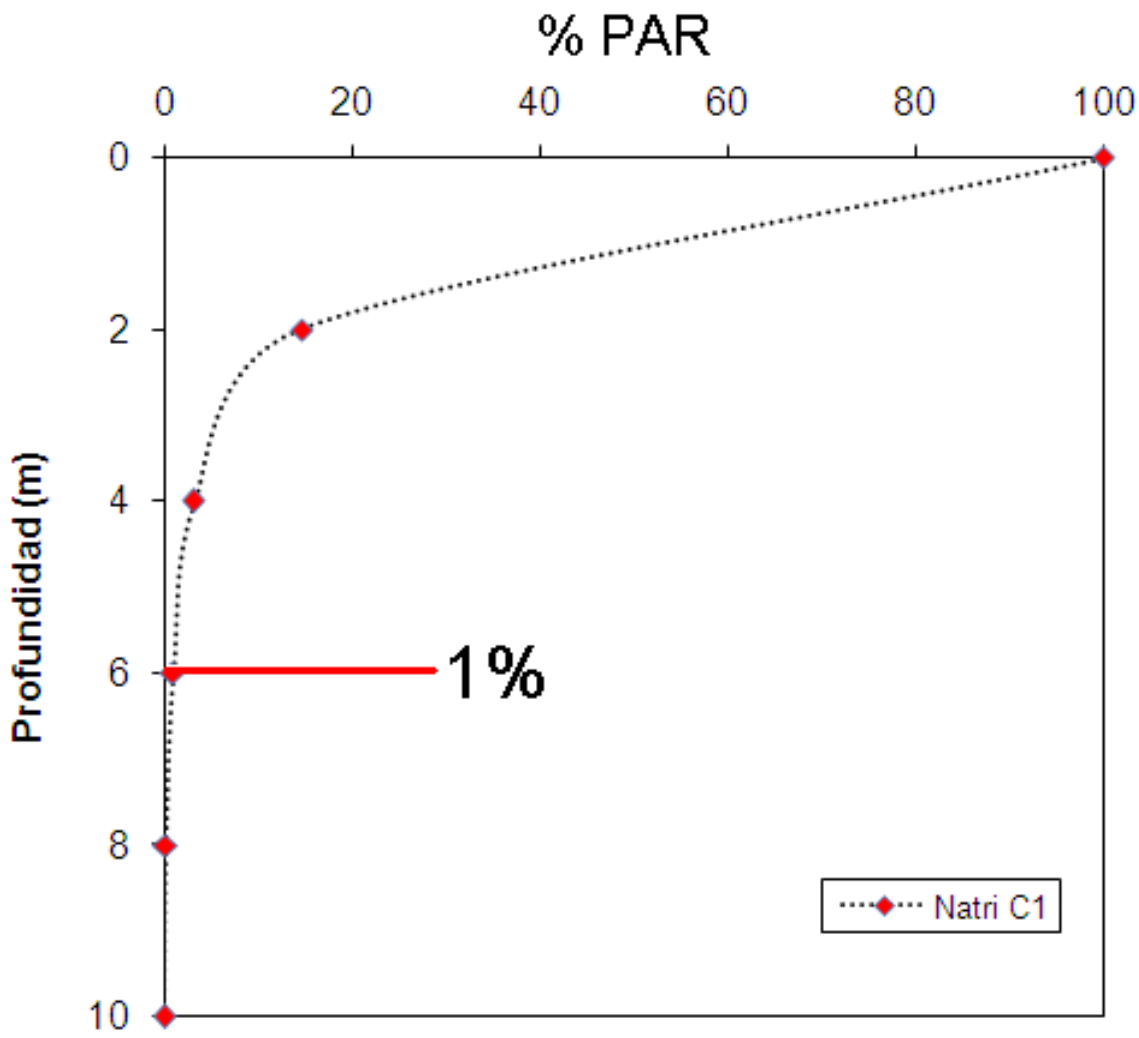


Fig. 191 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Natri.

NITRÓGENO

En la estación central muestreada del lago Natri las especies inorgánicas de nitrógeno presentaron valores relativamente elevados en comparación con los resultados de los lagos anteriores (Fig. 192, 193, Anexo 3). En la estación central C1 el nitrito se mostró valores en el rango de <0,002 – 0,0129 mg N/L, con un promedio de 0,0072 ± 0,0055 mgN/L. El amonio presentó valores en el rango de <0,002 – 0,0232 mg N/L, con un promedio de 0,0120 ± 0,0088 mgN/L. El nitrato mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre 0,2086 – 0,3553 mgN/L con un promedio de 0,2906 ± 0,0671 mgN/L y valores máximos en el fondo alcanzando los 0,3553 mgN/L. El nitrógeno total mostró una cierta variabilidad con una tendencia de aumentar de

superficie al fondo con un rango de variación entre valores de 0,4468 – 0,5189 mgN/L y en promedio 0,4943 ± 0,0267 mgN/L. A su vez se observó que gran parte del nitrógeno contenido estuvo compuesto por nitrato a diferencia de los lagos previamente analizados.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron todas para los parámetros amonio, nitrito, nitrato y nitrógeno total valores similares a los obtenidos para la estación central. Los valores de amonio, nitrito, nitrato y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue:**Amonio**: Centro Pitote (100427) 0,0189 ± 0,0137 mgN/L; Sector Miraflores (100437) 0,0142 ± 0,0077 mgN/L; Noroeste Puente Natri (100600) 0,0275 ± 0,0190 mgN/L. **Nitrito**: Centro Pitote (100427) 0,0098 ± 0,0013 mgN/L; Sector Miraflores (100437) 0,0135 ± 0,0027 mgN/L; Noroeste Puente Natri (100600) 0,0112 ± 0,0009 mgN/L.**Nitrato**: Centro Pitote (100427) 0,2358 ± 0,0637 mgN/L; Sector Miraflores (100437) 0,2646 ± 0,0736 mgN/L; Noroeste Puente Natri (100600) 0,2240 ± 0,0884 mgN/L.**Nitrógeno total**: Centro Pitote (100427) 0,4896 ± 0,0086 mgN/L; Sector Miraflores (100437) 0,4697 ± 0,0405 mgN/L; Noroeste Puente Natri (100600) 0,4911 ± 0,0063 mgN/L.

Comparativamente, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Natri.

FÓSFORO

En la estación central muestreada del lago Natri las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente elevados (Fig. 192, 193, Anexo 3). En la estación central C1 el fósforo soluble se mostró un rango de valores de 0,0042 – 0,0224 mgP/Ly un promedio de 0,0142 ± 0,0078 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo.El fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0204 – 0,0308 mgP/L y un promedio de 0,0252 ± 0,0045 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo. Se observó una clara tendencia de aumento en las concentraciones de fósforo desde superficie al fondo.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble se mantuvieron en el rango de 0,0040 – 0,0214 mgP/L. El fósforo total presentó promedios en los centros de cultivo como sigue: Centro Pitote (100427) 0,0244 ± 0,0014 mgP/L; Sector Miraflores (100437) 0,0124 ± 0,0079 mgP/L; Noroeste Puente Natri (100600) 0,0248 ± 0,0024 mgP/L (Anexo 3, Fig. 193).

Comparativamente **no** se observan diferencias entre los valores de fósforo soluble y fósforo total entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Natri. Entre estaciones no se encontraron diferencias significativas (Fig. 194)

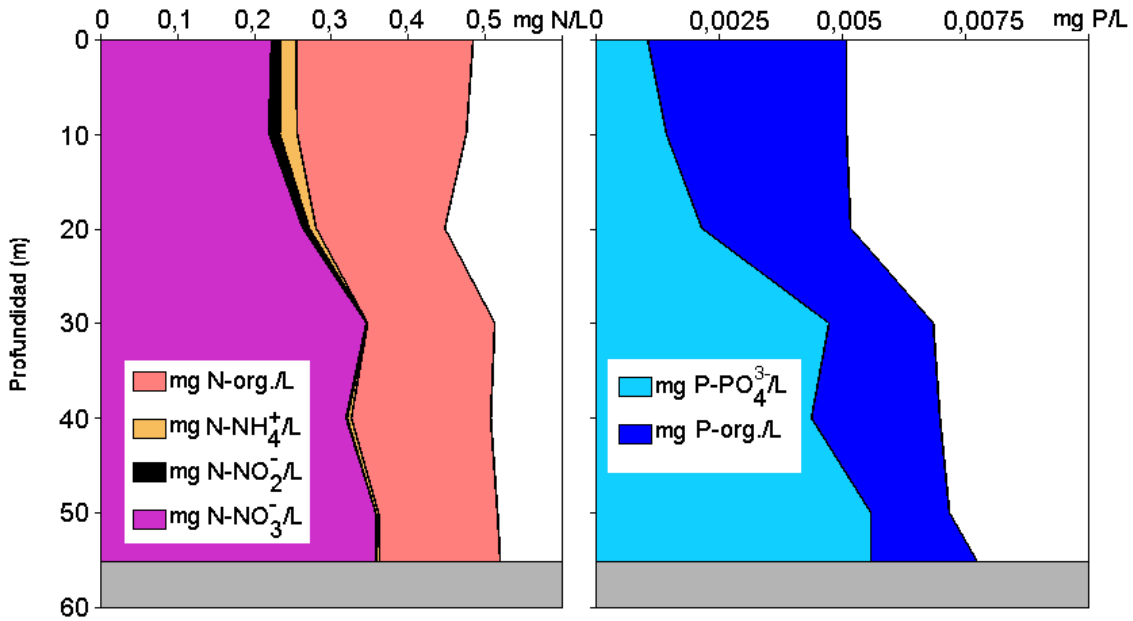


Fig. 192 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Natri.

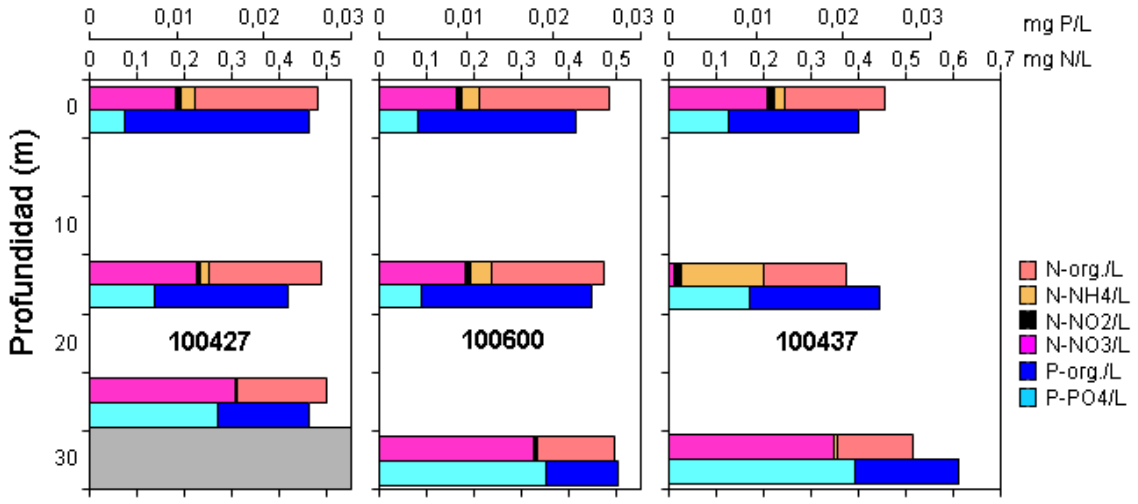


Fig. 193 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri.

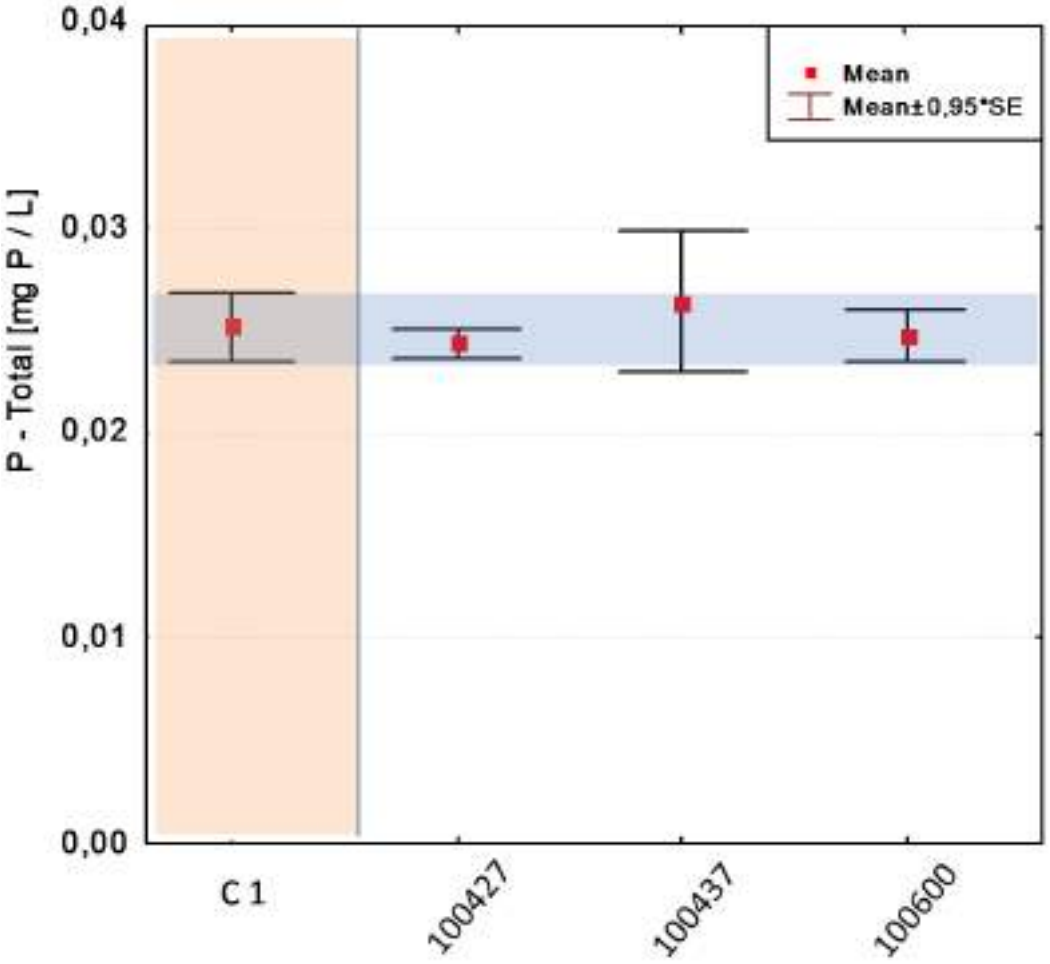


Fig. 194 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri (Box-wiskers plot). (* = diferencia significativa)

3.7.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los resultados de los análisis de clorofila a para la estación central del lago Natri (C1) mostró valores medianamente elevados característicos para un lago más bién mesotrófico, con un rango de variación entre los 1,6 – 9,8 µg/L chl a y un promedio de 4,5 ± 3,6 µg/L chl a para la estación C1 (anexo 3, Fig. 195).

Comparativamente se observan diferencias entre los valores de clorofila a entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Natri, de los cuales los centros 100427 y 100600 se caracterizan como mesotróficos (Fig. 195).

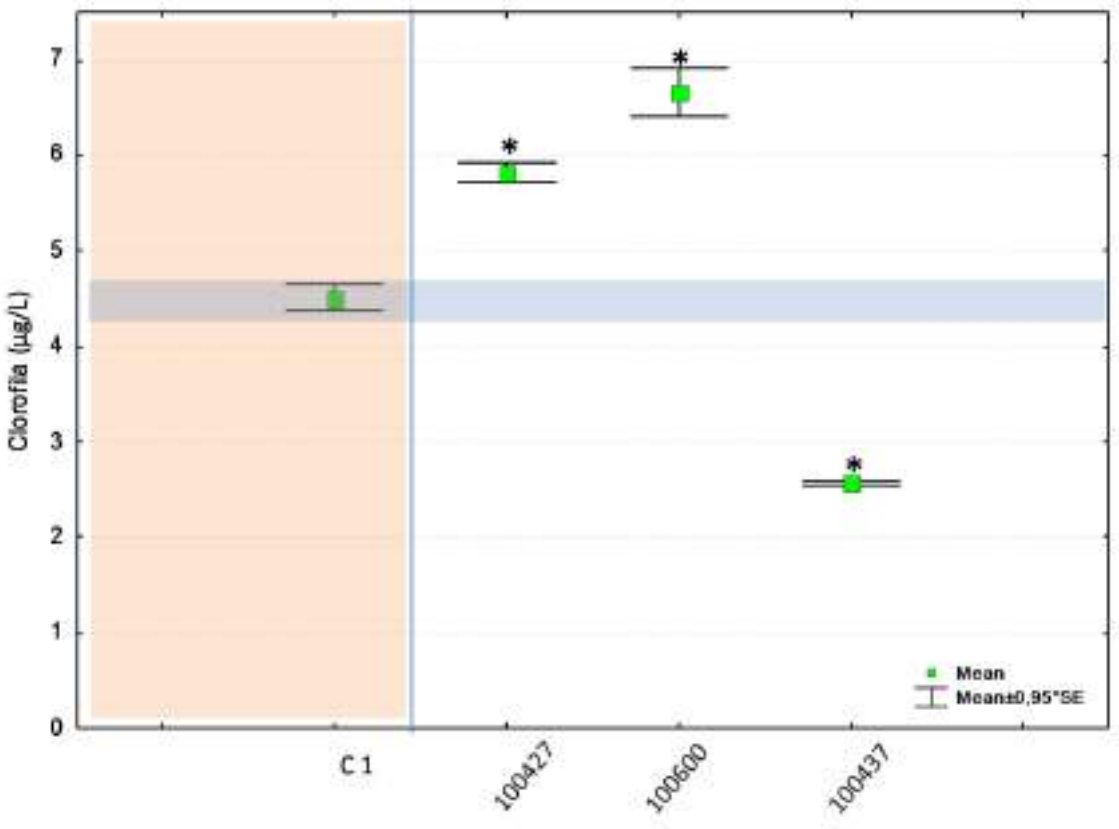


Fig. 195 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Natri Box-wiskers plot. (* = diferencia significativa)

FITOPLANCTON

Para el Lago Natri se analizaron un total de 8 muestras de fitoplancton, 4 de ellas corresponden a muestras cualitativas de red y 4 a muestras cuantitativas. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 40m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 2 Tabla 4. Los resultados aquí presentados no contemplan el picoplancton (algas < 5 µm). La densidad celular de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo varió entre 1,42 E+06 y 1,37 E+07 cel/L, figura 196.

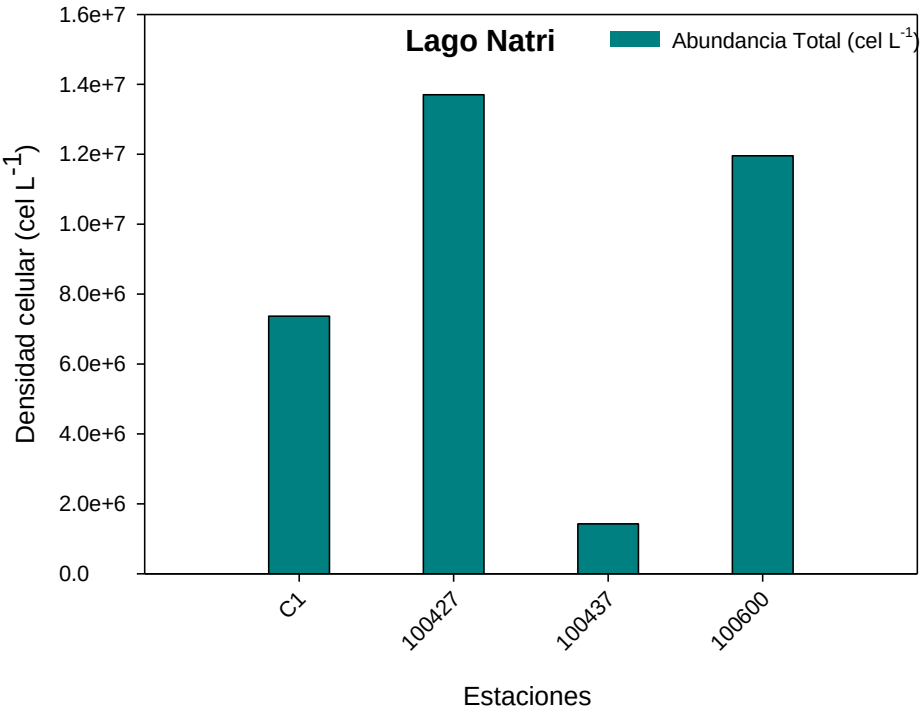


Fig. 196 Valores de densidad celular para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 4 estaciones de muestro pelágico del lago Natri.

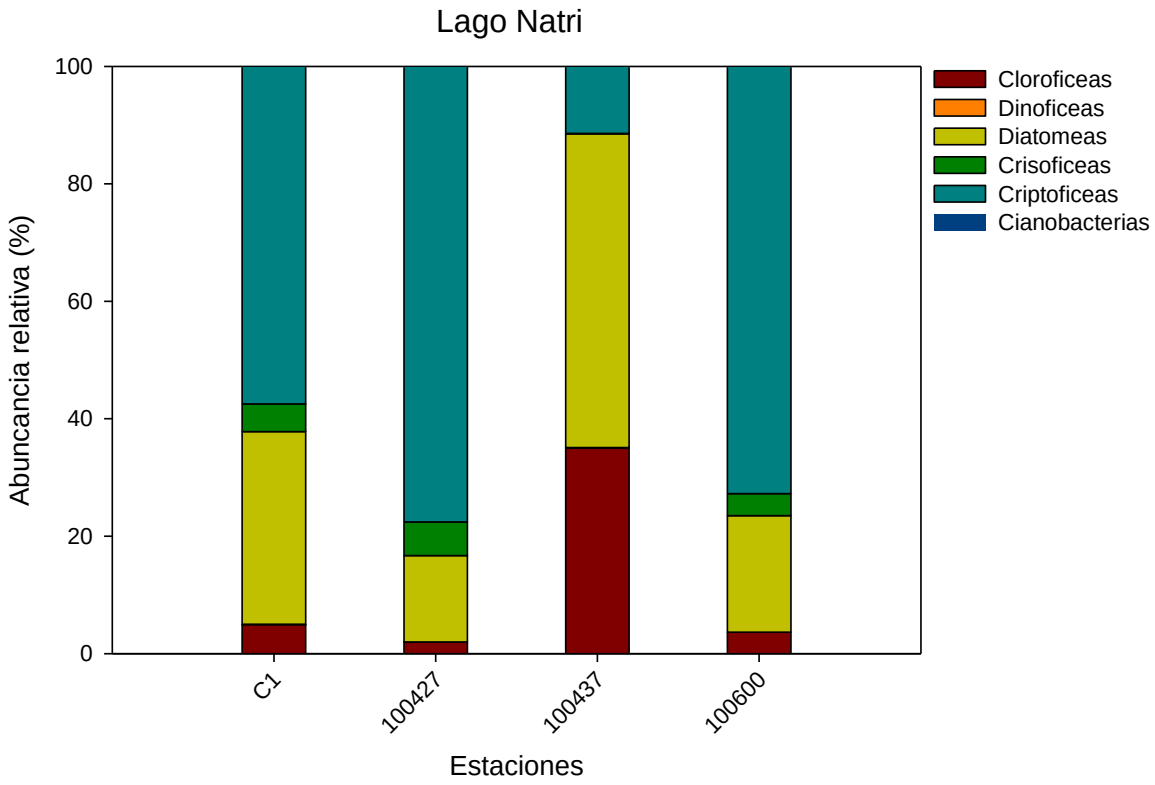


Fig. 197 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 4 estaciones de muestro pelágico del lago Natri.

La estación de muestreo código: 1017427 fue la que presentó la mayor densidad de microalgas mientras que las estación 100437 registró los menores valores. En este sentido llama la atención la muy baja densidad celular de este punto del lago.

En total se registraron 50 especies de fitoplancton, de las cuales 20 corresponden a Diatomeas, 16 a Clorofíceas, 3 Crisofíceas, 6 Cianobacterias, 2 Criptofíceas y 3 Dinofíceas (mayor información ver Anexo 2 Tabla 4). La estructura comunitaria de fitoplancton se caracterizó por la marcada co-dominancia de especies de Diatomeas y Criptofíceas, con abundancias conjuntas mayores al 64 % en todas las estaciones, Figura 197 y Tabla 145.*Cyclotella glomerata* fue la microalga más abundante y representativa para el grupo de las diatomeas mientras que *Rhodomonas* spp., lo fue para el caso de las Criptofíceas.

Tanto *C. glomerata* (diatomea) como *Rhodomonas* spp presentan un amplio rango de distribución en los ambientes lenticos del sur de Chile, pudiéndoseles

encontrar en ambientes de distinta profundidad de carácter ultra-oligotróficos hasta eutróficos. Sin embargo, basándose únicamente en la gran abundancia de esta microalgas, dominantes del fitoplancton del lago Natri, se infiere que el ambiente pelágico donde se desarrolla el fitoplancton presenta características meso- eutróficas.

En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Natri.

Tabla 145 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 4 estaciones de muestreo del lago Natri.

Lago	**Natri**			
Estacion	***C1***	***100427***	***100437***	***100600***
Densidad Total (cel/L)	7.37E+06	1.37E+07	1.42E+06	1.20E+07
Grupo	%	%	%	%
Clorofíceas	5	2	35	4
Dinofíceas	0	0	0	0
Diatomeas	33	15	53	20
Crisofíceas	5	6	0	4
Criptofíceas	57	78	11	73
Cianobacterias	0	0	0	0

ZOOPLANCTON (Fig. 198, Tabla 146)

Para el Lago Natri se analizaron un total de 4 muestras cuantitativas de zooplancton. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 6 géneros representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Diaptomus diabolicus*, *Tropocyclops prasinus* y *Mesocyclops* sp.) y a cladoceros (*Daphnia* sp., *Neobosmina chilensis* y *Diaphanosoma* sp.). Respecto de la abundancia de los distintos géneros se observa la presencia de pocos individuos cladóceros y una gran dominancia de estadios Nauplios y de copepoditos calanoideos. Al comparar las abundancias entre sitios se observan bastante homogéneas. El sitio con menos abundancia corresponde al 100427 con un total de 89,7 ind/L y la máxima abundancia se reporta en el centro 100600 con 107,5 ind/L.

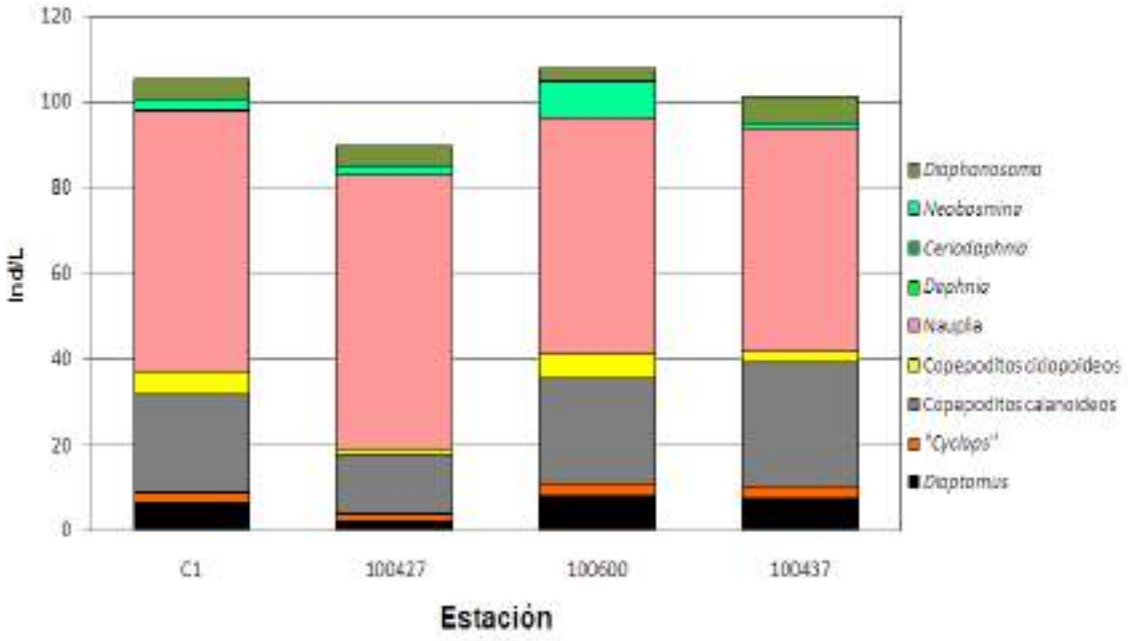


Fig. 198 Abundancia de zooplancton en el lago Natri durante primavera 2012.

Tabla 146 Abundancia de microcrustáceos en el lago Natri durante primavera 2012.

Especies/estación		C1	100427	100600	100437
Copépodos		09-11-12	09-11-12	09-11-12	09-11-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	2,85	1,00	4,84	3,05
	♀	1,35	0,87	1,51	2,63
	♀+H	2,17	0,33	1,81	1,77
Copepoditos calanoidos		22,93	13,72	24,49	28,81
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,07	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,08	0,00
Copépodos ciclopoideos					
"Mesocyclops" sp.	♂	1,72	0,87	1,29	0,78
	♀	0,97	0,80	1,06	0,99
	♀+H		0,27	0,38	1,28
Copepoditos ciclopoidos		5,40	1,40	5,59	2,70
Nauplia		60,63	63,40	55,34	51,94
Cladóceros					
Daphnia		0,07	0,00	0,00	0,00
Neobosmina chilensis		2,55	2,40	8,47	0,99
Ceriodaphnia dubia		0,00	0,00	0,00	0,00
Diaphanosoma		4,35	4,60	2,65	6,39
Total (Ind/L)		105,0	89,7	107,5	101,3

3.7.6.3 Sedimento

En el lago Natri se muestrearon 3 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo Natri (100600), Natri II (100437) y Pitote (Norte Río Natri) (100427).

En las estaciones cercanas al centro Natri, se observó para la estación 1, el predominio de las fracciones fango y arena fina, con un 46 y 22 %, respectivamente. En la estación 2, dominaron las fracciones grava y arena gruesa

con el 26 y 24 %, respectivamente. Mientras que en la estación 3, hicieron lo propio la arena fina y muy fina con promedios de 40 y 27 %, respectivamente (Tabla 147).

En la estación 1 cercanas al centro Natri II, predominó la fracción fango, siendo su contribución al valor total de 65 %. En la estación 2 predominó la arena muy fina (56 %) y en la estación 3 las arenas finas y muy fina con el 20 y 24 %, respectivamente.

Tabla 147 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Natri.
Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Natri 100600					
Grava	-1	4 - 2	6.44	26.08	0.00
Arena muy gruesa	0	2 - 1	1.52	8.35	0.02
Arena gruesa	1	1 - 0,5	3.71	23.92	0.49
Arena media	2	0,5 - 0,25	8.88	13.59	13.10
Arena fina	3	0,25 - 0,125	22.39	6.35	39.93
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	11.02	5.98	27.15
Fango	5	< 0,063	46.04	15.74	19.30
Centro Natri II 100437					
Grava	-1	4 - 2	1.76	7.76	6.52
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.29	1.34	6.99
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.06	3.51	8.74
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.17	13.94	20.48
Arena fina	3	0,25 - 0,125	4.77	10.56	23.58
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	23.30	56.12	19.71
Fango	5	< 0,063	64.65	6.78	13.98
Centro Pitote (Norte Río Natri) 100427					
Grava	-1	4 - 2	6.95	0.48	24.26
Arena muy gruesa	0	2 - 1	1.64	1.08	1.85
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.16	1.33	6.51
Arena media	2	0,5 - 0,25	7.38	4.90	18.95
Arena fina	3	0,25 - 0,125	15.86	18.31	25.44
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	26.69	61.51	7.89
Fango	5	< 0,063	39.32	12.39	15.11

En el centro Pitote, se observó para la estación 1, un mayor aporte de las fracciones arena fina y fango con el 27 y 39 %, respectivamente. En la estación 2, dominó la fracción arena muy fina con el 62 %, mientras que en la estación 3, dominaron las arenas fina y media con promedios de 25 y 19 %, respectivamente.

Las características del sedimento, representadas por los estadígrafos sedimentológicos, señalan las principales tipologías del depósito y se indican en la Tabla 146. El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena media y arena fina, aunque en algunas estaciones el tamaño medio correspondió a arenas muy finas y limos

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estandar gráfica inclusiva, mostró una alta variabilidad en la gran mayoría de las estaciones del lago, donde predominaron las arenas pobremente seleccionadas. La Simetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media indicó, para la mayoría de los casos un moderado exceso de sedimentos gruesos y muy gruesos (Tabla 149).

La materia orgánica, expresada como porcentaje total de materia orgánica (combustibles totales), contenida en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo en el Lago Natri se indica en la Tabla 149. En ellas, destacó el porcentaje orgánico depositado en el centro Natri II con olor desagradable y valores entre 26 y 38 %, mayores que aquellos mencionados en las INFAS, como también el valor en una estación del centro Pitote que alcanzó un 24 % de materia orgánica.

Tabla 148 Lago Natri. Parámetros sedimentológicos.
Media, selección, Asimetría y curtósis en las tres estaciones de muestreo y para cada réplica.

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Natri I 100600	1	A	3,53	1,62	-0,62	1,17	Arena muy fina
		B	3,90	1,06	-0,58	1,18	Arena muy fina
		C	2,15	1,93	-0,22	1,21	Arena fina
	2	A	0,33	2,45	0,81	0,59	Arena gruesa
		B	1,35	1,99	0,26	1,02	Arena media
		C	1,71	1,75	0,52	1,15	Arena media
	3	A	3,03	1,06	0,11	0,92	Arena muy fina
		B	3,08	1,02	0,12	0,94	Arena muy fina
		C	3,02	1,04	0,17	0,94	Arena muy fina
Natri II 100437	1	A	4,46	0,41	-0,15	1,05	Limo muy grueso
		B	4,47	0,35	-0,06	0,84	Limo muy grueso
		C	2,91	1,24	-0,52	1,44	Arena fina
	2	A	1,87	2,20	-0,68	0,77	Arena media
		B	3,26	0,83	-0,40	1,95	Arena muy fina
		C	2,73	1,15	-0,37	0,73	Arena fina
	3	A	2,54	1,64	-0,29	1,29	Arena fina
		B	1,98	1,71	-0,01	0,93	Arena media
		C	2,02	1,94	-0,08	1,15	Arena fina
Pitote (Norte río Natri)	1	A	3,26	1,81	-0,59	1,08	Arena muy fina
		B	2,97	2,10	-0,70	0,99	Arena fina
		C	3,37	0,83	-0,05	1,10	Arena muy fina
	2	A	3,33	0,75	-0,18	1,49	Arena muy fina
		B	3,35	0,71	-0,14	1,44	Arena muy fina
		C	3,11	1,02	-0,31	1,32	Arena muy fina
	3	A	2,43	1,27	0,17	1,33	Arena fina
		B	2,26	1,60	0,04	1,09	Arena fina
		C	0,27	2,40	0,81	0,61	Arena gruesa

Tabla 149 Lago Natri. Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, para cada uno de los centros y estaciones consideradas.
Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Natri I	100600	1		13,00	Café	leve olor a huevo
		2		4,70	negro	sin olor
		3		3,15	Café verdoso	sin olor
Natri II	100437	1	15 m	29,10	Café	olor a huevo
		2	35 m	38,05	Café	s/olor
		3	20 m	26,08	Café verdoso	olor a vinagre
Pitote (Norte río Natri)	100427	1	16 m	12,37	Café verdoso	s/olor
		2	23 m	24,09	Negro	s/olor
		3	15 m	2,86	Café verdoso	s/olor

En la figura 199 se aprecian el porcentaje de fango, materia orgánica (ambos parámetros ya fueron descrito más arriba) y el potencial de Redox. Según este último parámetro, en solamente 2 de 3 estaciones están sobre el límite de aceptabilidad de Eh REDOX considerado por el CPS e INFA que fija valores entre >50 mV y >75 mV. En la 100427 dos de tres mediciones indican condiciones en el rango inferior permitida del potencial Redox. Por lo tanto indicarían ya condiciones “ánoxicas”.

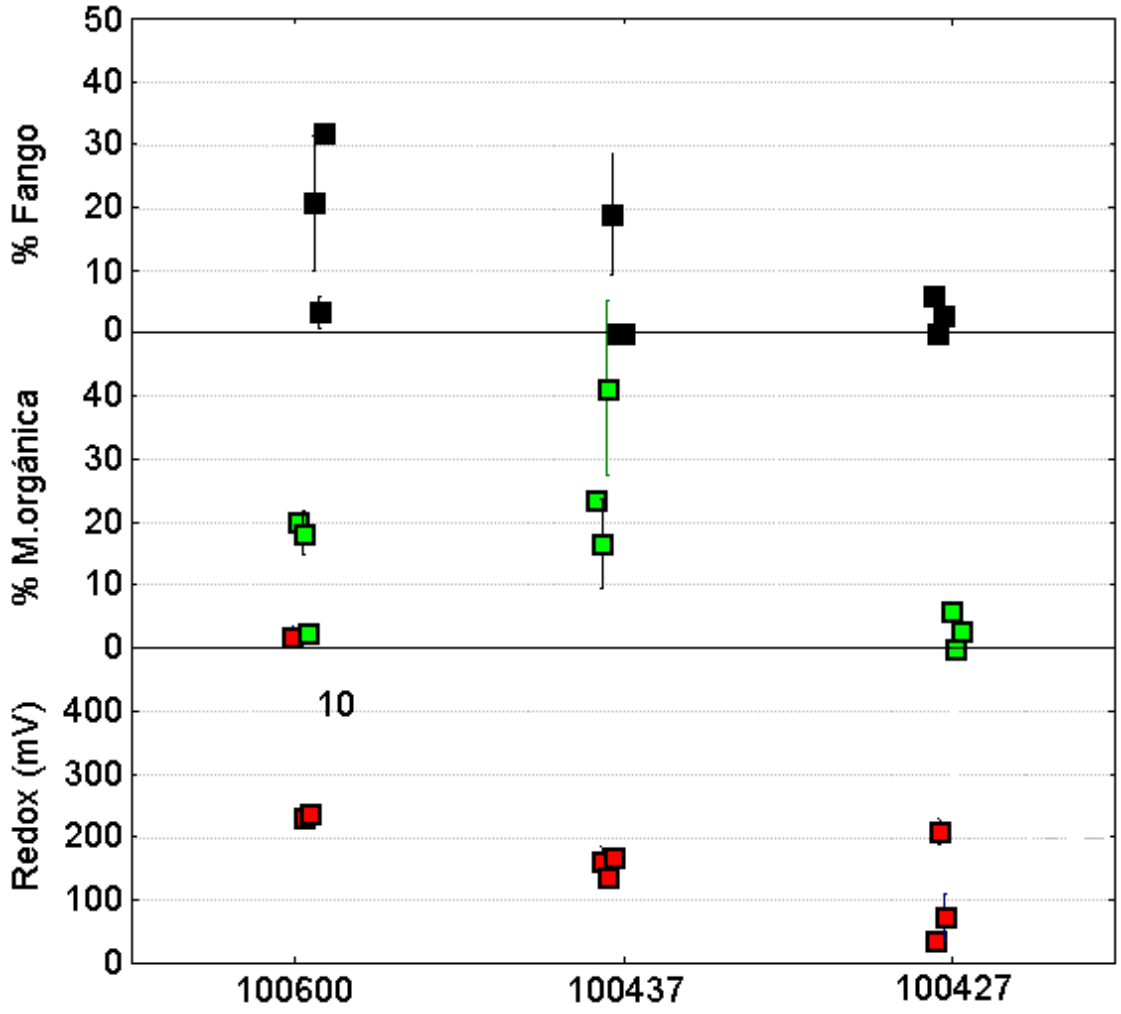


Fig. 199 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Narti

3.7.6.4 Correntometría

Velocidad de Corrientes

En las figuras 202 y 203 se muestran las corridas de los derivadores.

La Tabla 150 muestra la estadística general de la intensidad de las corrientes registradas para la totalidad de los registros obtenidos en los puntos de medición.

De acuerdo a las magnitudes de la intensidad de las corrientes cuantificadas en los centros localizados en el lago Natri, se observa un predominio de valores discretos cuyas magnitudes medias, en general, no superan los 5 cm/s; no

obstante en los Centros de cultivos 100437 y 100600, se registraron intensidades máximas iguales a 11,1 cm/s.

Tabla 150 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos existentes en el lago Natri.

Códigos de Centros Lago Natri			
	100437	**100600**	**100427**
Estadígrafo	**Valores (cm/s)**		
Media	2,7	3,4	2,5
Max	11,1	11,1	2,5
Min	2,5	2,5	2,5
Mediana	2,5	2,5	2,5
Moda	2,5	2,5	2,5
Desvest	1,4	2,5	2,5

Por otra parte, las restantes mediciones registran valores que fluctúan en un rango de intensidad de corrientes entre 2,5 y 11,0 cm/s; en general, se evidencia una partición modal inferior a la medial, es decir, la mayor cantidad de casos se concentra en valores inferiores a la media.

Dirección de Corrientes

El análisis de los componentes direccionales asociados al Centro de cultivos 100437 (Miraflores) permite visualizar que en este sector, la dirección predominante de las corrientes se concentra en el cuadrante de la componente EE, donde se concentra prácticamente el 80% de los casos (Fig. 201).

Tabla 151 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Natri.

Códigos de Centros Lago Natri			
	100437	**100600**	**100427**
Estadígrafo	**Valores (grados)**		
Media	106	167	160
Max	354	354	357
Min	5	11	2
Mediana	99	269	201
Moda	94	290	279
Desvest	96	110	98

Por otra parte, en el sector de emplazamiento del centro N° 100968 (noroeste puente Natri), se evidencia que la mayor frecuencia de las corrientes se concentran en los cuadrantes NW y NE, alcanzando el 25% y el 15%, respectivamente, (Fig. 200).

En área de localización del Centro de Cultivos N° 100427 (desagüe), se puede ver que los componentes direccionales de las corrientes se concentran en los cuadrantes NE y ESE, encontrándose en estos cuadrantes cerca del 75% de los casos. (Fig. 201).

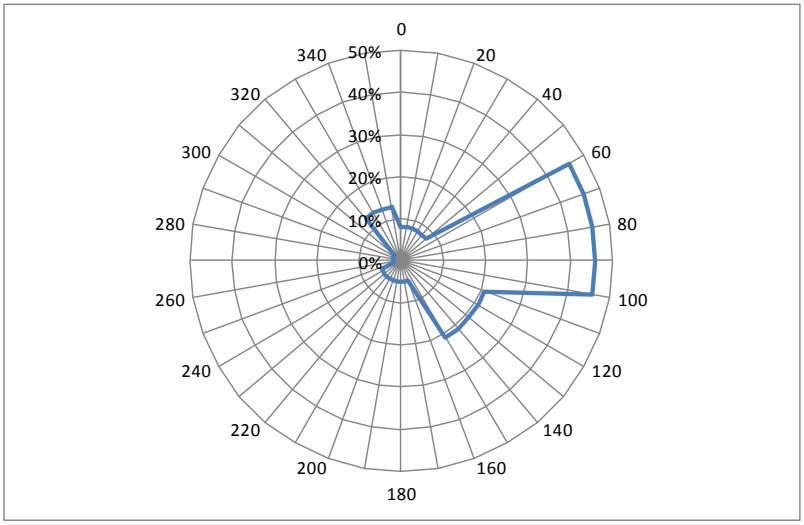


Fig. 200 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100437, ubicado en el lago Natri

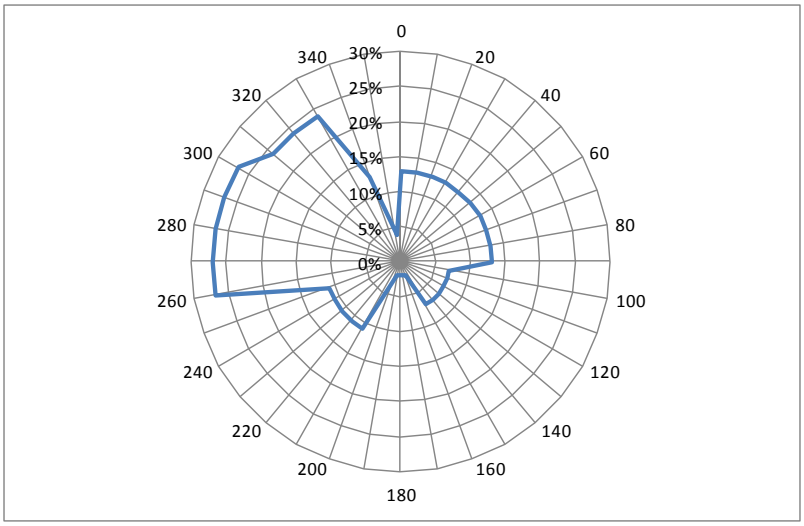


Fig. 201 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100600, ubicado en el lago Natri.

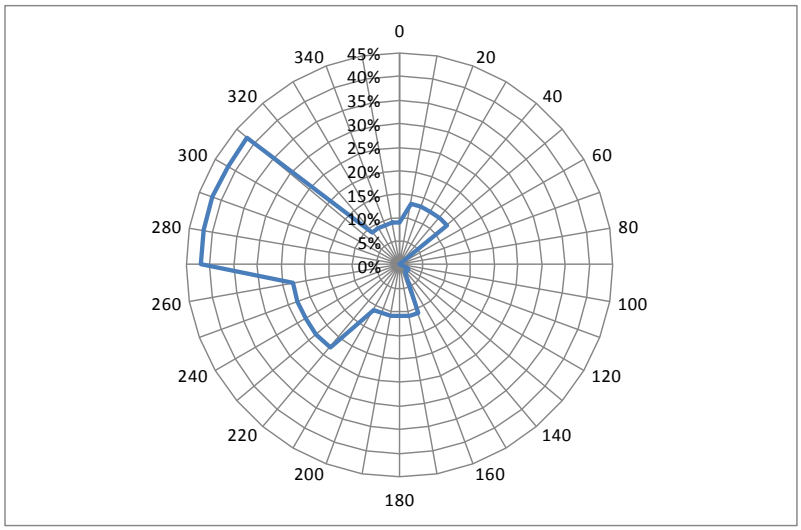


Fig. 202 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100427, ubicado en el lago Natri.

Correntometría Lagrangeana Dìas 4 y 5 de diciembre. (Fig. 203, 204)

Para la determinación de las corrientes con el método Lagrangiano se liberaron 16 derivadores de acuerdo al esquema de trabajo propuesto. Se fijaron 3 transectas perpendiculares al eje principal del lago que está orientado en dirección E-W. En la transecta occidental se ubicaron 3 estaciones en las que fueron liberados dos derivadores en cada estación, uno superficial y otro a los 15m. en el perfil central se eligieron dos estaciones por tratarse de la parte más

angosta del lago y por la cercanía a un centro de cultivo lo que podría constituirse en una interferencia en la trayectoria del derivador. En la Transecta oriental se definieron tres estaciones con dos derivadores en cada estación. Los derivadores permanecieron aproximadamente 13 hrs., entre las 20.00 del 4 de Diciembre a las 09.00 hrs. del 5 de Diciembre. El viento previo a la colocación de los derivadores soplaba del SW con máximas de 12km/hr. El viento nocturno sopló desde el SE y en baja intensidad. Los derivadores superficiales siguieron una trayectoria hacia el W coincidente con el eje longitudinal del lago, con velocidades media moderadas que fluctuaron entre 2.7 y 8 cms/seg. Los derivadores superficiales de la transecta occidental llegaron hasta las riveras del extremo del lago, en forma similar los derivadores superficiales de las transectas central y oriental recorrieron el espacio que las separaba entre ellas cubriendo así casi la totalidad de la superficie del lago. Los derivadores de 15m avanzaron en dirección opuesta a los de superficie, es decir hacia el E, sus velocidades fueron similares a la velocidades de los derivadores superficiales, lo que les permitió, también, cubrir casi la totalidad de la extensión del lago.

La forma regular del lago Natri en su morfometría, su tamaño reducido y la presencia de vientos constantes de mediana intensidad permiten estimar una efectiva mezcla de las aguas del lago, gracias a las corrientes generadas por los vientos de la zona. En períodos de tiempo de 24 a 36 hrs. las corrientes pueden llevar a las a aguas del lago de un extremo al otro.

En forma similar a los observado en el lago Chapo, en el Natri el movimiento de la masa superficial de agua se ve compensada por un movimiento de retorno en el estrato de agua de los 15m de profundidad. Mecanismo clásico de mezcla de las aguas de un lago térmicamente homogéneo.

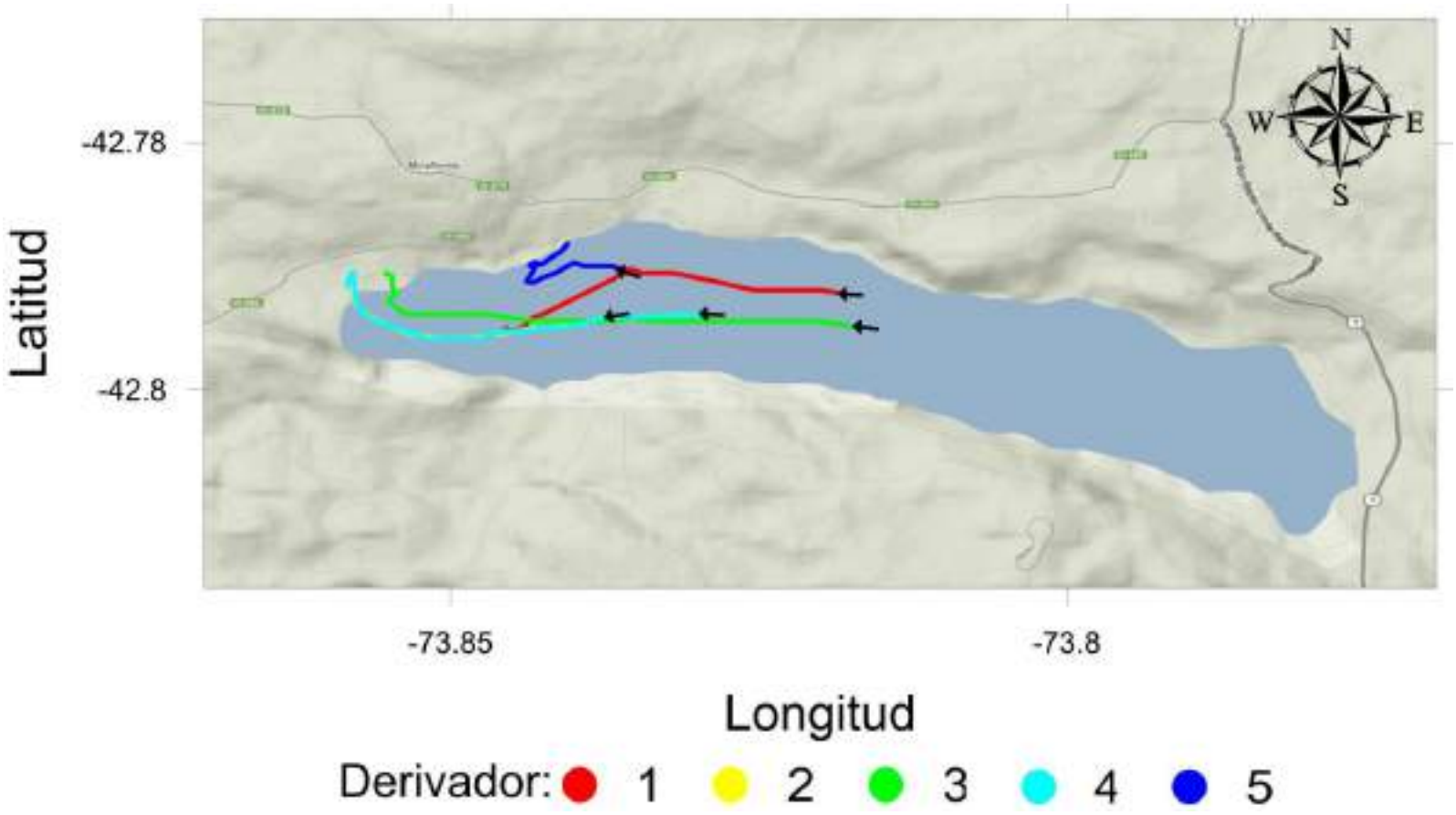


Fig. 203 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Natri

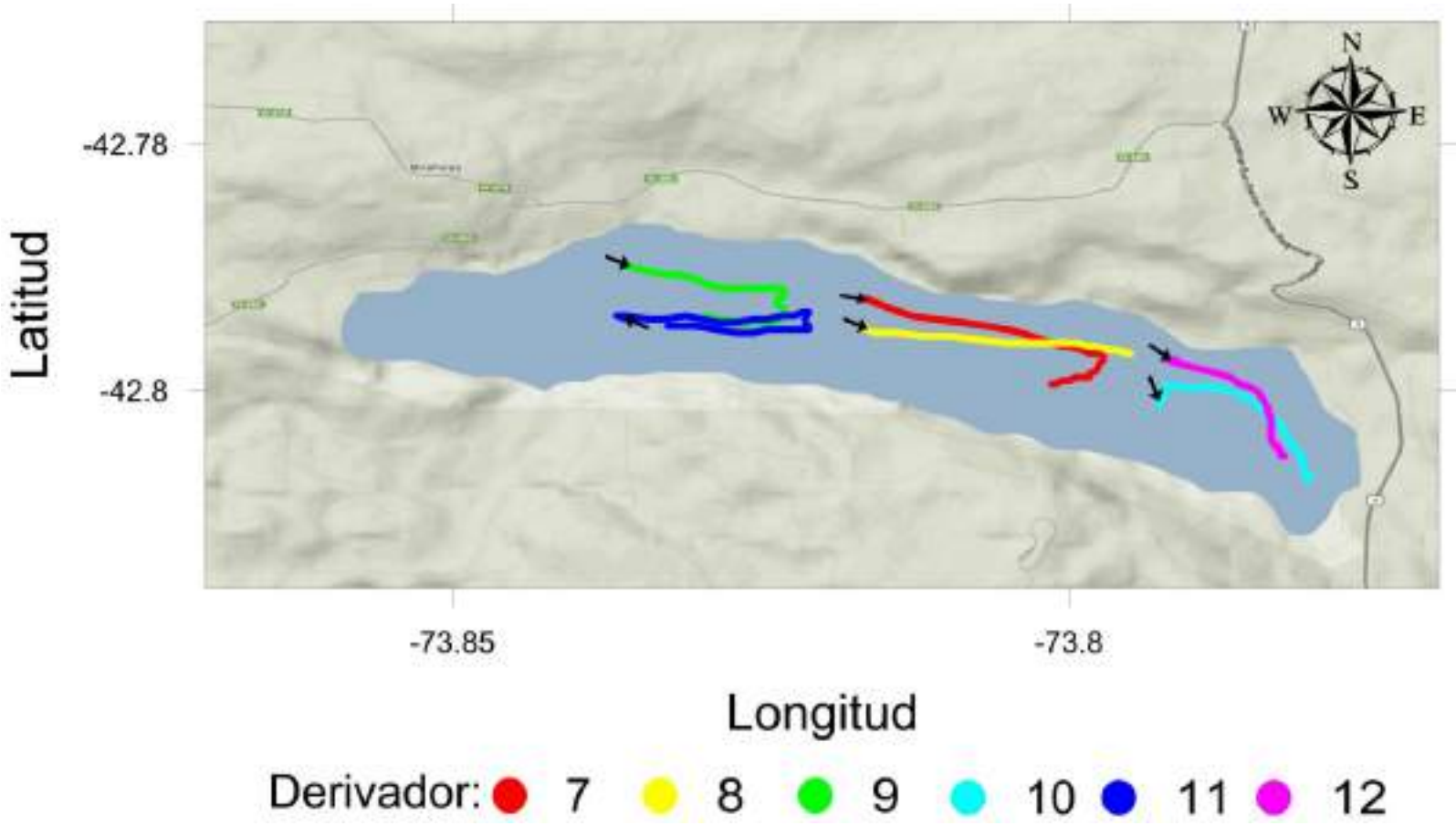


Fig. 204 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Natri

3.7.7 Evaluación del estado trófico del lago Natri

Para el lago Natri existen datos tróficos solamente para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) y para el año 2012 (este estudio) (Tabla 152).

Llama la atención que los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 son practicamente iguales y típicos para ambientes eutróficos.

La transparencia fue en general baja debido al caracter distrófico del lago Natri (similar a los otros lagos chilotes). Sin embargo, la transparencia fue en 1996/97 en promedio mas alta que en primavera 2012. El valor más bajo registrado en 1996/97 fue 2,5 m, mientras en 2012 se registró el valor mas bajo en el centro 100427 (1,5 m).

Respecto a clorofila a llama la atención que este fue en 1996/97 en promedio tres a cuatro veces mas alta que en primavera 2012 siendo valores indicativos para ambientes eutróficos (1996/97) y mesotróficos (2012).

Tabla 152 Evaluación del estado trófico histórico del lago Natri (promedio ± desviación estándar). N = fechas de muestreo
Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54 y Villalobos et al. 2003; 2: Este estudio

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=12)	5,1 ± 0,8	0,026 ± 0,016	16,4 ± 20,0	1
2012 (N=1)				2
Centro C1	3,5	0,025 ±0,005	4,5 ± 3,6	
100437	4	0,024 ± 0,001	4,7 ± 2,8	
100600	2,5	0,027 ± 0,006	3,3 ± 0,8	
100427	1,5	0,025 ± 0,002	6,6 ± 0,3	

Cabe concluir que el lago Natri mostró en 2012 un nivel meso-eutrófico similar a su estado trófico en 1996/97. Sin embargo, se debe considerar que en 2012

se realizó solamente un muestreo que refleja solamente un imagen momentánea del nivel trófico basandose en clorofila a y transparencia.

3.7.8 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto a el estudio de balance y la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación, con el fin de entregar una opinion respecto a la interrogante de si el lago Natri es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.7.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS LINEA BASE Y OTROS– El lago Natri es un lago distrófico de pequeño tamaño (7,8 km^2) con la profundidad media y máxima mas alta de los lagos chilotes (35 y 58m). El tiempo de renovación teórica de sus aguas es de 3,5 años. No existen datos sobre su calidad ambiental (columna de agua, sedimento) salvo los del estudio FIP IT 96-54, que estudió durante 1996/97 este lago[12]. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada de este estudio revela en resumen lo siguiente:

- El estudio en general tiene pocas falencias, presentando solamamente una sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas debido a la falta de información.
- El lago Natri presentó altas concentraciones de clorofila a y fósforo total indicando condiciones eutróficos en 1996.
- El lago Natri recibió una sobrecarga de P (4,1-4,7 tonP/año), que fue dos veces más alta que la carga crítica estimada (2 tonP/año).

[12] León (2011) reporta valores promedios sobre amonio, nitrato y ortofosfato (~ 0,015 mgP/L en sitios control y balsas jaulas) obtenidos entre 1997 y 2008 sin específicar exactamente la cantidad de muestras, las profundidades y la ubicación de los sitios. Ya que tampoco se analizaron fósforo total, estos resultados no se consideran aqui.

B) INFAS – No se obtuvo información al respecto.

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~300 y ~2050 ton/año durante los últimos 10 años. Los aportes de P de los tres centros de cultivo fluctuaron consecuentemente entre 5 y 18 tonP/año. Se observa un aumento muy notable tanto de la producción de peces como de su carga de P estimada en los últimos dos años. El aporte de P estimado de ~11-18 tonP/año sobrepasa la carga crítica calculada (2 ton P/año) por el factor 5-9 veces.

D) MONITOREO ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

En el marco de este proyecto se realizó un muestreo de la columna de agua (4 estaciones) y del sedimento (3 estaciones). Además se realizaron mediciones de correntometría.

CORRIENTES – La forma regular del lago Natri en su morfometría, su tamaño reducido permiten estimar una efectiva mezcla de las aguas del lago En períodos de tiempo de 24 a 36 hrs. las corrientes pueden llevar a las aguas del lago de un extremo al otro.

SEDIMENTO – Generalmente, el sedimento de dos de tres centros de cultivo mostraron condiciones oxigenadas. En el centro 100427 dos de tres mediciones indican condiciones en el rango inferior permitida del potencial Redox, indicando ya condiciones “ánoxicas”. Sin embargo, la cantidad de materia orgánica fluctuó en cási todas las estaciones siendo en dos de tres estaciones relativamente alta (> 10%).

CALIDAD DE AGUA – En el capítulo 3.7.7 ya se discutió este aspecto en detalle. En resumen se puede decir:

- Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 fueron prácticamente los mismos que en 1996/97 (0,025 mgP/L) y típicos para ambientes eutróficos.

- La transparencia medida en este estudio fue en general baja y mas baja que en 1996/97. Esto es debido al carácter distrófico del lago y no a la atenuación de luz por parte de las algas.
- Sin embargo, la clorofila a en 1996/97 fue en promedio tres a cuatro veces mas alta que en primavera 2012 siendo valores indicativos para ambientes eutróficos (1996/97) y mesotróficos (2012).
- No se encontraron diferencias significativas en los parámetros tróficos en la columna de agua entre la estación de referencia y las estaciones centro de cultivo, lo que probablemente es debido a la buena mezcla de las masa de agua en el lago Natri.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS - Los valores de clorofila a tanto en la estación control y las estaciones centros de cultivo, indican condiciones mesotróficas y dentro del rango reportado en 1996/97 (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003).

Respecto al fitoplancton, se encontraron 50 especies, lo que es un numero mayor al reportado en 1996/97 97 (27 especies) (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003). Respecto a las densidades, los valores varían entre 1,4 y 13,7 x 106 cel/L siendo la estación 100437 la que presento los valores más bajos. Estos valores pueden considerarse dentro del amplio rango histórico reportado (0,5 – 6 x 106 cel/L). Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio son en parte diferentes a las de 1996/97:

Boeckella gracilipes anteriormente dominante (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003) no se encontró, tampoco *Diaphanosoma chilense*.

Domina el copepodo calanoideo *Diaptomus diabolicus.*

Se encontró adicionalmente *Daphnia sp*., que no fue reportado en 1996/97.

Por otro lado, las densidades encontradas en nuestro estudio fueron en amplio rango reportado en 1996/97, siendo muy similares entre la estación control y los centros de cultivo, lo que deja suponer la buena mezcla de la masa de agua en el lago Natri.

Respecto al cambio estructural del zooplancton, no esta claro por qué occurió.

3.7.8.2 Conclusiones y recomendaciónes

Cabe concluir que el lago Natri mostró en 2012 un nivel meso-eutrófico similar a su estado trófico en 1996/97. En consideración a lo expuesto en el capítulo 3.8.8.1 y respecto a la pregunta sobre que se recomienda acerca de la actividad acuícola en el futuro del lago Natri, se concluye lo siguiente:

El lago Natri recibe una gran sobrecarga de nutrientes por parte de la actividad acuícola que sobrepasa varias veces la carga crítica para este lago. Se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola y al contrario terminar con la actividad acuícola en este lago. Esta recomendación ya se realizó 15 años atrás en el estudio FIP IT 96-54, cuando la carga de P todavía era 3 veces menor a la actual.

3.8 LAGO CUCAO

3.8.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Cucao es - como todos los lagos de Chiloe - un lago distrófico de color café amarillento, proveniente de sustancias húmicas. Además es un lago meromíctico (no mezcla completamente) que tiene una estratificación química bajo 10-15 m de profundidad donde se ubica el monimolímnion anóxico. Tiene una superficie de 10,6 km^2 y una cuenca hidrográfica 33,2 veces mayor (Tabla 153). Su profundidad máxima y media es solamente 25 m y 12 m. Su tiempo de renovación es de ~ 0,1 años (23 días) (informe FIP-IT/96-54).

Tabla 153 Características básicas del lago Cucao.

Superficie (km^2)	10,6
Cuenca (km^2)	33,2
Relación cuenca/lago	3,1
Volumen (km^3)	0,127
Profundidad máxima (m)	25
Profundidad media (m)	12
Tiempo de renovación (años)	0,1

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 154 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Cucao. Este lago fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97 (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Los resultados de este estudio fueron además publicados por Villalobos y col. (2003).

Tabla 154 Resumen de los datos disponibles para el lago Cucao.
verde: información disponible; rojo: sin información disponible
1: UACH (1997) informe FIP-IT/96-54; 2: Villalobos et al. (2003)

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1996-1997			1, 2
Balance hídrico	1996-1997			1, 2
Calidad química agua lago	1996-1997		muestreo mensual, 0-25 m	1, 2
Calidad química agua afluentes	1996-1997		4 afluentes, muestreo mensual	1, 2
Calidad química agua efluente	1996-1997		muestreo mensual	1, 2
Cuantificación carga centros	1996-1997		Estimación teórica	1, 2
Cuantificación carga otras fuentes	1996-1997		Estimación teórica	1, 2
Balance de nutrientes	1996-1997			1, 2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1996-1997		catastro bosque	1, 2
Biología	1996-1997		Fito-, Zooplancton, producción primaria, muestreo mensual	1, 2
Calidad sedimentos	1996-1997		2 estaciones (bajo balsa jaula y control), estacional	1, 2
Correntometría	1996-1997		muestreo estacional	1, 2
Infas				
Producción peces	1995-2012			1, 2
Régimen térmico	1996-1997		0 – 25 m	1, 2

3.8.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Campos y colaboradores estudiaron en el ESTUDIO DE BALANCE DE LOS LAGOS HUILLINCO, CUCAO, NATRI, TARAHUIN Y TEPUHUEICO el lago Cucao realizando un balance de nutrientes durante un año (nov 96 – oct 97). Los resultados más importantes son los siguientes:

INGRESO DE NUTRIENTES SEGÚN USO DEL SUELO (CAPÍTULO 1)

DEFINICIÓN DE SUBCUENCAS Y USO DEL SUELO

Metodología – El uso de suelo se determino por fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías áreas escala 1:20.000, interpretación de imágenes satelitales y levantamiento de terreno. Esta información finalmente fue cartografiada y digitalizada en Autocad e ingresada Idrisi (SIG). La información se corrigió en terreno para obtener cartografía final 1:50.000.

Resultados -La tabla 155 presenta el uso de suelo en la cuenca del lago Cucao. Predominan bosque nativo (46,5%) y el renoval nativo (43,4%) que constituyen 90% del uso de suelo en la cuenca del lago Cucao.

Tabla 155 Uso de suelo en la cuenca del lago Cucao (1996).

Tipos uso de suelo	Superficie (km^2)	Peso en la cuenca(%)
Bosque nativo mixto	15,9	46,5
Renoval nativo mixto	13,9	43,4
Parque nacional Cucao	1,3	4,1
Áreas de desmontes o talas	1,9	5,9
Total	**33**	**100**

Evaluación

Se estima que la metodología aplicada fue apropiada. Los resultados obtenidos se estiman confiables.

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES Y DESCARGA POR EFLUENTE (Capitulo 2)

CARGA DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES

Metodología - El principal afluente es el canal Caldera con un caudal de ~ 52,8 m^3/s y trae las aguas del lago Huillinco. De las 11 subcuencas se determinaron mensualmente en cuatro ríos N y P, los que en combinación con la medición de los caudales permitió estimar las cargas de nutrientes ingresados al lago Cucao a través de estos afluentes. Paralelamente se calcularon en base de los

usos de suelo predominante en la cuenca con ayuda de índices de exportación de nutrientes[13] la exportación de nutrientes por subcuencas. Sin embargo, para calcular finalmente la carga de los afluentes, se usaron solamente los valores medidos y los aportes del canal Caldera que aporta > 95% de los nutrientes.

Resultados – Las concentraciones de fósforo total en los cuatro afluentes fueron en promedio anual entre 14 a 26 µg P/L con variaciones mensuales de aproximadamente el factor 2-3x (Tabla 156). Llama la atención que se midieron en cada río por lo menos un valor alto (> 30 µg P/L) (celdas naranjas).

La carga de los cuatro afluentes de las subcuencas medidas fue ~ 0,95 ton P/año, mientras la carga del principal afluente, río Caldera (promedio P total: 47 µg P/L, caudal promedio: 52,8 m^3/s) fue ~ 79,7 ton P/año. La carga total de los afluentes fue **80,7** ton P por año.

Tabla 156 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Cucao
DS: desviación estándar; celdas naranjas: valores que llaman la atención.

	Río Maquil		**Río Quilque**		**Río Curahueldo**		**Río Palpalhuén**		**Río Caldera**
	Caudal (m^3/s)	**P total (µg/l)**	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/l)**	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/l)**	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/l)**	**P total (µg/l)**
nov-96	0,220	13,6	0,332	15,1	0,210	18,5	0,635	14,9	15,1
dic-96	0,043	11,7	0,223	16,8	0,054	32,1	0,088	12,3	12,6
ene-97	0,054	8,3	0,062	26,8	0,027	23,8	0,123	19,1	14,5
feb-97	0,026	11,1	0,100	14,7	0,167	18,1	0,123	7,4	13,4
mar-97	0,062	16	0,016	20,4	0,003	44,7	0,029	12,1	14,3
abr-97	3,420	14,5	1,181	23,4	0,543	17	3,863	13,0	s.d.
may-97	1,094	42,5	0,054	56,6	0,076	27,9	0,123	32,3	17
jun-97	0,188	7,2	0,265	13,2	0,245	13,4	0,566	8,5	21,1
jul-97	1,448	12,3	0,868	12,8	0,774	17,7	0,964	20,2	16,2
ago-97	0,941	12,8	0,304	17,9	0,193	24	0,413	7,7	20,8
sep-97	0.447	7,9	0,252	15,7	0,141	20,6	0,186	7	15,7
oct-97	0,010	16,2	0,219	17,2	0,090	52,3	0,507	13,6	404
Promedio ± DS	**0,68 ± 1,04**	**14,5 ± 9,30**	**0,322 ± 0,35**	**20,9 ± 12,0**	**0,210 ± 0,23**	**25,8 ± 11,9**	**0,635 ± 1,06**	**14,0 ± 7,20**	**47 ± 108**

[13]Se usó los siguientes índices de exportación: bosque nativo: 0,29 kg P/ha*año; Bosque-pradera: 0,22 kg P/ha*año; Praderas-matorrales-ganaderia: 0,31 kg P/ha*año.

Evaluación

No existen otros datos para validar las concentraciones de PT reportados. Para el principal afluente, el río Caldera, los datos provienen del estudio del lago Huillinco (3.9.2). Sin embargo, para este lago existen problemas del balance hídrico, por lo cual existen dudas acerca del aporte real de P por parte del río Caldera (más detalles 3.9.2).

DESCARGA DE FÓSFORO A TRAVES DEL EFLUENTE

Metodología - Se determinaron mensualmente las concentraciones de fósforo en el efluente del lago Cucao, las que en combinación con la medición de caudales permitió estimar la descarga de nutrientes para cada mes.

Resultados – El caudal y las concentraciones de fósforo soluble y total del efluente del lago Cucao se presentan en la tabla 157.

Tabla 157 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente (Río Cucao) del lago Cucao.
DS: desviación estándar;. Celdas naranjas: valores que llaman la atención.

	Caudal (m^3/s)	**Efluente P total (µg/l)**		**Superficie lago P total (µg/l)**
nov-96	22,34	17,2		16
dic-96	62,42	14,9		14,9
ene-97	25,43	7,9		38,3
feb-97	71,77	13		40,4
mar-97	25,35	10,8		138
abr-97	51,71	17,4		181
may-97	29,36	25,7		74,4
jun-97	118,27	265,8		276
jul-97	177,45	765,5		383
ago-97	102,84	552,8		404
sep-97	63,40	244,5		197
oct-97	85,25	287,1		266
Promedio ± DS	**69,6 ± 46,3**	**185 ± 251**		**169 ± 139**

La descarga de P total anual fue **644,8** ton P según el informe FIP.

Evaluación

Las concentraciones de P total en el efluente fueron generalmente concordantes con las concentraciones medidas en la superficie del lago salvo durante marzo - mayo. No está claro por què esta diferencia.

Debido a los problemas relacionados con el balance hídrico (véase abajo) la determinación de la descarga tiene una gran incerteza. Nuestros re-cálculos de la descarga arrojaron un valor que es 10% mayor (719 ton P) que el reportado en el informe FIP (645 ton P). No está claro por que existe esta diferencia.

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIÓNES Y BALANCE HÍDRICO (Capítulo 3)

Metodología -Se instalaron en la zona de estudio (5 lagos en Chiloe) una red de 13 pluvimetros totalizadores y 3 pluviógrafos. Mediante el programa computacional SURFER se confeccionaron cinco mapas que muestran la distribución espacial de las precipitaciones anuales para todo la zona de estudio para cuatro períodos. Finalmente se sumaron los valores de precipitación calculados para las vertientes y sobre la superficie del lago. La pérdida de agua por evaporación desde el lago, se consideró equivalente a la registrada por una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio. La descarga del lago se determinó mediante un limnigrafo instalado en la desembocadura del lago.

Resultados – La tabla 158 presenta el balance hídrico para el lago Cucao. Se nota que el balance hídrico fue estrechamente vinculado con el aporte de la cuenca del lago Huillinco. Este lago aportó 95,7% al caudal del efluente del lago Cucao.

Además se pudo observar que el nivel del lago Cucao fue influido por las mareas, el lago Cucao experimentó una oscilación intermareal.

Tabla 158 Balance hídrico total de la cuenca del lago Cucao (10^6 m^3).

N	+	Q_h	-	Ev	-	Q_{cu}	±	Δ W	=	Evtr± Δ W_s
123,896	+	1747,337		- 5,882	-	1838,070	+	2,406	=	29,687

Dónde: N = precipitación

Qh= caudal aportado por la cuenca del lago Huillinco

Ev = evaporación desde el lago

Qcu= caudal de descarga el lago Cucao

± ∆W = variación contenido de agua del lago Cucao

Evtr±∆W = evapotranspiración y variación contenido agua edáfica

El aporte de P total por la lluvia fue 0,3 ton P/año.

Evaluación

El hecho de que el lago Cucao esté afectado por las mareas, repercute en que las estimaciones de las salidas de agua de este (y el lago Huillinco) lago tienen una gran incerteza. Esta incerteza influye finalmente el balance de nutrientes (véase abajo). La figura 205, tomada de Villalobos et al. (2003) muestra un modelo del flujo de masa de agua entre el mar y los lagos Cucao y Huillinco, tanto para el agua superficial dulce como para el agua salada.

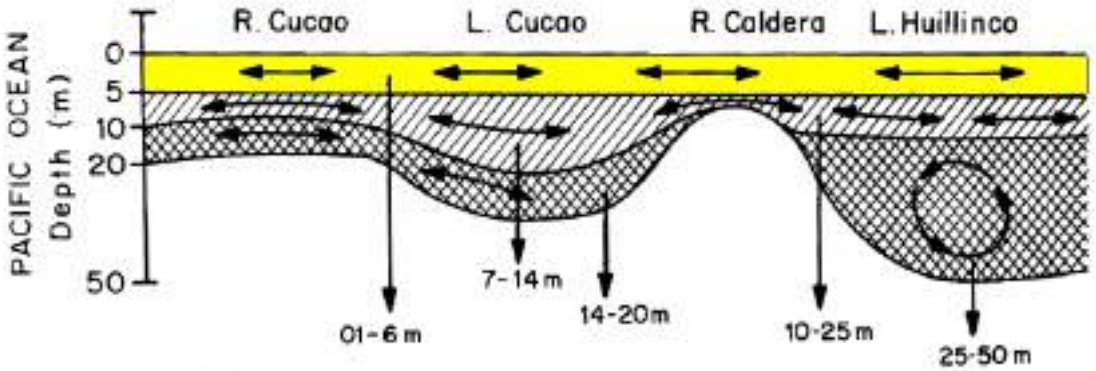


Fig. 11: Model proposed for the dynamic processes of the water in the Lake Huillinco-Cucao system.

Fig. 205 Modelo propuesto de flujo de masa de agua para los lagos Cucao y Huillinco.
Fuente: Villalobos et al. 2003, levemente modificado;. Amarillo: agua dulce.

INGRESO AL LAGO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (Capítulo4)

Metodología – Existía solamente un centro de cultivo en el lago Cucao. La metodología utilizada para estimar la carga de nutrientes por parte del centro fue la misma que la anteriormente mencionada para el lago Natri, es decir se estimó la producción de peces y los aportes de nutrientes al lago.

Resultados – Se estimó una producción de peces entre 162 y 270 ton por año y una necesidad de 292 – 486 ton de alimento al año. El ingreso de P por los cultivos se estimó a **2,3** ton/año.

Evaluación

Según información entregada por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la producción real de peces fue 1997 ~ 376 ton que es 1,5-2 veces mayor que la estimada en el informe FIP. Según nuestro cálculo el aporte de P debe haber sido ~ 3,35 ton P por año (véase 3.8.3).

CONTENIDO DE P EN EL LAGO (CAPÍTULO 5)

Metodología - El contenido de fósforo se determinó mensualmente en la columna de agua en la estación central del lago Cucao en tres estratos (0,1 m, 7-10 m, 14-20 m) y en una muestra integrada obtenida en tres profundidades (superficie, medio, fondo) el sector de balsas-jaulas.

Resultados – Este lago es meromíctico debido al ingreso de agua salada en profundidades bajo 7-10 m. Esto significó un aumento de P con la profundidad, especialmente la segunda mitad del año 1997. Los valores de P en general son muy altos y típicos para lagos potencialmente hipereutróficos (Tabla 159) [14]. Llama la atención un valor extremadamente alto (28492 µgP/L) durante abril en la estación Balsas-jaulas.

El contenido total de P (promedio) en el lago Cucao fue 27 ton P.

[14]Sin embargo, en este lago los valores de clorofila a siempre fueron bajos y típicos para lagos todavía oligotróficos (< 5 µg/L) debido a la limitación por luz y probablemente también a la poca biodisponibilidad de fósforo para las algas..

Tabla 159 P total en la estación central y estación balsas en el lago Cucao. Celdas naranjas: valores que llaman la atención. Celda roja: valor extremo

	Estación centro P total (µg/l)			Estación Balsas P total (µg/l)
	0,1 m	**7-10 m**	**14-20 m**	
nov-96	16	36,2	72,3	23,4
dic-96	14,9	99,9	559,2	48,9
ene-97	38,3	78,7	89,3	63,8
feb-97	40,4	40,4	102,1	168
mar-97	138	213	74,4	712
abr-97	181	276	457	28492
may-97	74,4	21,3	149	245
jun-97	276	223	340	468
jul-97	383	361	404	447
ago-97	404	446	478	436
sep-97	197	266	340	266
oct-97	266	372	499	521
Promedio ± DS	**169 ± 139**	**203 ± 146**	**297 ± 187**	**2658 ± 7792**

Evaluación

No existen otros datos sobre este lago, por lo cual no se puede comparar o validar las mediciones realizadas. Sin embargo, los datos son comparables con los datos reportados para el lago Huillinco en 1997 y en 2012 (este estudio), que es un lago con similares características. No se puede verificar bien como se calculó el contenido de P en la columna del lago.

Respecto a la toma de muestras en la columna de agua, la toma de solamente tres muestras es insuficiente para describir adecuadamente el perfil vertical de P en este lago. Consecuentemente el cálculo del contenido total de P en el lago conlleva una incerteza.

BALANCE DE NUTRIENTES Y CARGA CRÍTICA (CAPÍTULO 8 Y 9)

Metodología - Se calculó la carga de fósforo como suma de los aportes de las cuencas individuales más las fuentes localizadas sgún la fórmula de Ryding & Rast (1992):

$$L = L_T + L_{SD} + L_{DD} + L_A + L_G + L_S$$

Dónde: L_T= carga de afluentes

L_{SD} = carga directa de aguas residenciales

L_{DD} = carga difusa (no se calcuó)

L_A = aporte por lluvia

L_G = carga centros acuícolas

LS = liberación de los sedimentos

El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out}= descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int}= carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP= diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga L_{ext} se sumaron las cargas de los afluentes, de los centros acuícolas, de la precipitación y de la carga directa de aguas residuales. Esta última se determinó a través de una recopilación de antecedentes sobre la cantidad de habitantes en la zona y estimación de su descarga de P al lago. La descarga se calculó como se describió anteriormente.

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

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

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media y el tiempo de renovación teórica del lago.

Resultados -En la tabla 160 se presentan el resumen de las cargas externas y de la salida de fósforo total del lago Natri durante un año. Las cargas externas total fueron 645,3 ton P siendo la carga proveniente del río Caldera lejos la mas grande. La carga de los centros acuícolas fue en comparación insignificante. .

Tabla 160 Resumen de las cargas de P total del lago Cucao durante un año (nov 96-oct 97).
Se presenta datos del informe FIP y recalculados por este consultor. Azul: valores corregidos

	Cargas de P (ton P/año)		
	Informe FIP		**Recalculadas**
Afluentes (L_{ext})	80,7		80,7
Aguas Residuales (L_{ext})	0,47		0,47
Agua Lluvia (L_{ext})	0,27		0,27
Centros de Cultivo (L_{ext})	2,3		3,35
Liberación de sedimentos (L_{int})	561,5		560,5
Total cargas	**645,3**		**645,3**

La carga crítica fue calculada a **21** ton P.

El balance de P arrojó que la mayor parte (~ 84%) de la carga total corresponde a la carga interna (positiva) (Tabla 161).

Tabla 161 Balance de P total para el lago Cucao según informe FIP y datos recalculados. Azul: valores corregidos

	ton P/año		
	Informe FIP		**Recalculado**
L_{int}	+ 561,5		+ 560,5
Carga de P Lext.	83,6		84,79
Salida efluente (L_{out})	644,8		644,8
± TP en lago	0,52		0,52
Contenido P en lago	27,6		27,6

Evaluación balance de fósforo total

El balance de P para este lago no es confiable, porque el balance hídrico es muy cuestionable. La influencia mareal influye significativamente sobre el balance hídrico y debe ser considerado adecuadamente.

Otro problema está relacionado con la meromixis del lago Cucao y la carga interna. Esta última es solamente calculada conociendo los restantes

parámetros del balance hídrico. Por la influencia mareal es posible que ingrese continuamente agua salada con mayor concentración de P, por lo cual no todo el P en el efluente tiene que corresponder a una carga interna por parte de los sedimentos del lago Cucao.

Respecto al cálculo de la carga crítica el modelo usado no es apto para un lago meromíctico, porque se desarrolló solamente para lagos holomícticos.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye que el balance de nutrientes en el lago Cucao conlleva un alto grado de incerteza debido a un balance hídrico altamente cuestionable (Tabla 162).

Tabla 162 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Cucao (1996/97).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico			No se consideró influencia mareal
Cuantificación cargas afluentes		correcta	
Cuantificación carga precipitación		correcta	
Cuantificación carga centros acuícolas		50% subestimada	
Cuantificación otras cargas		parecen correctas	
Contenido P lago		Falta de buen perfil vertical	
Descarga efluentes			No se consideró influencia mareal
Modelos utilizados		No sirven para este tipo de lago	
Balance de P			No se consideró influencia mareal

3.8.3 Producción de peces

En el lago Cucao existe una concesión otorgada, la cual corresponde al centro 100618. La producción activa promedio de este centro en el periodo 1995 - 2004 y 2005-2009 alcanza las 318 y 297 ton/año (Tabla 163). Desde 2010 no se registra producción acuícola alguna (Fig. 206). Excepcionalmente, los años 1996 y 2005 se evidencian producciones bajo las 15 ton/año.

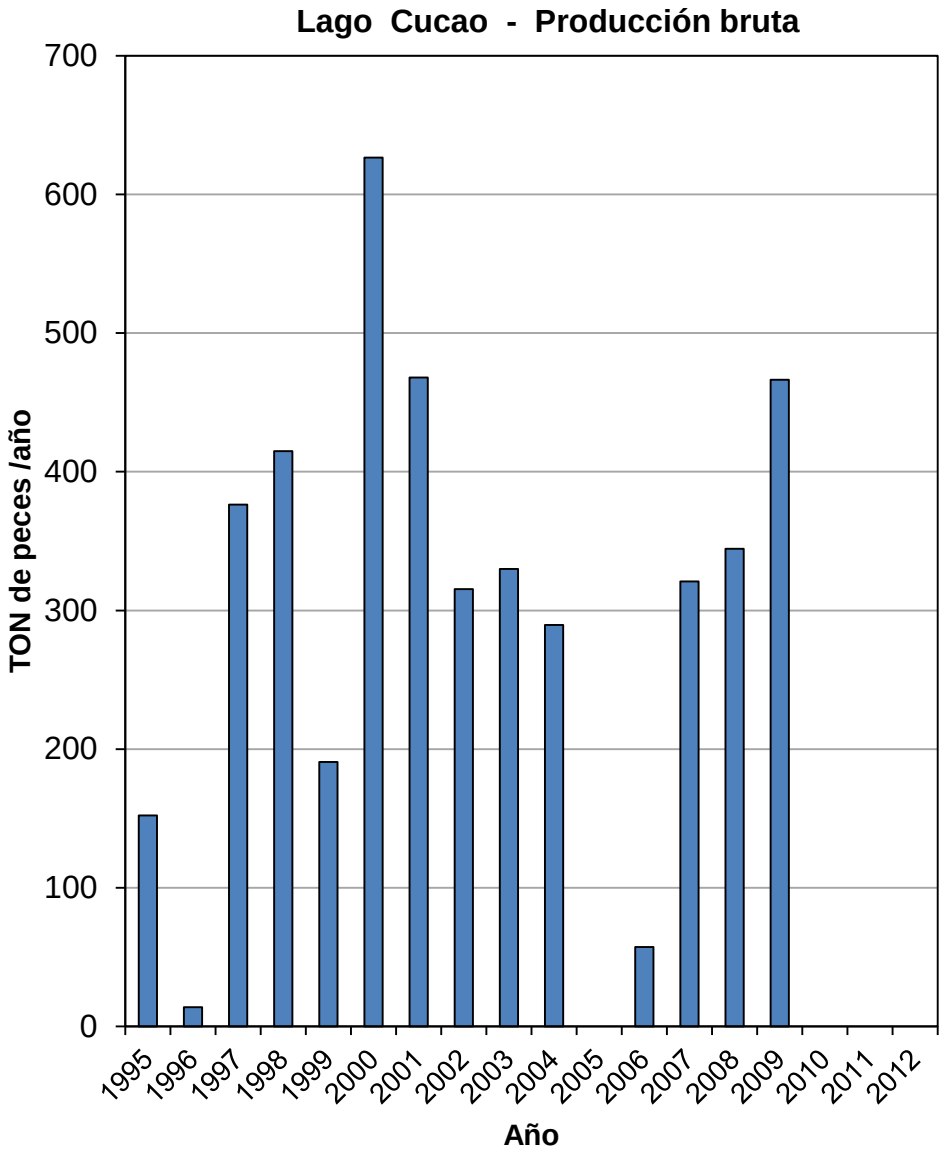


Fig. 206 Promedio de la producción bruta de salmones [ton/año] en el lago Cucao durante el período 1995 – 2012.

Tabla 163 Ubicación y promedio de la producción de salmónidos en el lago Cucao durante 1995-2004 y 2005-2009 (ton/año).
No se encontró registro de las actividades productivas desde 2010.

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2009
Sin nombre	100618	318	297

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.8.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción de los peces (Fig. 20).

El centro de producción existente en el lago Cucao (cod. 100618) aportó con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre un mínimo 0,087 ton/año (2008), y un máximo 12 ton/año (2001). En general, se evidencia un primer período (1995 – 2004) con un aporte promedio de app. 2 ton/año de P. En los años 2005, 2010-2012 no existen datos de producción (Fig. 207, Tabla 164).

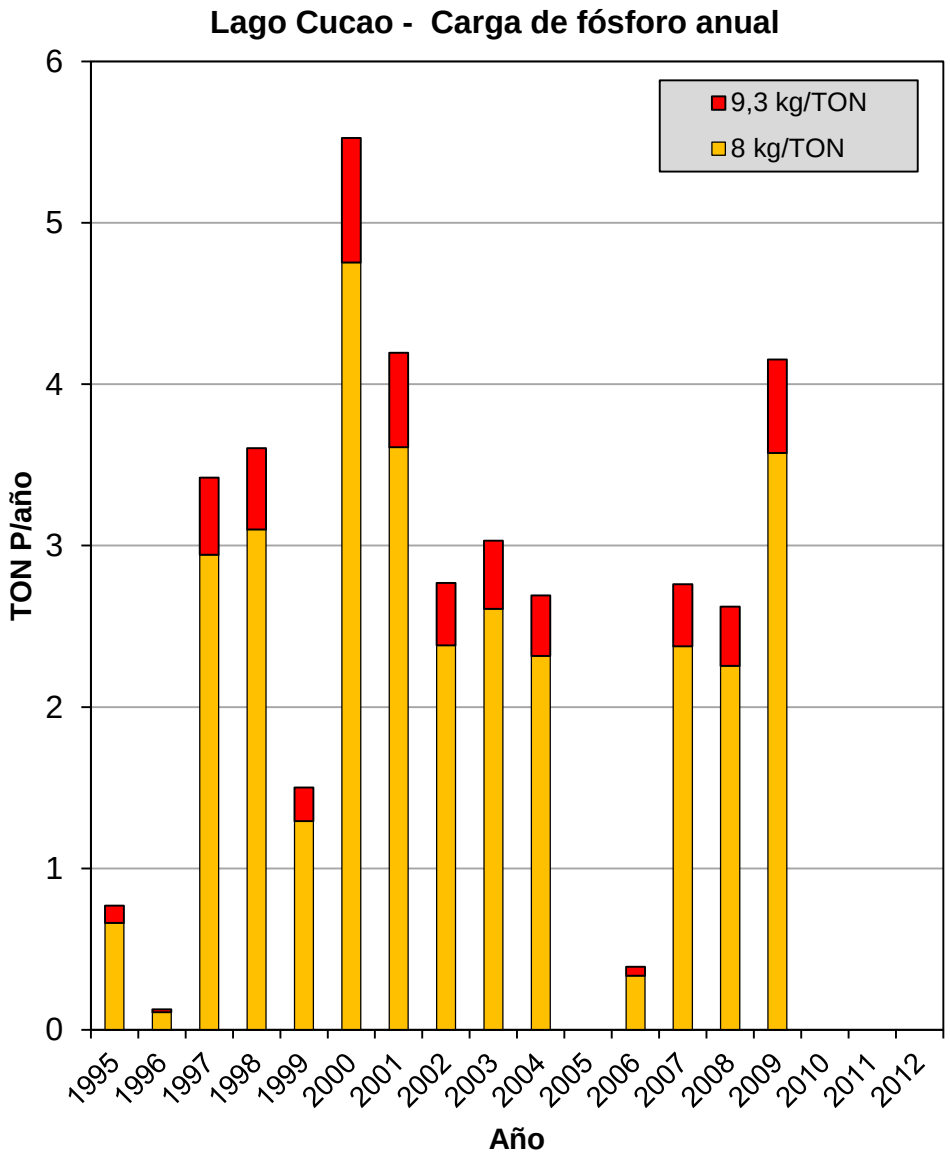


Fig. 207 Los aportes de P calculado para el lago Cucao.

Tabla 164 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Cucao durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	**100618**	
Año	MIN	MAX
1995	0,7	0,8
1996	0,1	0,1
1997	2,9	3,4
1998	3,1	3,6
1999	1,3	1,5
2000	4,8	5,5
2001	3,6	4,2
2002	2,4	2,8
2003	2,6	3,0
2004	2,3	2,7
2005	0,0	0,0
2006	0,3	0,4
2007	2,4	2,8
2008	2,3	2,6
2009	3,6	4,2
2010	0,0	0,0
2011	0,0	0,0
2012	0,0	0,0
TOTAL	**32,3**	**37,6**

3.8.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.8.6 Evaluación del estado trófico del lago Cucao

Para el lago Cucao existen datos tróficos solomente para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) (Tabla 165). Según los parámetros fósforo total y clorofila a el estado trófico del lago Cucao fue mesotrófico.

Respecto a la baja transparencia (< 4 m) estos valores son típicos para los lagos distróficos de Chiloe y no se debe ser interpretar como indicativo deun estado eutrófico.

Por falta de datos queda como una incognita el como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

Tabla 165 Evaluación del estado trófico histórico del lago Cucao (promedio ± desviación estándar). N = fechas de muestreo Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54 y Villalobos et al. 2003;

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=12)	< 4	0,016 ± 0,009	3,4 ± 3,0	1

3.8.7 Discusión

La validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos fue discutido en extenso en capítulos anteriores. Debido a esto se resume y discute en este capítulo solamente los resultados y conclusiones más relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinión respecto a la interrogante de si el lago Cucao es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA – Existe solamente un estudio sobre este lago, realizado en 1996/97 por la Universidad Austral de Chile (FIP-IT/96-54). Este consultor no obtuvo datos sobre la producción de peces , datos sobre las INFAS para la elaboración de este informe. El lago Cucao es distrófico con una alta concentración de ácidos húmicos, que disminuyen la transparencia del agua. Es de tamaño mediano en relación a los

demás lagos chilotes (10,6 km^2) con una profundidad media/máxima (12 y 25 m) baja y un volumen bajo (0,127 km^3). Este lago es parte de un sistema de lagos interconectados (con el lago Huillinco) y con el mar. La entrada de agua salada transformó este lago – al igual que al lago Huillinco – en un lago meromíctico con una capa de agua salada que impide una mezcla completa de la columna del lago hasta el fondo. Por lo tanto presenta una anoxía natural permanente en el fondo. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada en este estudio revela en resumen lo siguiente:

- Las estimaciones de las salidas de agua del lago Cucao tienen una gran incerteza, porque no se consideró la influencia mareal. Consecuentemente el balance de P para este lago no es confiable.
- Respecto a la evaluación del estado trófico, los parámetros PT y clorofila a indicaron en 1996 mesotrofía, mientras la baja transparencia (< 4 m) es típico para lagos distróficos y no debe ser interpretada como indicio para un estado eutrófico.
- La producción bruta de peces osciló entre 300-630 ton/año en el periodo 2000-2009. La carga de fósforo fue en este período aproximadamente 2,5 - 4,2 tonP/año.
- Debido a que el balance hídrico es deficiente, no se puede estimar la carga crítica. Además se debería distinguir la renovación de agua de las diferentes estratos en este lago debido a la meromixis del lago. Según el estudio de la UACH la carga interna del lago ya superó por creces la carga critica del lago.

Se concluye lo siguiente:

Respecto a la pregunta si el lago Cucao es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto para esta actividad. Se recomienda **NO** retomar la producción de peces después de abandonar la actividad acuícola en 2010 hasta la fecha. Eventualmente se debe analizar el estado ambiental del lago con muestreos de la calidad trófica de la columna de agua (y eventualmente también del sedimento) durante el período de estratificación térmica con el fin de determinar si el lago aun muestra una tendencia al aumento de trofía.

3.9 LAGO HULLINCO

3.9.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Huillinco tiene una superficie de 19,1 km^2 y una cuenca hidrográfica 27,7 veces mayor (Tabla 166). Su profundidad máxima y media es 47 m y 20,7 m. Su tiempo de renovación es ~ 0,2 años (informe FIP-IT/96-54). Es un lago meromíctico, es decir tiene una estratificación química desde las 10 m de profundidad hasta el fondo. Esta inhibe la mezcla de la columna de agua durante el invierno por lo cual este cuerpo de agua (denominado "monimolimnion") permanentemente es anóxico (informe FIP-IT/96-54; Villalobos et al. 2003).

Tabla 166 Características básicas del lago Huillinco.

Superficie (km^2)	19,1
Cuenca (km^2)	530
Relación cuenca/lago	27,7
Volumen (km^3)	0,395
Profundidad máxima (m)	47
Profundidad media (m)	20,7
Tiempo de renovación (años)	0,2

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 167 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Huillinco. Este lago fue estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97 que realizó un estudio de balance de nutrientes (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Los resultados de este estudio fueron publicados por Villalobos y col. (2003).En otro estudio de la fundación Chile se estudió además el impacto del fósforo proveniente del alimento utilizado en salmonicultura (Informe FIP 94-02; 1997).

Tabla 167 Resumen de los datos disponibles para el lago Huillinco.
verde: información disponible; rojo: sin información disponible
1: UACH (1997) informe FIP-IT/96-54; 2: Villalobos et al. (2003); 3: Fundación Chile (1997) informe FIP-IT/94-02; 4: datos entregados por Subpesca

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1996-1997			1, 2
Balance hídrico	1996-1997			1,2
Calidad química agua lago y efluente	1996-1997		mensual, 0-47 m	1,2
Calidad química agua afluentes	1996-1997		6 afluentes, muestreo mensual	1, 2
Cuantificación carga centros	1996-1997 1997		Mediciones bajo balsas Mediciones aporte P	1, 2 3
Cuantificación carga otras fuentes				
Balance de nutrientes	1996-1997			1, 2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1996-1997		Elaboración propia	1, 2
Biología	1996-1997		Fito-, Zooplancton, producción primaria, muestreo mensual	1,2
Calidad sedimentos	1996-1997 1997		2 estaciones (bajo balsa jaula y control), estacional Mediciones aporte P	1, 2 3
Correntometría	1996-1997		estacional	1, 2
Infas	2010-2012			4
Producción peces	1995-2012			4
Régimen térmico	1996-1997		0 – 47 m	1, 2

3.9.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Campos y colaboradores estudiaron en detalle en el ESTUDIO DE BALANCE DE LOS LAGOS HUILLINCO, CUCAO, NATRI, TARAHUIN Y TEPUHUEICO realizando un balance de nutrientes durante un año (nov 96 – oct 97). Los resultados más importantes respecto del lago Huillinco son los siguientes:

INGRESO DE NUTRIENTES SEGÚN USO DEL SUELO (CAPÍTULO 1)

Metodología -El uso de suelo se determinopor fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías áreas escala 1:20.000, interpretación de imágenes satelitales y levantamiento de terreno.Esta información finalmente fue cartografiada y digitalizada en Autocad e ingresada Idrisi (SIG). La información se corrigió en terreno para obtener cartografía final 1:50.000.

Resultados –De acuerdo con la tabla 168 las principales subcuencas de los ríos Notue, Bravo, Trainel y Hullinco representan 88,6 % de la cuenca completa del lago Huillinco.

Tabla 168 Principales subcuencas de un total de 15 que drenan al lago Hullinco.

	Superficie (km^2)	**Peso en la cuenca (%)**	**Longitud (km)**
Río Notue	220,8	43	22,4
Río Bravo	167,7	32	13,7
Río Trainel	59,5	11	11,1
Río Huillinco	14	2,6	8,2

La tabla 169 y la figura 208 presentan el uso de suelo en la cuenca. Predominan bosque nativo (54,9%), el renoval nativo (20,4%) y praderas (20,5%) que constituyen ~ 95% del uso de suelo en la cuenca.

Tabla 169 Uso de suelo en la cuenca del lago Hullinco.

Tipos uso de suelo	**Superficie (km^2)**	**Peso en la cuenca(%)**
Bosque nativo mixto	290,6	54,9
Renoval nativo mixto	107,9	20,4
Areas de humedales	13,5	2,5
Areas de desmontes o talas	4,2	0,8
Praderas naturales y mejoradas	108,5	20,5
Cultivos de chacarería	4,4	0,8
Habitacional concentrado	0,2	0,03
Total	**529,1**	**100**

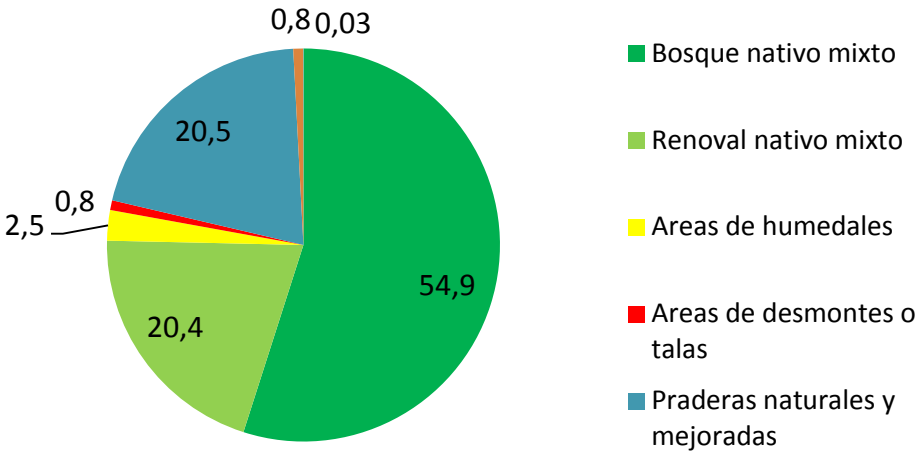


Fig. 208 Uso de suelo (%) en la cuenca del lago Huillinco (1996)

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES Y DESCARGA POR EFLUENTE (Capitulo 2)

Metodología - Similar a la metodología antes mencionada para los lagos Natri y Cucao. Se muestrearon cuatro afluentes mensualmente determinando las concentraciones de N y P, los que en combinación con la medición de los caudales permitió estimar las cargas de estos afluentes al lago Huillinco.

Por otro lado se midieron en 6 microcuencas caudal y nutrientes para obtener índices de exportación de nutrientes. Con éstos se calcularon en base del análisis de uso de suelo la exportación de nutrientes para cada una de las 15 subcuencas de la cuenca del lago Huillinco.

Resultados – Las concentraciones de fósforo total en los cuatro afluentes fueron en promedio anual entre 18 a 64 µg P/L con variaciones mensuales de aproximadamente el factor 3-4x (Tabla 170).

La carga total de los cuatro afluentes fue 30,6 ton P/año.

Evaluación

No existen otros datos para validar las concentraciones de PT reportados. Están en el rango reportado para otros lagos chilotes.

Tabla 170 Caudal y concentraciones de P total en principales afluentes del lago Huillinco.

	Río Notue		**Río Bravo**		**Río Trainel**		**Río Huillinco**	
	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)
nov-96	18,297	22,5	17,496	17,7	0,446	70,8	0,197	97,6
dic-96	19,680	38,1	8,622	5,5	0,633	28,3	0,459	52,7
ene-97	7,365	21,5	4,886	11,3	0,631	85,8	0,193	90,4
feb-97	9,843	25,1	15,608	14,3	1,154	92,9	0,248	76,6
mar-97	0,319	48,7	1,093	18,7	0,719	109,5	0,157	103,6
abr-97	18,927	29,3	35,195	22,5	4,472	73,1	1,606	64,9
may-97	0,786	20,4	10,117	51,2	2,565	74,4	0,499	90,6
jun-97	19,186	32,1	18,298	18,9	4,812	39,6	0,668	33
jul-97	48,475	16,6	40,327	13,2	6,221	35,7	1,981	32,1
ago-97	55,940	20,8	29,089	14,3	2,186	63,6	0,471	44,7
sep-97	6,848	14,7	10,841	14,7	1,949	46,8	0,550	36,4
oct-97	13,896	17,9	18,380	14,7	2,775	51,2	0,632	43,8
Promedio ± DS	**18,3± 17,3**	**25,6 ± 9,9**	**17,5 ± 12,0**	**18,1 ± 11,3**	**2,4 ± 1,9**	**64,3 ± 24,8**	**0,6 ± 0,6**	**63,9 ± 26,8**

DESCARGA DE FÓSFORO A TRAVES DEL EFLUENTE

Metodología -Se determinaron mensualmente las concentraciones de fósforo en el efluente del lago Huillinco, los que en combinación con la medición de caudales permitió estimar la descarga de nutrientes.

Resultados –Las concentraciones de fósforo total del efluente del lago Huillinco se presentan en la tabla 171.

Evaluación

Las concentraciones de P medido en el efluente difieren considerablemente de las concentraciones de P en el lago, lo que no se explica satisfactoriamente.

Debido a los problemas relacionados con el balance hídrico (véase abajo) la determinación de la descarga tiene una gran incerteza. En el informe tampoco aparecen las mediciones mensuales del caudal.

Tabla 171 Caudal P total en efluente (Río Caldera) del lago Hullinco (DS: desviación estándar). Naranja: valores que llaman la atención.

	Caudal (m^3/s)	**Efluente P total (µg/l)**		**Superficie lago P total (µg/l)**
nov-96		15,1		14,5
dic-96		12,6		16,6
ene-97		14,5		10,2
feb-97		13,4		5,4
mar-97		14,3		36,3
abr-97				18,7
may-97		17		74,4
jun-97		21,1		393,4
jul-97		16,2		404
ago-97		20,8		329,6
sep-97		15,7		159,5
oct-97		404		372,1
Promedio ± DS		**47 ± 107**		**153 ± 170**

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIÓNES Y BALANCE HÍDRICO (CAPÍTULO 3)

Metodología -Se instalaron en la zona de estudio (5 lagos en Chiloe) una red de 13 pluvimetros totalizadores y 3 pluviógrafos. Mediante el programa computacional SURFER se confecionaron cinco mapas que muestran la distribución espacial de las precipitaciones anuales para todo la zona de estudio para cuatro períodos. Finalmente se sumaron los valores de precipitación calculados para las vertientes y sobre la superficie del lago. La

pérdida de agua por evaporación desde el lago, se consideró equivalente a la registrada por una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio. La descarga del lago se determinó mediante un limnigrafo instalado en la desembocadura del lago.

RESULTADOS – La tabla 172 presenta el balance hídrico para el lago Huillinco. El balance hídrico del lago Huillinco fue estrechamente vinculado con el aporte de las cuencas de los lagos Tepuheico y Tarahuin, que aportaron 30,7% y 4,7% al agua del efluente del lago Huillinco.

Similar al lago Cucao se pudo observar que el nivel del lago Huillinco fue influido por las mareas, el lago Huillinco experimentó una oscilación intermareal.

Tabla 172 Balance hídrico total de la cuenca del lago Huillinco (10^6 m^3).

PP	+	Q_{te}	+	Q_{ta}	-	Ev	-	Q_h	± ΔW	=	Evtr± Δ W_s
1538,071	+	505,826	+	77,880	-	10,598	-	1747,337	+ 3,591	=	337,433

Dónde: PP = precipitación

Qte= caudal aportado por la cuenca del lago Tepuheico

Qta= caudal aportado por la cuenca del lago Tarahuin

Ev = evaporación desde el lago

Qh= caudal de descarga el lago Huillinco

± ∆W = variación contenido de agua del lago Cucao

Evtr±∆W_S = evapotranspiración y variación contenido agua edáfica

EVALUACIÓN

El hecho de que el lago Huillinco esté afectado por las mareas,implica que las estimaciones de las salidas de agua de este lago tienen una gran incerteza. Esta incerteza influye en el balance de nutrientes (véase abajo).

INGRESO AL LAGO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (Capítulo4)

Metodología –En el lago Huillinco se encontraron 6 centros de cultivo de salmonideos. La metodología utilizada para estimar la carga de nutrientes por

parte del centro fue la misma que la anteriormente mencionada para el lago Cucao, es decir se estimó la producción de peces y los aportes de nutrientes al lago. Para este análisis se instalaron también colectores de material bajo de las balsas jaulas y análisis de pelets.

Resultados – Se estimó una producción de peces entre 780 y 1300 ton por año y una necesidad de 936 – 1560 ton de alimento al año. El ingreso de P por los cultivos se estimó en **10,9** ton/año.

Evaluación

*Según información entregado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura la producción real de peces fue 1997 720 toneladas. Según nuestro cálculo - que asume aprox. una aporte de 6,25 kg de P por tonelada de peces producida - el aporte de P debe haber sido ~**4,2** ton P/año y no 10,9 toneladas (véase 3.8.3).*

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO (CAPÍTULO 5)

Metodología - El contenido de fósforo se determinó mensualmente en la columna de agua en la estación central del lago Huillinco en tres estratos (0,1 m, 20-27 m, 40-55 m).

Resultados – Este lago es - similar al lago Cucao - meromíctico debido al ingreso de agua salada en profundidades bajo 7-10 m. Esto conlleva un aumento de P con la profundidad, especialmente el la segunda mitad del año 1997. Los valores de P en general son muy altos (metalimnion y monimolimnion) y típicos para lagos potencialmente hipereutróficos. Llaman la atención dos valores extremos durante (Tabla 173).

El contenido total de P (promedio) en el lago Huillinco fue 127 ton P.

Evaluación

No existen otros datos históricos sobre este lago, por lo cual no se pudo evaluar bien las mediciones realizadas. No obstante, los datos son comparables con los datos reportados en este estudio (3.9.6.1) para el año 2012.

Un problema importante es, que no se puede verificar exactamente como se calculó el contenido de P en la columna del lago. No esta explicado satisfactoriamente en el informe.

Tabla 173 Fósforo total (PT) en la columna del lago Hullinco.
Naranjo: valores que llaman la atención; rojo: valores extremos

	P total (µg/l)		
	0,1 m	**18-25 m**	**45-50 m**
nov-96	14,5	185	240
dic-96	16,6	93,6	255,2
ene-97	10,2	85,1	148,8
feb-97	5,4	106,3	276,4
mar-97	36,3	172,2	219
abr-97	18,7	3614,7	4188,8
may-97	74,4	329,6	669,8
jun-97	393,4	510,3	659,2
jul-97	404	446,5	659,2
ago-97	329,6	478,4	510,3
sep-97	159,5	233,9	361,5
oct-97	372,1	1020,6	584,7
Promedio ± DS	**153 ± 170**	**606 ± 983**	**731 ± 1105**

Respecto a la toma de muestras en la columna de agua, la toma de solamente tres muestras es insuficiente para describir adecuadamente el perfil vertical de P en este lago. Consecuentemente el cálculo del contenido total de P en el lago conlleva una incerteza.

BALANCE DE NUTRIENTES Y CARGA CRÍTICA (CAPÍTULO 8 Y 9)

Metodología - Se calculó la carga de fósforo como suma de los aportes de las cuencas individuales más las fuentes localizadas según la fórmula de Ryding & Rast (1992):

$$L = L_T + L_{SD} + L_{DD} + L_A + L_G + L_S$$

Dónde: L_T= carga de afluentes

L_{SD} = carga directa de aguas residenciales
L_{DD} = carga difusa (no se calcuó)
L_A = aporte por lluvia
L_G = carga centros acuícolas
LS = liberación de los sedimentos

El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out}= descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int}= carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP= diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga L_{ext} se sumaron las cargas de los afluentes, de los centros acuícolas, de la precipitación y de la carga directa de aguas residuales. Esta última se determinó a través de una recopilación de antecedentes sobre la cantidad de habitantes en la zona y estimación de su descarga de P al lago. La descarga se calculó como anteriormente descrito.
La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

$$Lc = 17 * (z/Tw)^{0,6} * z^{0,4}$$

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media y el tiempo de renovación teórica del lago.

Resultados -En la tabla 174 se presentan el resumen de las cargas externas y de la salida de fósforo total del lago Huillinco durante un año. Las cargas totales fueron 81,1 ton P incluyendo la carga interna (50% del total).

Tabla 174 Resumen de las cargas de P total del lago Huillinco durante un año (nov 96-oct 97).
Se presenta datos del informe FIP y recalculados por este consultor. Azul: valores corregidos

	Cargas de P (ton P/año)		
	Informe FIP		**Recalculada**
Afluentes (L_{ext})	30,6		30,6
Aguas Residuales (L_{ext})	0,65		0,65
Agua Lluvia (L_{ext})	1,23		1,23
Centros de Cultivo (L_{ext})	10,9		4,2
Liberación de sedimentos (L_{int})	37,7		44,4
Total cargas	**81,1**		**81,1**

El balance de P arrojó que la 50% de la carga total correspondía a la carga interna (positiva) (Tabla 175).

Tabla 175 Balance de P total para el lago Huillinco según informe FIP y datos recalculados. Azul: valores corregidos.

	ton P/año		
	Informe FIP		**Recalculada**
L_{int}	+ 37,7		+ 44,38
Carga de P Lext.	43,4		36,7
Salida efluente (L_{out})	79,9		79,9
± TP en lago	1,16		1,16
Contenido P en lago	127,2		127,2

Evaluación

Se hacen las mismas observaciones que las ya realizadas para el estudio del lago Cucao. El balance de P para este lago no es confiable, porque el balance hídrico es muy cuestionable. La influencia mareal influye significativamente sobre el balance hídrico y debe ser considerado adecuadamente.

CONCLUSION FINAL

Similar al balance del lago Cucao se concluye que el balance de nutrientes para el lago Huillinco conlleva un alto grado de incerteza debido a un balance hídrico altamente cuestionable (Tabla 176). También influye negativamente la baja resolución vertical de las determinaciones de P en el balance. Los modelos utilizados para la determinación de la carga crítica no sirven para este tipo de lago.

Tabla 176 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Huillinco (1996/97).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico			No se consideró influencia mareal
Cuantificación cargas afluentes		correcta	
Cuantificación carga precipitación		correcta	
Cuantificación carga centros acuícolas		60% sobreestimada	
Cuantificación otras cargas		parecen correctas	
Contenido P lago		Falta de buen perfil vertical	
Descarga efluentes			No se consideró influencia mareal
Modelos utilizados		No sirven para este tipo de lago	
Balance de P			No se consideró influencia mareal

3.9.3 Producción de peces

De acuerdo a los datos entregados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en el lago Huillinco se evidencian la existencia de 5 concesiones otorgadas con producción activa que alcanza en promedio 1028 (ton/año) en el período 1995-2004 y 769 (ton/año) en el período 2005-2012. Se observa una tendencia al aumento en el volumen de producción bruta entre los años 1995-2001 (máximo en 2000: 1757), el cual se atenúa entre los años 2001-2006 (2001: 1730, 2002: 1159, 2003: 1161; 2004: 670, 2005: 686, 2006: 673 ton/año), para luego

aumentar nuevamente a 1209 ton/año en el año 2008 y caer al mínimo de163 ton/año en el año 2012. La concesión de mayor volumen de producción con el 39% de la producción total de salmones de las actividades acuícolas durante 2005-2012 corresponde a la concesión N° 100617 ubicada AL OESTE DE PUNTA CONTENTOLe siguen las concesiones N° 100968 (27%), 100520(24%), 100616 (10%).(Fig. 210)

Tabla 177 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Huillinco durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**1995-2004**	**2005-2012**
ENSENADA CONTENTO	100520	317	184
ENSENADA NOTUÉ	100616	68	80
AL OESTE DE PUNTA CONTENTO	100617	281	298
AL NORTE DE RÍO BRAVO Y RÍO COIPO	100968	197	207
ENSENADA LEUQUETRO	101212	165	0
	TOTAL	**1028**	**769**

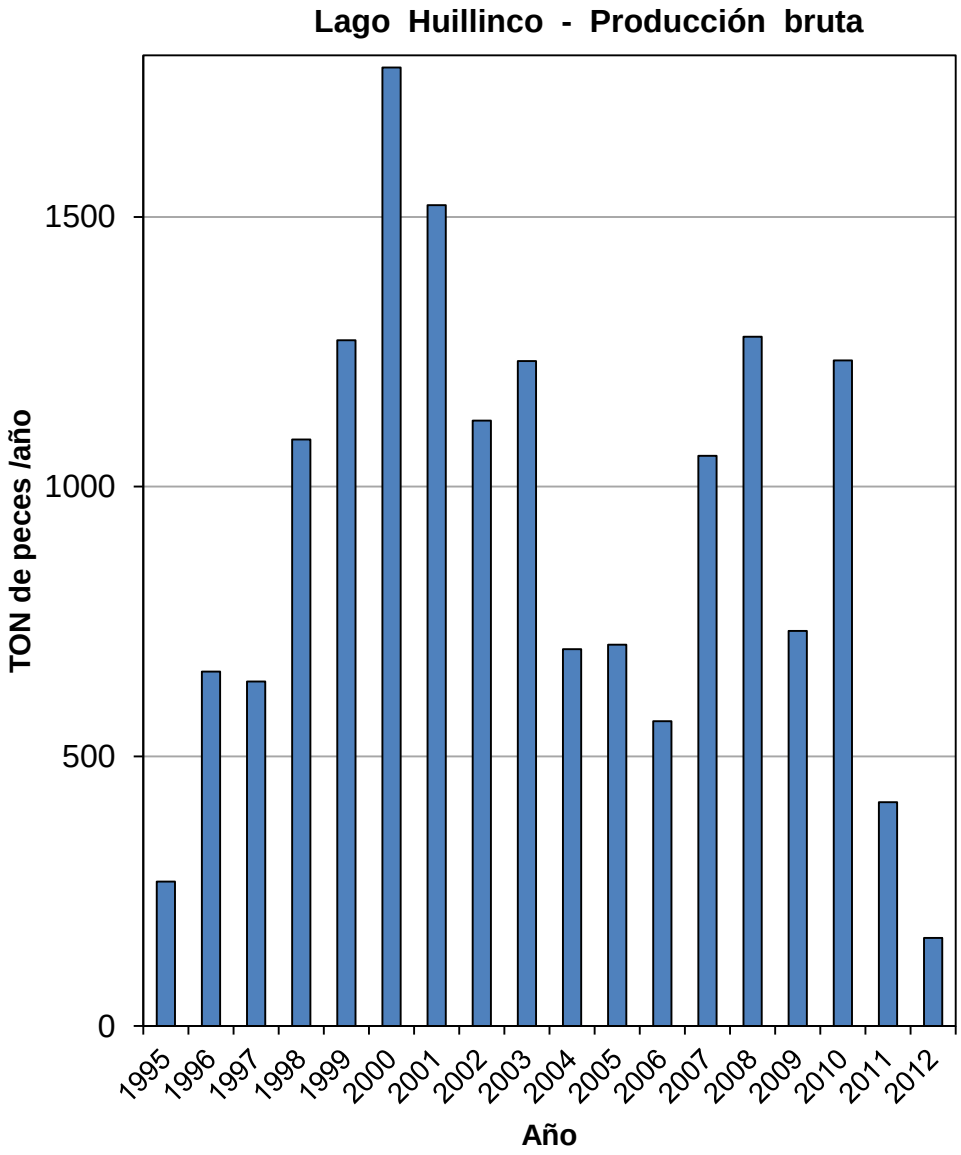


Fig. 209 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Huillinco durante el período 1995 – 2012.

La comparación de la producción anual promedio muestra una alta heterogeneidad entre centros de cultivo y un patrón propio para cada concesión.

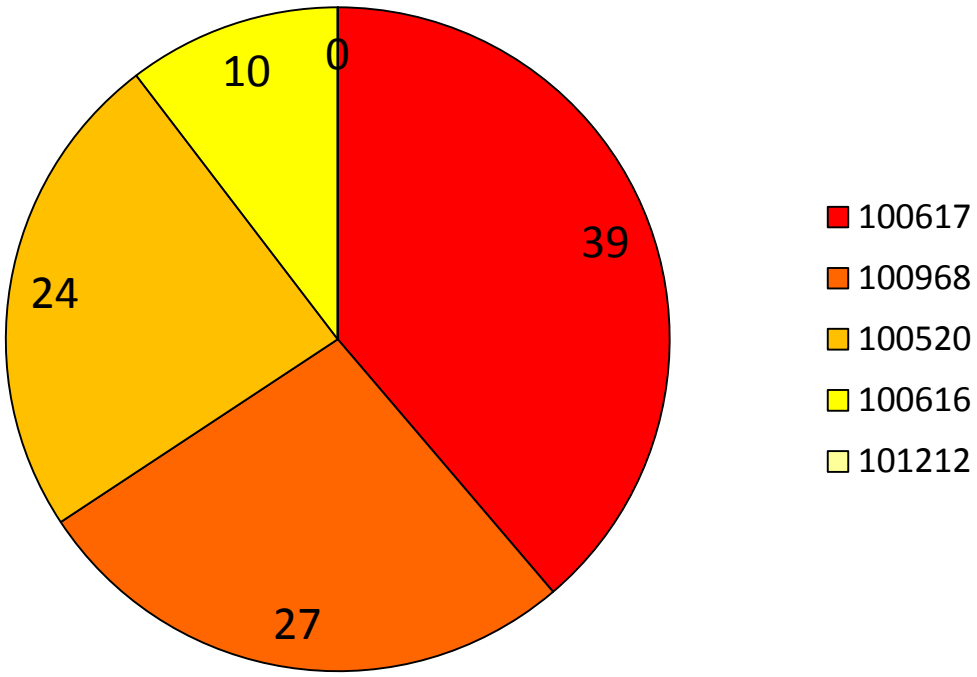


Fig. 210 Promedio porcentual de la producción acuícola por centro de cultivo en el lago Huillinco en el periodo 2005 – 2012.

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.9.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción de los peces (Fig. 211).

En el lago Huillinco durante el período analizado (1995 – 2012) la carga de P aportada por la Salmonicultura proviene de la operación de 5 centros de producción de Smolts, de acuerdo a los niveles de producción alcanzados, se puede observar que la carga de P registra un mínimo de 1,8 ton/año (1995), y un máximo de 16 ton/año durante el 2000 . Por otra parte, se puede apreciar que la tendencia temporal de los aporte de P, se incrementan progresivamente hasta alcanzar valores extremos (sobre 10 ton/año), durante los años 2000 – 2001; a partir de estos valores ocurre una disminución progresiva hasta el

2006; posteriormente, el aporte de P desde las balsas jaula, se mantuvo relativamente constante con un nivel que se mantiene en torno a las 5 ton/año.

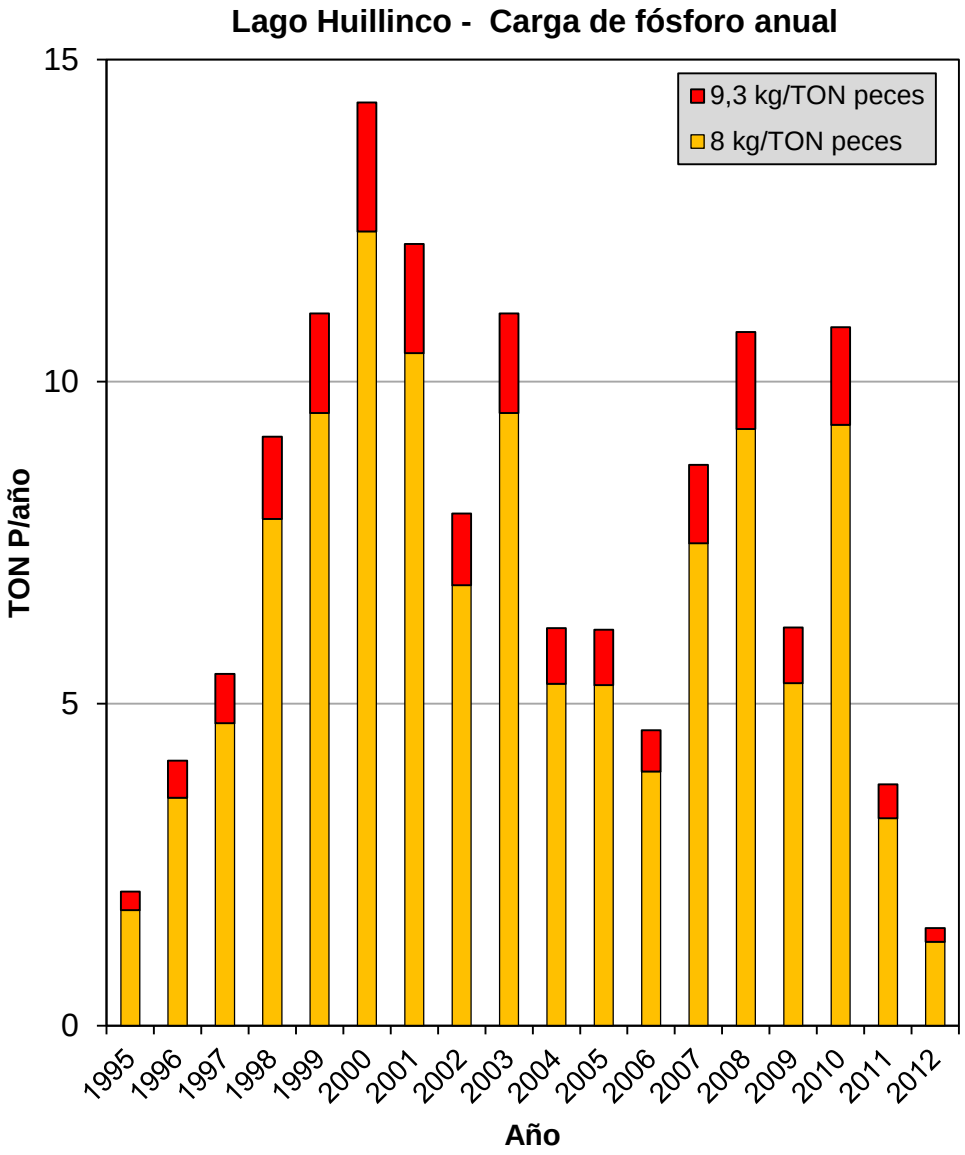


Fig. 211 Los aportes de P calculado calculados para dos escenarios en el lago Huillinco durante 1995-2012.

Los aportes de P por centro de cultivo (Tabla 178, 179)

En el lago Huillinco, durante el período estudiado (1995 – 2012) los mayores aportes de P lo realizan tres centros (100617; 100520 y 100968), pertenecientes a Salmonconcesiones; Trusal y Marine Harvest, respectivamente; los centros 100617 y 100520 son los que contribuyen en mayor medida; ya que mantiene aportes de P, con valores en torno a las 2 ton/año; mientras que el centro 100968 perteneciente a Marine Harvest, aporta con cargas de P con valores cercanos a 1 ton/año

Los menores aportes de P provienen de los centros 100212 y 100616 pertenecientes a Invertec y Salmoconcesiones, respectivamente; cabe señalar que el centro de Invertec sólo registra datos entre 1995 y 2002; en tanto que el centro de concesiones no registra operaciones entre 2004 y 2009. Espacialmente el sector que eventualmente ha recibido los mayores aporte de P, sería el sector denominado Punta Contento, debido a que allí se encuentran emplazados dos centro productivos 100520 (ensenada Contento) y 100617 (Oeste Punta Contento).

Tabla 178 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Huillinco durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
AL OESTE DE PUNTA CONTENTO	100617	39
AL NORTE DE RÍO BRAVO Y RÍO COIPO	100968	26
ENSENADA CONTENTO	100520	24
ENSENADA NOTUÉ	100616	11
ENSENADA LEUQUETRO	101212	0
	TOTAL	**100**

Tabla 179 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos. 2012: enero - septiembre

N° centro	100520		100616		100617		100968		101212		TOTAL	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	0,3	0,4	0,1	0,1	1,1	1,3	0,3	0,3	0,0	0,0	**1,8**	**2,1**
1996	1,3	1,5	0,0	0,0	0,7	0,8	0,4	0,5	1,1	1,3	**3,5**	**4,1**
1997	0,7	0,8	0,4	0,4	0,6	0,7	1,9	2,2	1,2	1,4	**4,7**	**5,5**
1998	3,4	4,0	0,7	0,9	1,0	1,2	2,5	2,9	0,2	0,2	**7,9**	**9,1**
1999	3,2	3,7	0,7	0,8	2,5	2,9	2,7	3,1	0,5	0,6	**9,5**	**11,1**
2000	4,4	5,1	2,2	2,5	2,2	2,6	0,9	1,1	2,6	3,0	**12,3**	**14,3**
2001	2,9	3,3	0,3	0,4	2,0	2,3	0,9	1,1	4,3	5,0	**10,4**	**12,1**
2002	2,7	3,1	0,0	0,0	2,3	2,6	0,8	0,9	1,1	1,3	**6,8**	**8,0**
2003	4,1	4,8	0,1	0,2	4,1	4,7	1,2	1,4	0,0	0,0	**9,5**	**11,1**
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	4,0	1,8	2,1	0,0	0,0	**5,3**	**6,2**
2005	1,5	1,7	0,0	0,0	3,2	3,7	0,6	0,7	0,0	0,0	**5,3**	**6,1**
2006	0,1	0,1	0,0	0,0	2,8	3,3	1,0	1,2	0,0	0,0	**3,9**	**4,6**
2007	2,1	2,4	0,0	0,0	3,5	4,1	1,9	2,2	0,0	0,0	**7,5**	**8,7**
2008	3,3	3,8	0,0	0,0	3,1	3,6	2,9	3,3	0,0	0,0	**9,3**	**10,8**
2009	0,9	1,1	0,0	0,0	2,7	3,1	1,7	2,0	0,0	0,0	**5,3**	**6,2**
2010	2,8	3,3	0,4	0,5	2,4	2,8	3,7	4,3	0,0	0,0	**9,3**	**10,8**
2011	0,0	0,0	3,2	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**3,2**	**3,7**
2012	0,0	0,0	1,3	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	**1,3**	**1,5**
TOTAL	**34**	**39**	**9**	**11**	**38**	**44**	**25**	**29**	**11**	**13**	**117**	**136**

3.9.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura entregó los informes de la información ambiental solamente para un centro de cultivos ubicados en el lago Huillinco para los años 2010-2012. A continuación se presenta los datos sobre fango, materia orgánica y potencial de redox evaluados:

Centro Notue 100616 Fig. 212 muestra que**:**:

Fa**ngo:** En el 2011, con excepción de E2 y E3 los porcentajes de fango fueron menores a un 15%, sin diferencias significativas con los sitios de referencia. Entre los años 2011 y 2012, hay un aumento del contenido de fango, por sobre el 40%, en todas las estaciones y sitios de referencia, con excepción de los valores reportados en el sitio de referencia 2 en el 2012, el cual presenta porcentajes de no más del 10% de fango.

Materia orgánica: Durante los años 2010 y 2011, los porcentajes de materia orgánica son bajo 10% tanto en los sitios control y estaciones de muestreo. Los porcentajes reflejan una tendencia al aumento sobre este valor de referencia durante el 2012, con excepción del sitio control 2 que está por debajo del 4% del contenido para este parámetro.

Potencial de redox: Los valores de redox fueron en general sobre los 200 mV para los años 2010 y 2011, con una clara disminución hacia 2012 en varias de las estaciones de muestreo en comparación a años anteriores y los sitios de referencia.

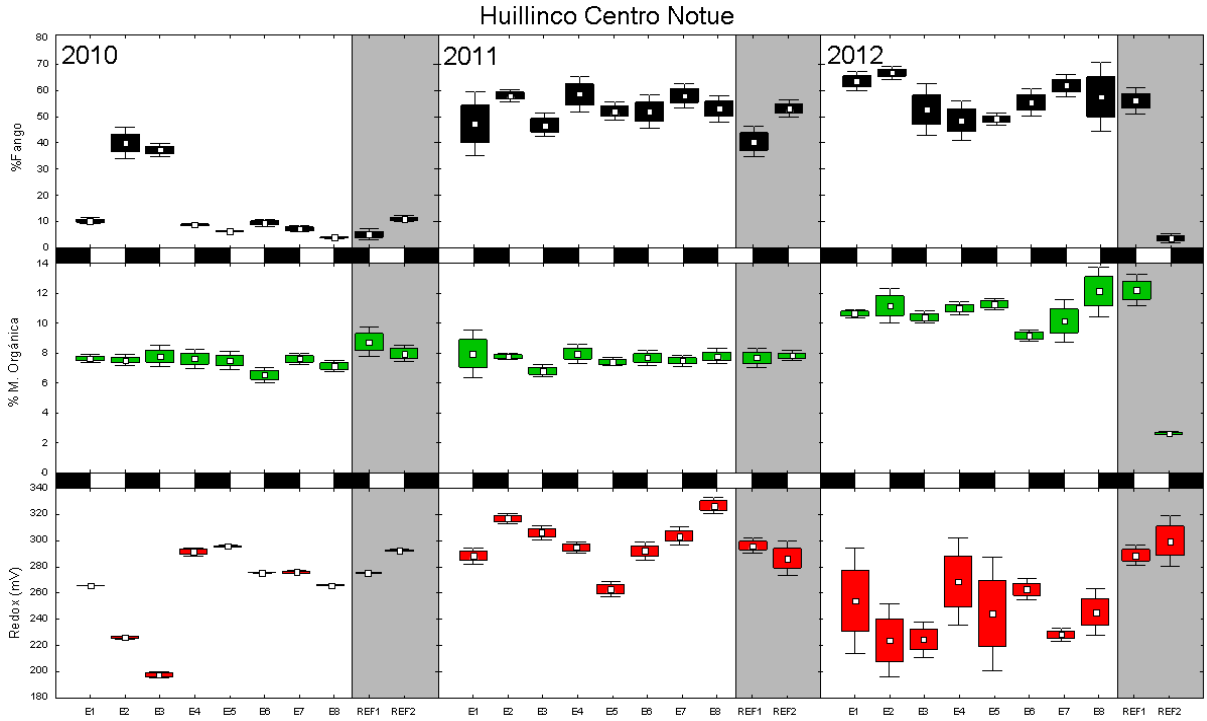


Fig. 212 Información ambiental (sedimento) del Lago Huillinco, Centro Notue 100616 (2010, 2012).

Llama la atención que los valores porcentuales de la fracción fango sean tan bajos durante el año 2010, al comparar con los años 2011 y 2012, mientras los aportes relativas de porcentajes de materia orgánica se mantienen parejos.

3.9.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.9.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

El lago Huillinco es un lago meromictico con una quimoclina en una profundidad de ~ 12 m (Fig. 213). Muestra una estratificación térmica hasta una profundidad de ~ 9 m con temperaturas epilimnéticas en el rango de 13,37 – 14,31 °C (Fig. 213). En el metalimnión baja la temperatura hasta ~ 12 C para después aumentar en el monimolimnion (20 – 40m) hasta temperaturas de 13,26 – 13,37 °C manteniéndose casi constante hasta el fondo (Anexo 3). Estos cambios de temperatura a nivel subsuperficial forman una capa que

impide la mezcla entre el estrato superficial (epilimnion) y el estrato profundo (monimolimnion.

Este perfil general de la temperatura fue similar en todas las estaciones con solamente pequeñas diferencias.

pH y CONDUCTIVIDAD

El pH en la estación central del lago Huillinco (C1) mostró valores en el rango de 7,52 – 11,20, con un promedio de 10,02 ± 1,51. En general se observaron pH de carácter neutro en superficie con un fuerte aumento entre los primeros 20m de profundidad para luego a mayores profundidades seguir aumentando levemente hasta el fondo (Anexo 3).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de pH entre 7,17 a 10,46. Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Ensenada Contento (100520) 9,25 ± 1,66; Ensenada Notué (100616) 7,51 ± 2,41; Pta. Contento (100617) 8,69 ± 1,58; Ensenada Leuquetreo (101212) 7,95 ± 0,59; Río Bravo Río Coipo (100968) 7,60 ± 0,61. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presentó similar tendencia a la observada en la estación central est. C1 .

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto la central como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron casi ninguna variación manteniéndose en valores entre los 50-53 µS/cm. No se observó diferencias entre conductividades medidas en las estaciones de los centros de cultivo respecto a la central de referencia (C1) (Anexo 3).

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en la estación central C1 del lago Huillinco mostró valores en el rango de 0,00 - 10,87 mg/L, con un promedio de 2,91 ± 4,40 mg/L (Fig. 213). Se observaron valores más altos en superficie disminuyendo rápidamente hacia los estratos de profundidad, encontrando saturación completa de oxígeno

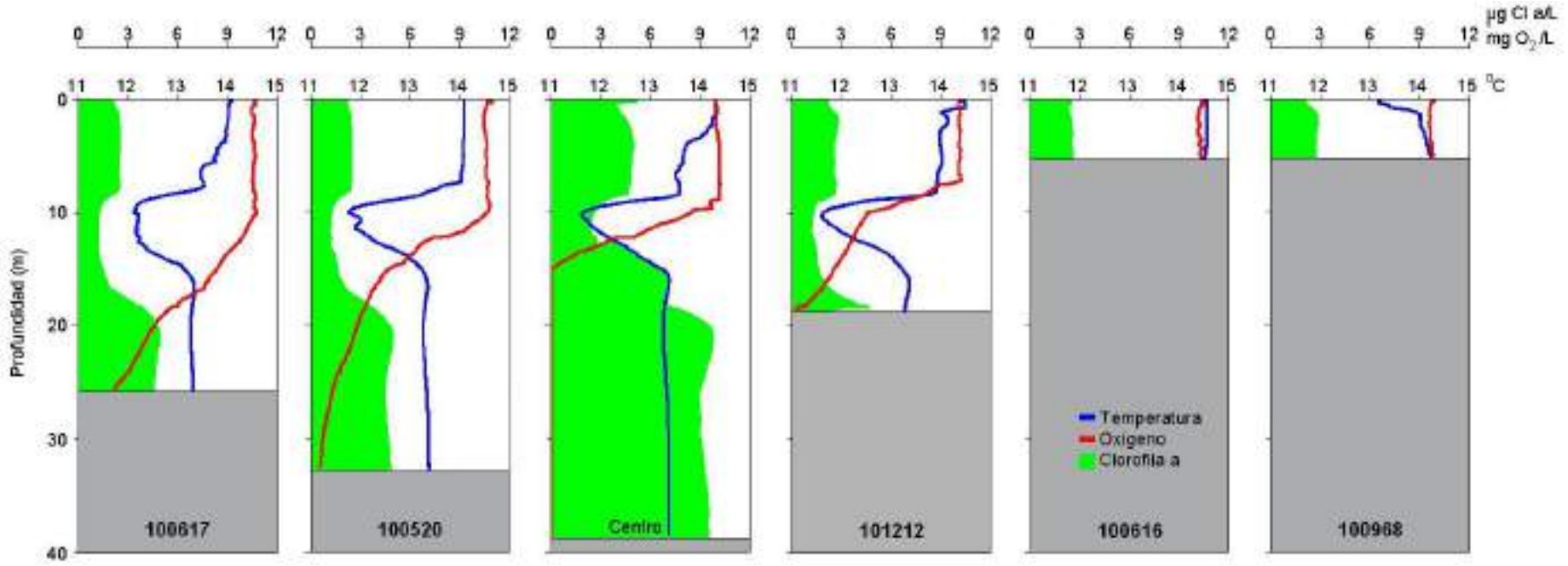


Fig. 213 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Huillinco.

solamente a nivel superficial. A partir de los 20m de profundidad se observó una capa anóxica que se extendió hasta el fondo del lago (Fig. 213).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 0,10 - 10,87 mg/L y para la saturación de oxígeno entre 0 - 106%. Los valores de oxígeno disuelto y saturación promedios en los centros de cultivo fueron muy variables y presentan una desviación estándar muy elevada debido a la presencia de la capa anóxica subsuperficial.

La distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó una tendencia similar a la observada para la estación de referencia en el centro del lago (C1) (Anexo 3, Fig. 213).

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en la estación central del lago Huillinco se observó una profundidad de disco secchi de 2,0m. La zona eufótica se extendió solamente hasta los 3,6mcon un coeficiente de atenuación (kd) de 1,269 m^{-1} (Tabla 180, Fig. 214). Debido al hecho de ser un lago húmico (alto contenido de carbono orgánico disuelto) la transparencia y la zona eufótica están reducidas, y el coeficiente de atenuación es elevado.

Ello se refleja también en la baja hasta muy baja transparencia en la cercanía de los centros de cultivo, donde se midieron valores entre 1,5 y 1,8 m de visibilidad.

Tabla 180 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Huillinco.
n.d.: no determinado

Estación	transparencia (m)	= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro C1	2	7,9	3,6	1,269
100617	2	n.d.	n.d.	n.d.
100520	2	n.d.	n.d.	n.d.

100616	1,5	n.d.	n.d.	n.d.
100968	1,8	n.d.	n.d.	n.d.
101212	1,5	n.d.	n.d.	n.d.

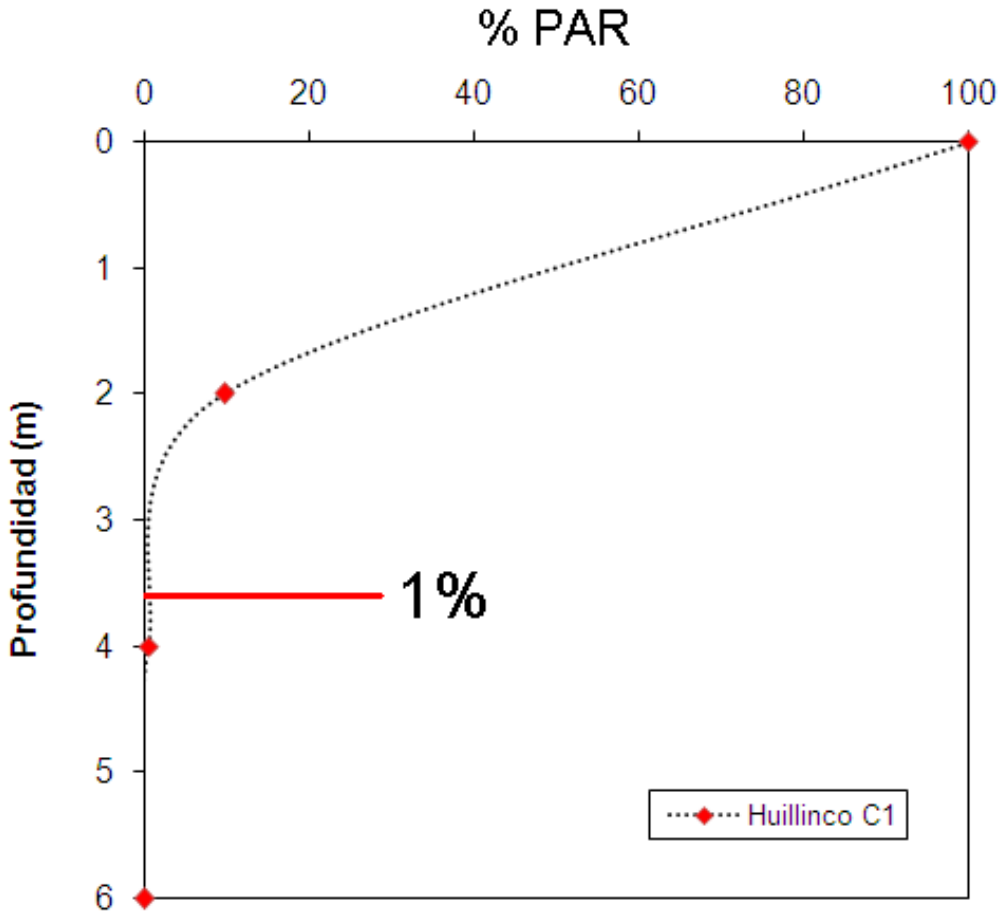


Fig. 214 Perfiles verticales de PAR y produndidad eufótica en el lago Huillinco.

NITRÓGENO

En la estación central muestreada del lago Huillinco las especies inorgánicas de nitrógeno presentaron valores elevados en comparación con los resultados de los lagos anteriores (Fig. 215, 216, Anexo 3).

En la estación central C1 el nitrito mostró valores en el rango de <0,002 – 0,0033 mg N/L, con un promedio de 0,0033 ± 0,0004 mgN/L.

El amonio presentó valores elevados en el rango de <0,002 – 0,9438 mg N/L, con un promedio de 0,5424 ± 0,02736 mgN/L.

El nitrógeno total mostró valores elevados con alta variabilidad y un máximo a los 20m de profundidad (7,5923 mgN/L),un rango de variación entre valores de 0,4015 – 7,5923 mgN/L y en promedio 3,8369 ± 3,3161 mgN/L. A su vez se observó que la mayor parte del nitrógeno contenido en los estratos más profundos estuvo compuesto por nitrógeno orgánico.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron todas para los parámetros amonio, nitrito y nitrógeno total valores similares a los obtenidos para la estación central.

Los valores de amonio, nitrito y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: **Amonio**: Ensenada Contento (100520) 0,7675 ± 0,1114 mgN/L; Ensenada Notué (100616) 0,0033 ± 0,0033 mgN/L; Pta. Contento (100617) 0,0144 ± 0,0105 mgN/L; Ensenada Leuquetreo (101212) <0,002 mgN/L; Río Bravo Río Coipo (100968) <0,002 mgN/L. **Nitrito**: Ensenada Contento (100520) <0,002 mgN/L; Ensenada Notué (100616) <0,002 mgN/L; Pta. Contento (100617) <0,0031 mgN/L Ensenada Leuquetreo (101212) <0,002 mgN/L; Río Bravo Río Coipo (100968) <0,002 mgN/L. **Nitrato:** Nitrato no se pudo medir por interferencias desconocidas **. Nitrógeno total**: Ensenada Contento (100520) 3,7754 ± 4,5712 mgN/L; Ensenada Notué (100616) 0,4831 ± 0,0506 mgN/L; Pta. Contento (100617) 2,9881 ± 3,8091 mgN/L Ensenada Leuquetreo (101212) 0,8435 ± 0,3495 mgN/L; Río Bravo Río Coipo (100968) 0,4049 ± 0,0074 mgN/L.

Comparativamente **no** se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, amonio y nitrógeno total entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Huillinco.

FÓSFORO

En la estación central muestreada del lago Huillinco las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente elevados (Fig. 215, 216).

En la estación central C1 el fósforo soluble mostró un rango de valores de <0,002 – 0,3492 mgP/Ly un promedio de 0,1689 ± 0,1547 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo.El fósforo total se mantuvo en el rango de

0,0139 – 0,3754 mgP/L y un promedio de 0,1787 ± 0,1772 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo. Se registraron valores bajos en el estrato superficial y una tendencia de aumento en las concentraciones de fósforo desde debajo del estrato superficial al fondo. En las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble se mantuvieron en el rango de <0,002 – 0,2853 mgP/L.El fósforo total presentó promedios en los centros de cultivo como sigue: Ensenada Contento (100520) 0,1409 ± 0,1657 mgP/L; Ensenada Notué (100616) 0,0119 ± 0,0002 mgP/L; Pta. Contento (100617) 0,0951 ± 0,1406 mgP/L; Ensenada Leuquetreo (101212) 0,0461 ± 0,0575 mgP/L; Río Bravo Río Coipo (100968) 0,0117 ± 0,0006 mgP/L. (Anexo 3).

Comparativamente se observan diferencias significativas entre los valores de fósforo total entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Huillinco. Incluso los centros 100616, 101212 y 100968 presentan valores de fósforo total promedios más bajos que la estacíon de referencia (Fig. 217).

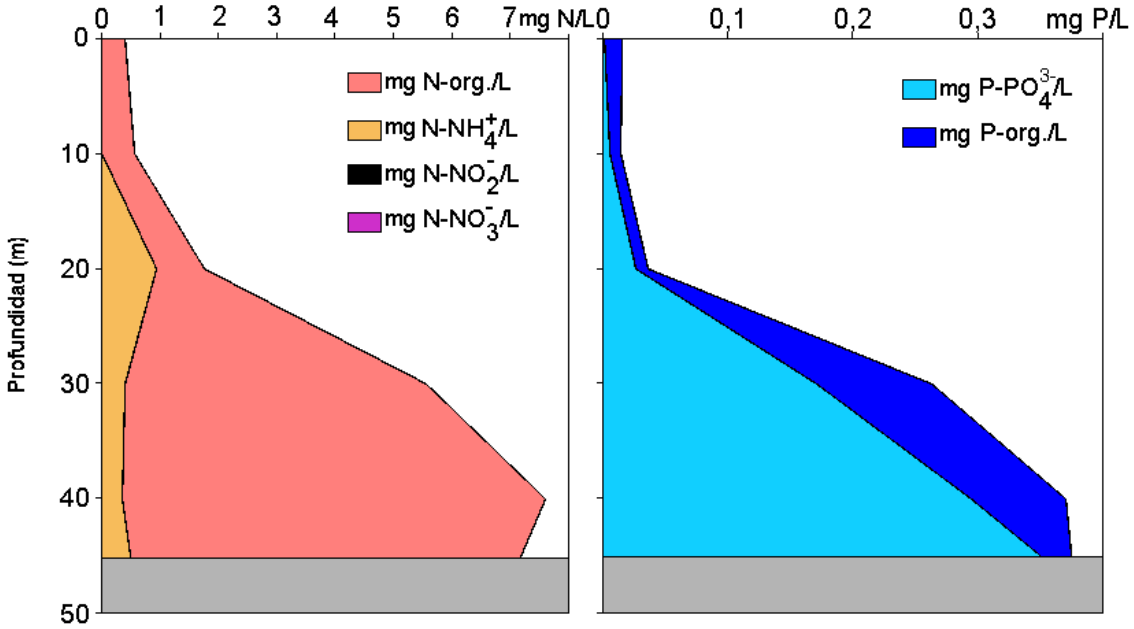


Fig. 215 Perfil vertical de nitrógeno en la estación de referencia (C1) del lago Huillinco.

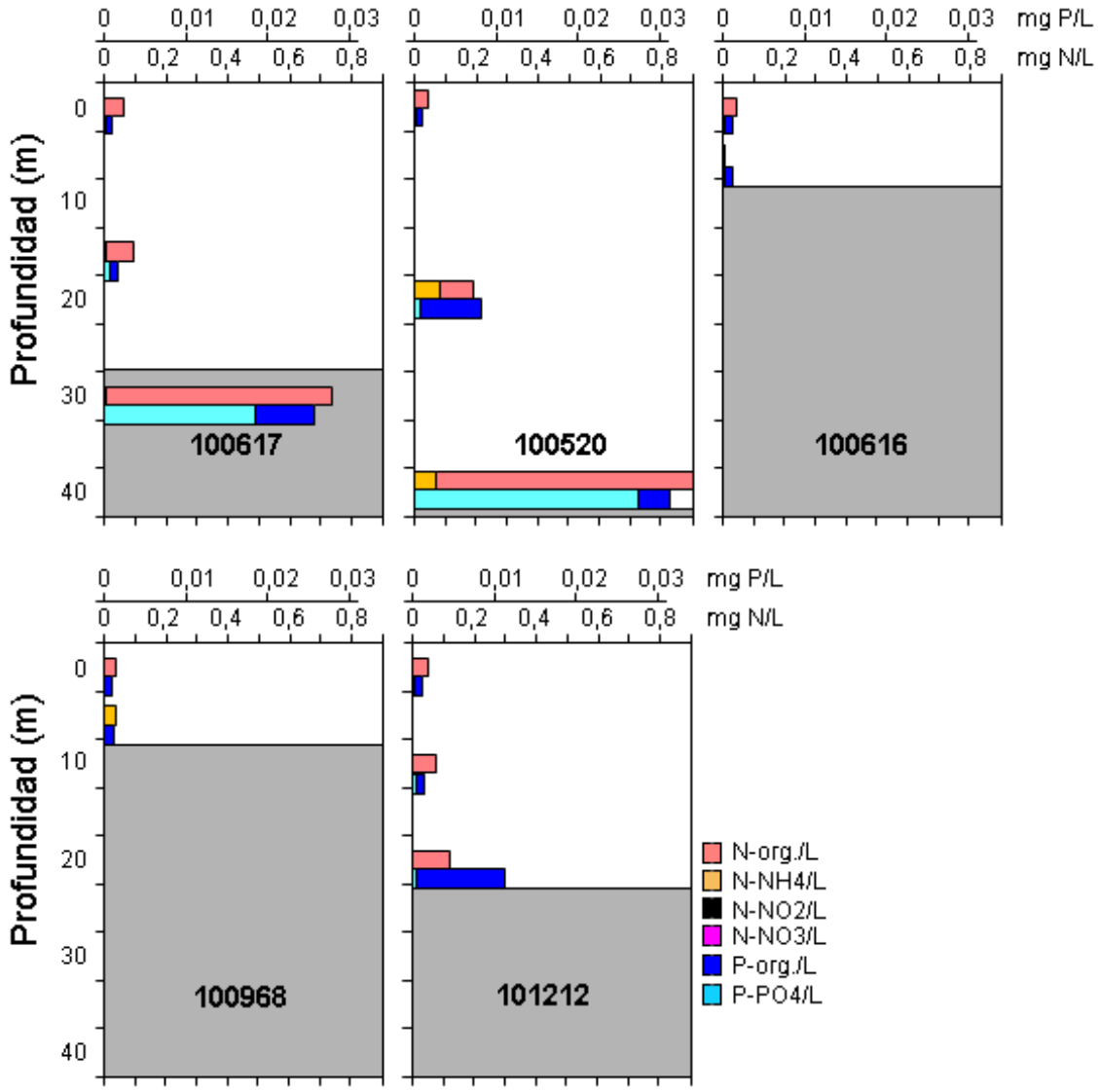


Fig. 216 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en el lago Huillinco.
Nitrato no se pudo medir por interferencias desconocidas

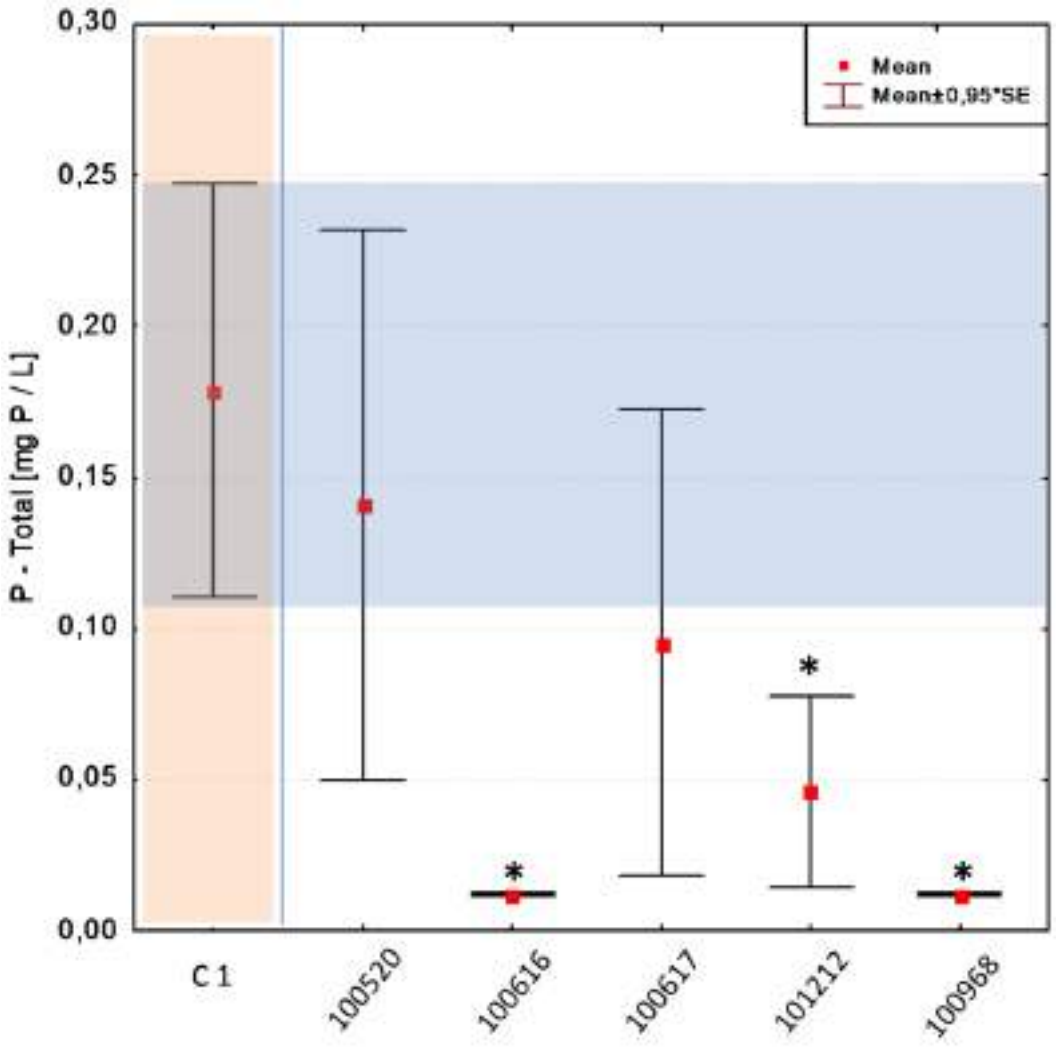


Fig. 217 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco.
Box-wiskers plot;, (* indica differencias).

3.9.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los resultados de los análisis de clorofila a para la estación central del lago Huillinco (C1) mostró valores relativamente bajos característicos para un lago todavia oligotrófico y fuertemente limitado por luz, con un rango de variación entre los 0 – 5,0 µg/L chl a y un promedio de 4,58 µg/L chl a para la estación C1 y valores entre 2,1 y 2,5 µg/L (Fig. 218). La concentración de clorofila a en

la estación central fue significativamente dos veces mayor que la de las demas estaciones.

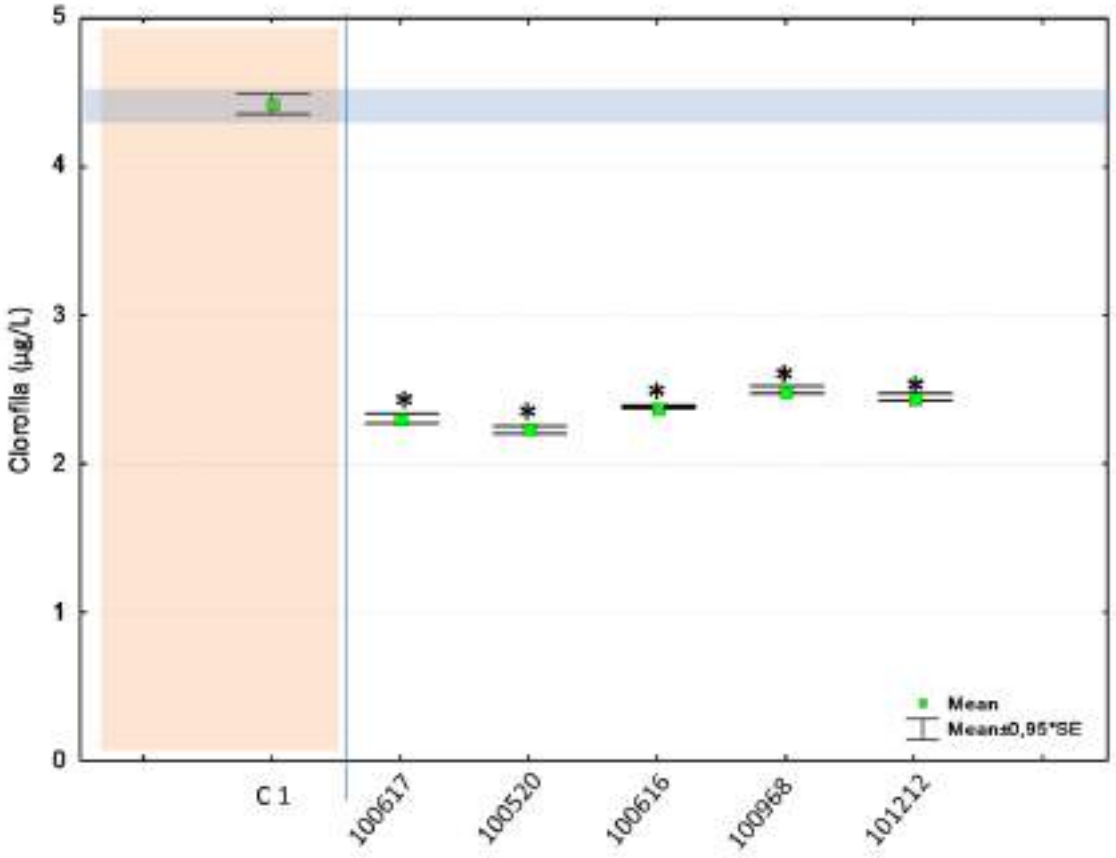


Fig. 218 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco. Box-wiskers plot. (* = diferencia significativa)

FITOPLANCTON

Para el Lago Huillinco se analizaron un total de 12 muestras de fitoplancton, 6 de ellas corresponden a cualitativas de red y 6 a muestras cuantitativas. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 10 m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 4. Los resultados aquí presentados no contemplan el picoplancton (algas < 5 µm). La densidad celular de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo varió entre 1.0 y 5.04 E+05 cel/L, figura 219. La estación de muestreo código 101212 (Ensenada Leuquetreo) fue la que presentó la mayor densidad de microalgas. En este lago se observa una gran variación en la densidad celular

de microalgas entre las estaciones de muestreo refleja una marcada heterogeneidad espacial atribuible al efecto conjunto de la hidrodinámica del sistema dominada principalmente por los vientos imperantes y la batimétrica de la cubeta lacustre. En total se registraron 43 especies de fitoplancton, de las cuales 24 corresponden a Diatomeas, 12 a Clorofíceas, 2 Crisofíceas, 1 Cianobacterias, 2 Criptofíceas y 2 Dinofíceas (mayor información ver Anexo 4). La estructura comunitaria de fitoplancton se caracterizó por una marcada co-dominancia de Clorofíceas y Criptofíceas, con abundancias conjuntas superiores al 90 % en todos los casos, figura 220 y Tabla 181. En particular *Ankistrodesmus* sp fue el taxón representante y característico de las clorófitas mientras que *Rhodomonas* sp fue el máximo representante de las Criptofíceas. Las Dinofíceas estuvieron representadas por *Ceratium hirundinela* y representantes del genero Peridinium, ambos organismos registrados en una única estación del lago (estación C1). La composición especifica del ensamble de microalgas dominantes en el lago Huillinco sugiere una condición meso-eutrófica del lago donde con compuestos de nitrógeno y fósforo disueltos no serían limitantes para el desarrollo de las clorofíceas. Las cianobacterias estuvieron pobremente representadas con valores de abundancia relativa < al 1%, siendo el género *Oscillatoria* el único registrado para este lago.

En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Chapo.

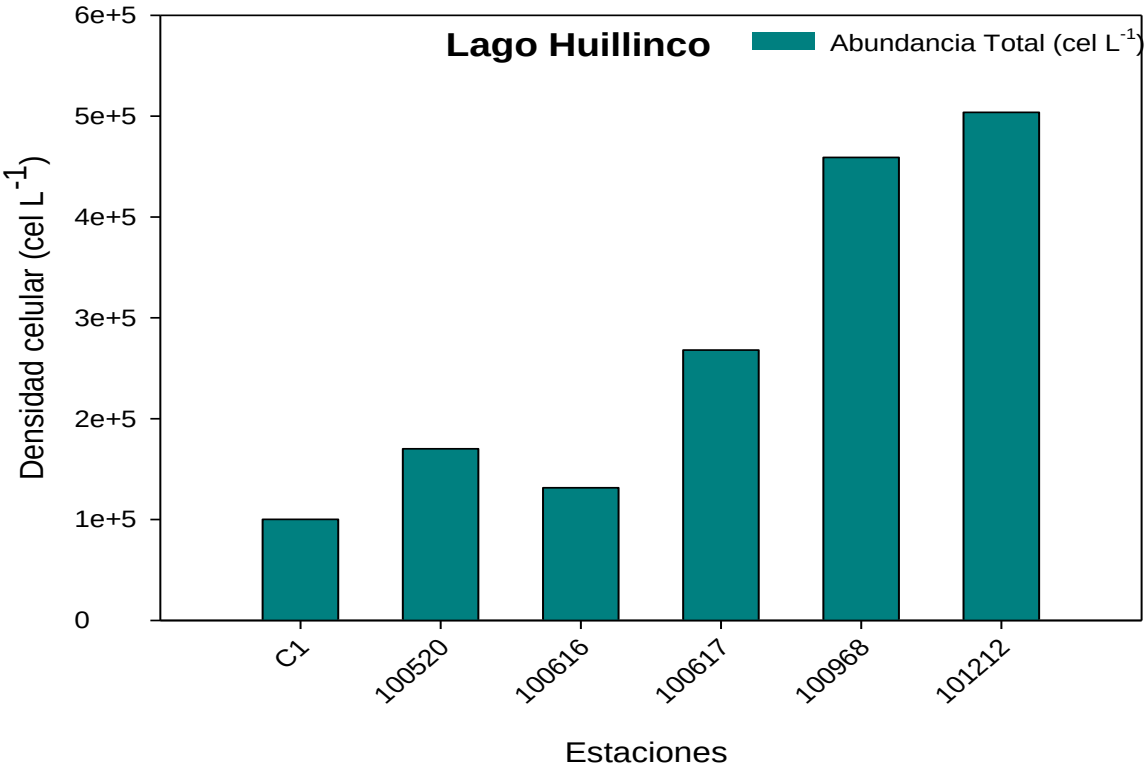


Fig. 219 Densidad celular de microalgas registradas en las 6 estaciones de muestro pelágico del lago Huillinco.

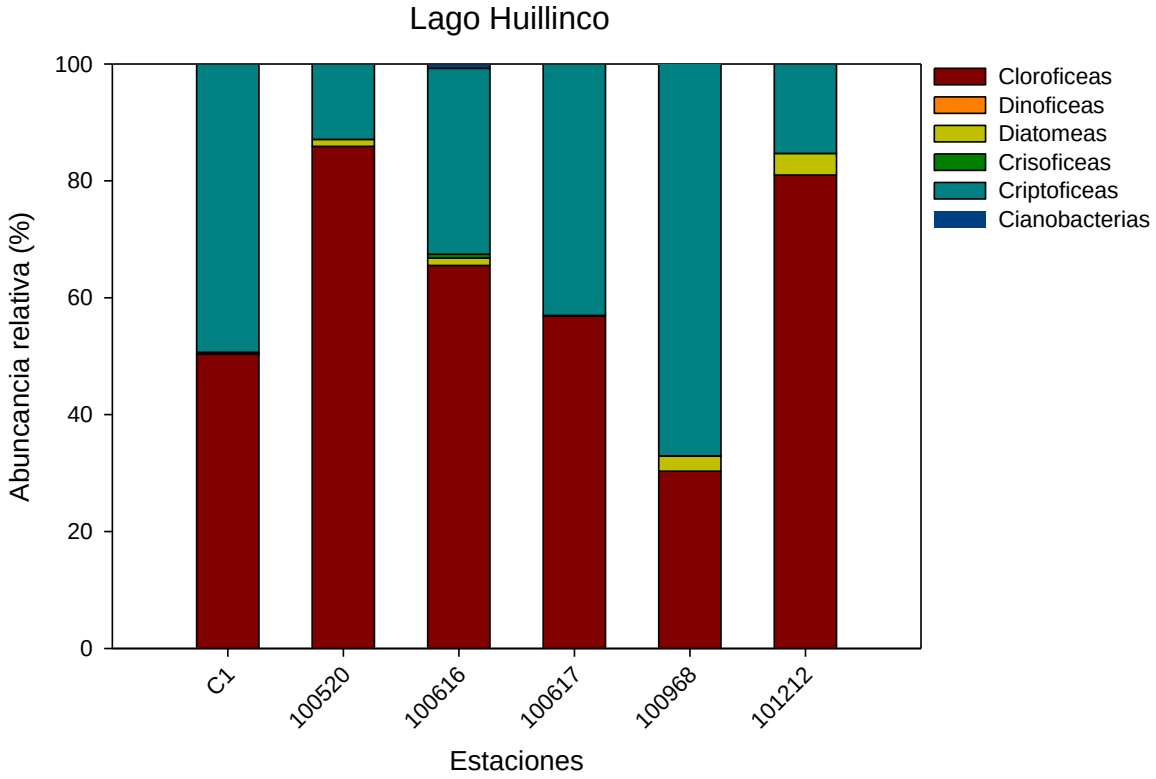


Fig. 220 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 6 estaciones del lago Huillinco.

Tabla 181 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 6 estaciones de muestreo del lago Huillinco.

Lago	Huillinco					
Estacion	***C1***	***100520***	***100616***	***100617***	***100968***	***101212***
Densidad Total (cel/L)	1.00E+05	1.70E+05	1.32E+05	2.68E+05	4.59E+05	5.04E+05
Grupo	%	%	%	%	%	%
Clorofíceas	50.4	85.9	65.5	56.9	30.3	81.0
Dinofíceas	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Diatomeas	0.2	1.2	1.3	0.1	2.6	3.7
Crisofíceas	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0
Criptofíceas	49.3	12.9	31.8	43.0	67.1	15.3
Cianobacterias	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0

ZOOPLANCTON

Para el Lago Huillinco se analizaron un total de 6 muestras cuantitativas de zooplancton. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 5 géneros representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Diaptomus diabolicus*) y a cladóceros (*Neobosmina chilensis* y *Diaphanosoma* sp.) (Tabla 182). En estos sitios se presenta una alta dominancia de nauplios y copepoditos calanoideos. No se observan copepoditos ciclopoideos con excepción del centro 100617.

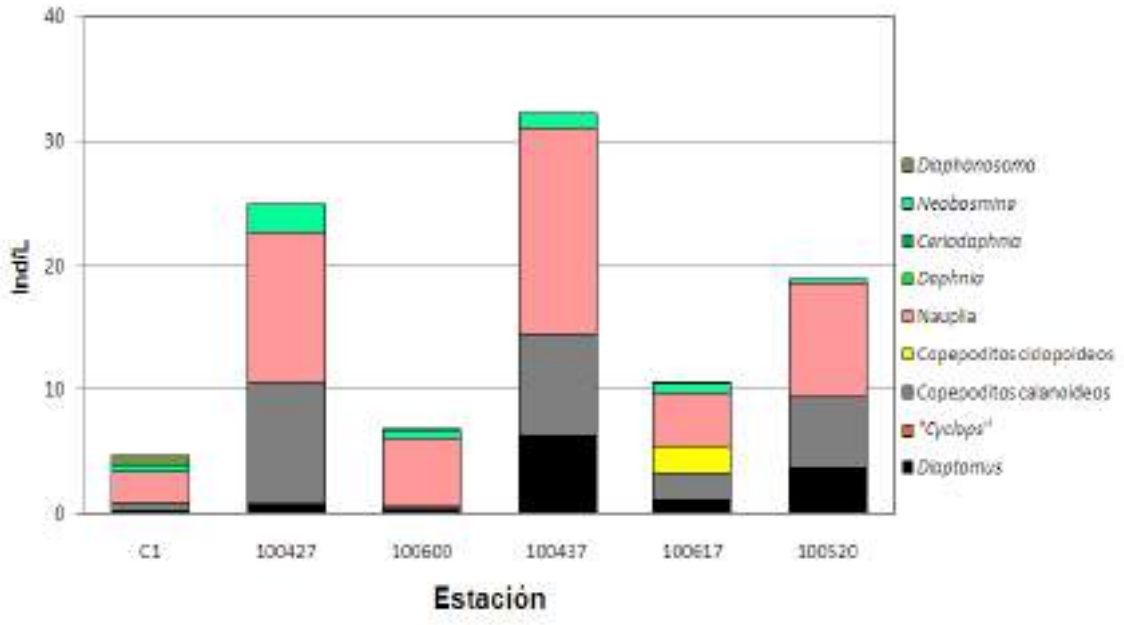


Fig. 221 Abundancia de zooplancton en el lago Huillinco durante primavera 2012.

Respecto de la comparación de abundancias entre sitios, la grafica muestra diferencias importantes entre sitios respecto del control C1. El control presento las menores abundancias de individuos 4,79 ind/L con dominancia de estadios naupliares, las mayores abundancias las presenta el centro 101212 con abundancias de 32,26 ind/L seguido del centro 100616 con 24,87 ind/L (Fig. 221).

Tabla 182 Abundancia de microcrustáceos en el lago Huillinco durante primavera 2012.

Especies/estación		**C1**	**100616**	**100968**	**101212**	**100617**	**100520**
Copépodos		09-11-12	09-11-12	09-11-12	09-11-12	09-11-12	09-11-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	0,16	0,45	0,16	3,77	0,38	1,75
	♀	0,01	0,35	0,18	1,86	0,29	0,98
	♀+H	0,14	0,13	0,06	0,72	0,58	0,95
Copepoditos calanoidos		0,64	9,77	0,26	8,14	2,05	5,80
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copépodos ciclopoideos							
"Mesocyclops" sp.	♂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Copepoditos ciclopoidos		0,00	0,00	0,00	0,00	2,14	0,00
Nauplia		2,55	12,03	5,51	16,58	4,45	9,06
Cladóceros							
Daphnia		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Neobosmina chilensis		0,39	2,14	0,63	1,20	0,72	0,38
Ceriodaphnia dubia		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Diaphanosoma		0,90	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00
Total (Ind/L)		**4,79**	**24,87**	**6,84**	**32,26**	**10,66**	**18,91**

3.9.6.3 Sedimento

En el lago Huillinco se muestrearon 5 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo Ensenada Contento (100520), Ensenada Leuquetro (101212), Centro Notué (100616), Punta Contento (101617), Río Bravo y Río Coipo (100968).

En la Tabla 183 se presenta el porcentaje promedio de las fracciones sedimentarias en el centro de cultivo Ensenada Contento, donde predominó la fracción fango en la estación 1 (70 %), la arena muy fina en la estación 2 (29 %) y la grava (31 %) en la estación 3.

Una situación muy parecida a la anterior se presentó en las cercanías el centro Ensenada Leuquetro, donde el porcentaje promedio de las fracciones sedimentarias predominante también fue la fracción de fango en la estación 1 con un valor de 69 % en los primeros 3 cm del sedimento. En las estaciones 2 y 3 predominó la fracción arena muy fina con valores de 47 y 83 %, respectivamente.

En el centro de cultivo Notué, donde se observó el predominio de la fracción de fango sólo en la estación 1 (55 %), obteniéndose los mayores aportes de arena muy fina (54 %) en la estación 2 y la arena media (41 %) en la estación 3.

En el Centro Punta Contento predominó la fracción fango en la estación 1 con el 69 %, mientras que en las estaciones 2 y 3 el mayor aporte correspondió a la fracción arena muy fina con 35 y 44 %, respectivamente.

En el centro de cultivo Río Bravo & Río Coipo predominó la fracción fango en la estación 1 (68 %). En las estaciones 2 y 3 predominó la fracción arena muy fina con el 63 %, para ambos casos.

Tabla 183 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferente estaciones en el Lago Huillinco. Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Ensenada Contento 100520					
Grava	-1	4 - 2	0.00	13.68	30.67
Arena muy gruesa	0	2 - 1	5.60	6.62	19.60
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.96	8.45	8.39
Arena media	2	0,5 - 0,25	6.82	16.26	6.65
Arena fina	3	0,25 - 0,125	5.09	16.23	7.60
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	9.64	29.09	19.57
Fango	5	< 0,063	69.89	9.67	7.51
Centro Ensenada Leuquetro 101212					
Fracción sedimentaria	**phi**	**mm**	**estación 1**	**estación 2**	**estación 3**
Grava	-1	4 - 2	0,01	7.43	1.20
Arena muy gruesa	0	2 - 1	8.27	6.45	0.14
Arena gruesa	1	1 - 0,5	3.38	5.73	1.18
Arena media	2	0,5 - 0,25	2.73	9.02	2.28
Arena fina	3	0,25 - 0,125	4.26	15.15	3.25
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	12.63	47.27	82.83
Fango	5	< 0,063	68.73	8.96	9.12
Centro Notué 100616					
Grava	-1	4 - 2	0.19	0.06	3.66
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.86	0.13	6.24
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.56	1.04	24.14
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.89	12.18	41.51
Arena fina	3	0,25 - 0,125	12.20	12.27	5.58
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	25.88	54.43	3.30
Fango	5	< 0,063	55.42	19.90	15.57

Continuación tabla 183

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Punta Contento 101617					
Grava	-1	4 - 2	0.49	0.00	4.23
Arena muy gruesa	0	2 - 1	3.64	14.19	4.36
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.44	11.87	3.55
Arena media	2	0,5 - 0,25	4.91	10.15	6.18
Arena fina	3	0,25 - 0,125	7.17	20.52	27.64
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	12.71	35.20	44.76
Fango	5	< 0,063	68.64	8.07	9.27
Centro Río Bravo y Río Coipo 100968					
Grava	-1	4 - 2	0.00	0.21	0.24
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.45	0.36	0.82
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.12	2.41	1.39
Arena media	2	0,5 - 0,25	1.20	1.86	2.52
Arena fina	3	0,25 - 0,125	2.33	14.33	14.36
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	26.98	63.73	63.38
Fango	5	< 0,063	67.94	17.10	17.28

Las características del sedimento, representadas por los estadígrafos sedimentológicos, señalan las principales tipologías del depósito y se indican en la Tabla 184.El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena fina y muy fina, aunque en varias estaciones el tamaño medio correspondió a limos gruesos y en otras a arenas gruesas.

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estándar gráfica inclusiva, mostró una alta variabilidad en todas las estaciones del lago, donde predominaron las arenas pobremente seleccionadas en las estaciones de Ensenada Contento, Ensenada Leuquetro, Punta Contento, mientras que en el centro Notué dominaron las muestras moderadamente bien selecionadas. La Asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media, indicó sedimentos con un moderado exceso de muy gruesos.

Tabla 184 Parámetros sedimentológicos en el lago Huillinco.
(M: media, S: selección, A: Asimetría y C: curtósis) de las tres estaciones de muestreo (1-2-3) (tres réplicas A-B-C)

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Ensenada Contento	1	A	4,50	0,31	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,50	0,31	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	2,00	1,75	-0,17	0,84	Arena fina
	2	A	2,69	1,42	-0,40	1,08	Arena fina
		B	0,70	2,20	0,28	0,77	Arena gruesa
		C	2,53	1,42	-0,30	1,00	Arena fina
	3	A	0,78	2,18	0,34	0,60	Arena gruesa
		B	0,59	2,20	0,49	0,60	Arena gruesa
		C	0,82	2,20	0,28	0,57	Arena gruesa
Ensenada Leuquetro	1	A	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	2,01	1,83	-0,36	0,61	Arena fina
	2	A	3,02	1,07	-0,40	1,31	Arena muy fina
		B	2,82	1,39	-0,50	1,40	Arena fina
		C	1,58	2,18	-0,30	0,63	Arena media
	3	A	3,48	0,80	-0,25	2,56	Arena muy fina
		B	3,52	0,41	0,15	1,04	Arena muy fina
		C	3,50	0,56	-0,10	1,60	Arena muy fina
Notué	1	A	4,17	0,73	-0,41	1,39	Limo muy grueso

Continuación tabla 184

Centro		Repl.	M	S	A	C	
100616		B	4,21	0,69	-0,39	1,44	Limo muy grueso
		C	3,11	1,11	-0,23	1,16	Arena muy fina
	2	A	3,47	0,85	-0,14	1,61	Arena muy fina
		B	3,17	1,11	-0,26	1,12	Arena muy fina
		C	3,24	1,05	-0,25	1,31	Arena muy fina
	3	A	1,88	1,76	0,31	1,54	Arena media
		B	1,75	1,66	0,27	1,73	Arena media
		C	1,82	1,74	0,28	1,60	Arena media
Punta Contento	1	A	4,50	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,50	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	2,36	1,56	-0,37	0,96	Arena fina
	2	A	2,32	1,76	-0,58	0,89	Arena fina
		B	2,41	1,57	-0,49	0,80	Arena fina
		C	1,86	1,58	-0,24	0,90	Arena media
	3	A	3,20	0,80	-0,19	1,17	Arena muy fina
		B	2,43	1,63	-0,41	1,52	Arena fina
		C	2,52	1,62	-0,44	1,48	Arena fina
Centro		**Repl.**	**M**	**S**	**A**	**C**	
Río Bravo y Río Coipo	1	A	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,48	0,33	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	2,94	0,76	0,33	0,93	Arena fina
	2	A	3,48	0,66	-0,03	1,38	Arena muy fina
		B	3,57	0,60	0,05	1,37	Arena muy fina
		C	3,22	1,07	-0,30	1,51	Arena muy fina
	3	A	3,41	0,72	-0,09	1,38	Arena muy fina
		B	3,56	0,62	0,02	1,42	Arena muy fina
		C	3,30	0,96	-0,23	1,55	Arena muy fina

La materia orgánica, expresada como porcentaje total de materia orgánica (combustibles totales), contenida en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros de cultivo de salmones en el Lago Huillinco se indica en la Tabla 185. Desatacaron los altos contenidos orgánicos depositado en las cercanías de los centros Ensenada Contento, Ensenada Leuquetro, Punta Contento y una estación cercana al centro Río Bravo & Río Coipo, todos sobre 40 %, acompañadas del característico y fuerte olor a huevo.

Tabla 185 Lago Huillinco. Porcentajes de materia orgánica total contenida en los primeros 3 cm del sedimento, para cada uno de los centros y estaciones consideradas. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Ensenada Contento	100520	1	36 m	34,18	café verdoso	fuerte olor a huevo
		2	20 m	39,92	café	olor a huevo
		3	23 m	34,06	negro	fuerte olor a huevo
Ensenada Leuquetro	101212	1	25 m	37,44	verdoso/negro	fuerte olor a huevo
		2	11 m	41,19	café	olor a huevo
		3	10 m	36,18	café/negro	fuerte olor a huevo
Notué	100616	1	55 m	21,52	color oscuro	s/olor
		2	4 m	10,41	café oscuro	s/olor
		3	4 m	2,07	plomo	s/olor
Punta Contento	101617	1	30 m	32,36	negro	fuerte olor a huevo
		2	38 m	28,35	negro	olor a huevo
		3	32 m	31,72	negro	fuerte olor a huevo
Río Bravo y Río Coipo	100968	1	9 m	40,73	café negrusco	olor a huevo
		2	8 m	16,88	café	leve olor a huevo
		3	5 m	17,40	café	s/olor

En la figura 222 se aprecian el porcentaje de fango, materia orgánica (ambos parámetros ya fueron descrito más arriba) y el potencial de Redox medido en terreno. Según este último parámetro, en cuatro de cinco estaciones el sedimento fue anoxíco que también se manifiesta en los muy elevados contenidos de materia orgánica.

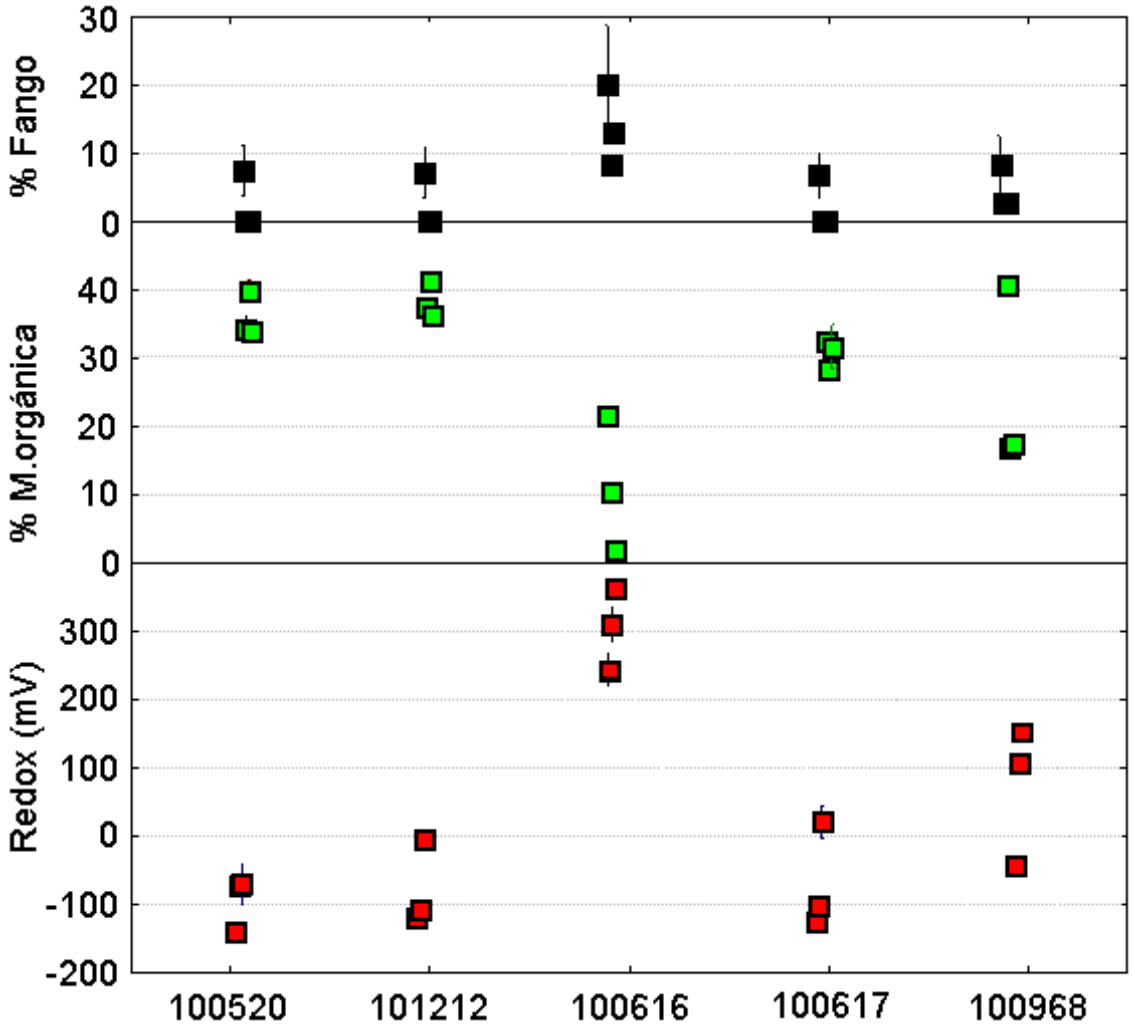


Fig. 222 Fango, materia orgánica y redox en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Huillinco

3.9.6.4 Correntometría

VELOCIDAD DE CORRIENTES

La Tabla 186 muestra la estadística general de la intensidad de las corrientes registradas para la totalidad de los registros obtenidos en los puntos de medición.

De acuerdo a las magnitudes de la intensidad de las corrientes determinadas en los centros localizados en el lago Huillinco, se observa un predominio de valores discretos cuyas magnitudes medias, en general, no superan los 10 cm/s; no obstante en el centro de cultivo N° 100968, se registró una intensidad máxima de 34 cm/s.

Tabla 186 Estadística General de la Intensidad de Corrientes (cm/s), asociadas a los centros de cultivos existentes en el lago Huillinco.

Códigos de Centros Lago Huillinco				
	101212	**100968**	**100617**	**100520**
Estadígrafo	**Valores (cm/s)**			
Media	2,9	11,5	4,7	5,3
Max	9,3	34,0	13,0	16,2
Min	2,5	2,5	2,5	2,5
Mediana	2,5	10,6	5,8	4,9
Moda	2,5	2,5	2,5	2,5
Desvest	1,3	9,6	3,8	4,1

Por otra parte, las restantes mediciones registran valores que fluctúan dentro de un rango de intensidad de corrientes entre 2,5 y 13,0 cm/s; en general, se evidencia una partición modal inferior a la medial, lo que pone de manifiesto, que la mayor cantidad de casos se concentra en valores inferiores a la media.

DIRECCIÓN DE CORRIENTES

El análisis de los componentes direccionales asociados al Centro de cultivos 101212 (Leuquetro) permite evidenciar que en este sector, la dirección predominante de las corrientes se concentra en el cuadrante de la componente SW, donde la frecuencia agrupa aproximadamente el 75% de los casos (Figura 223).

Por otra parte, en el sector de emplazamiento del centro N° 100968 (río Bravo), se evidencia un comportamiento similar al descrito previamente, en el que existe un predominio de corrientes que provienen desde el cuadrante SW (70%); mientras que sólo un 20% provienen del cuadrante SE (Figura 224).

Tabla 187 Estadística General de la Dirección de Corrientes medidas en los centros de cultivo del lago Huillinco.

Códigos de Centros Lago Huillinco				
	101212	**100968**	**100617**	**100520**
Estadígrafo	**Valores (grados)**			
Media	173	187	105	157
Max	345	358	360	358
Min	9	5	3	2
Mediana	194	254	207	126
Moda	241	268	24	42
Desvest	57	78	140	119

En el centro de cultivo N° 100617 (Pta. Contento) las componentes direccionales de las corrientes se concentran mayoritariamente en el cuadrante NNE; NNW (Figura 225)

En área de localización del Centro de Cultivos N° 100520 (ensenada Contento), se puede observar que los componentes direccionales de las corrientes se concentran en los cuadrantes NNE y ESE, encontrándose en estos cuadrantes cerca del 90% de los casos. (Figura 226).

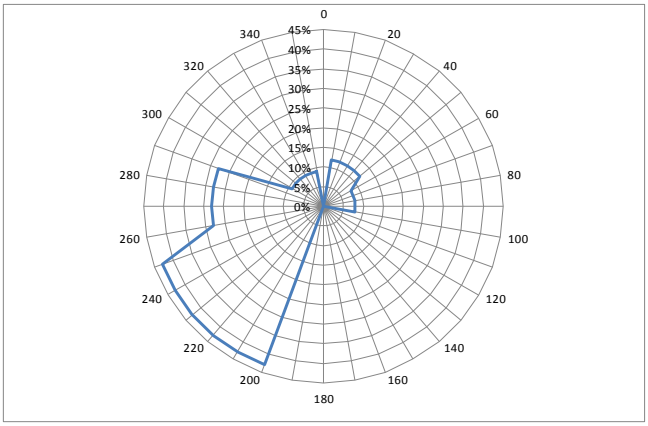


Fig. 223 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 101212, ubicado en el lago Huillinco.

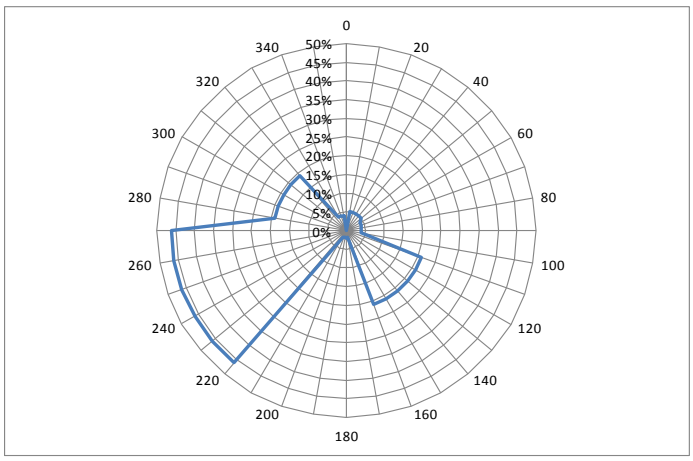


Fig. 224 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100968, ubicado en el lago Huillinco.

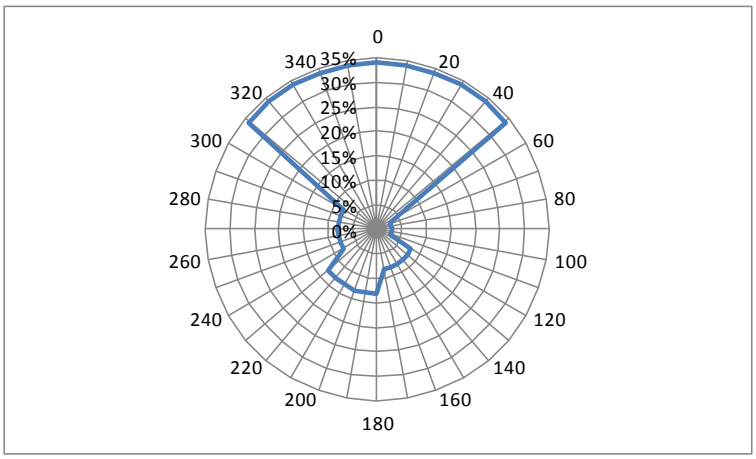


Fig. 225 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100617, ubicado en el lago Huillinco.

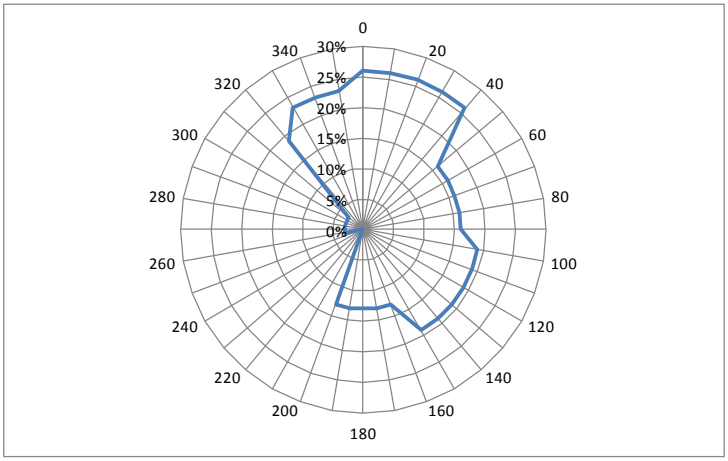


Fig. 226 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100520, ubicado en el lago Huillinco.

Correntometría Lagrangeana Dias 20 y 21 de noviembre. (Fig. 227, 228)

El lago Huillinco está ubicado en las cercanías de la costa occidental de la isla de Chiloé, está comunicado con el lago Cucao a través de un corto canal que se encuentra escavado en medio de montañas que son parte de la cordillera de la costa de la isla de Chiloe. Este estrecho valle de comunicación permite que el viento del océano se manifieste con alta intensidad lo que le otorga al lago una alta dinámica.

Durante el trabajo con derivadores el día 20 de Noviembre el viento del W alcanzó velocidades de 32.6 km/h a las 18:00, lo que se tradujo en velocidades de los derivadores de superficie de 13.5 cm/s, su trayectoria estuvo claramente determinada por la dirección del viento, es decir se desplazaron hacia el este .En este lago los derivadores de profundidad fueron ubicados a 7,5m, debido a que el Huillinco es un lago meromíctico, con un estrato superficial de aproximadamente 8 m de agua dulce y un estrato profundo de salinidad y temperatura distinta, lo que representa un impedimento a la circulación total de sus aguas. A pesar de la alta intensidad del viento los derivadores ubicados en profundidad a 7.5m se movilizaron en dirección contraria a los superficiales, dando cuenta del fenómeno de retorno ya comentado.

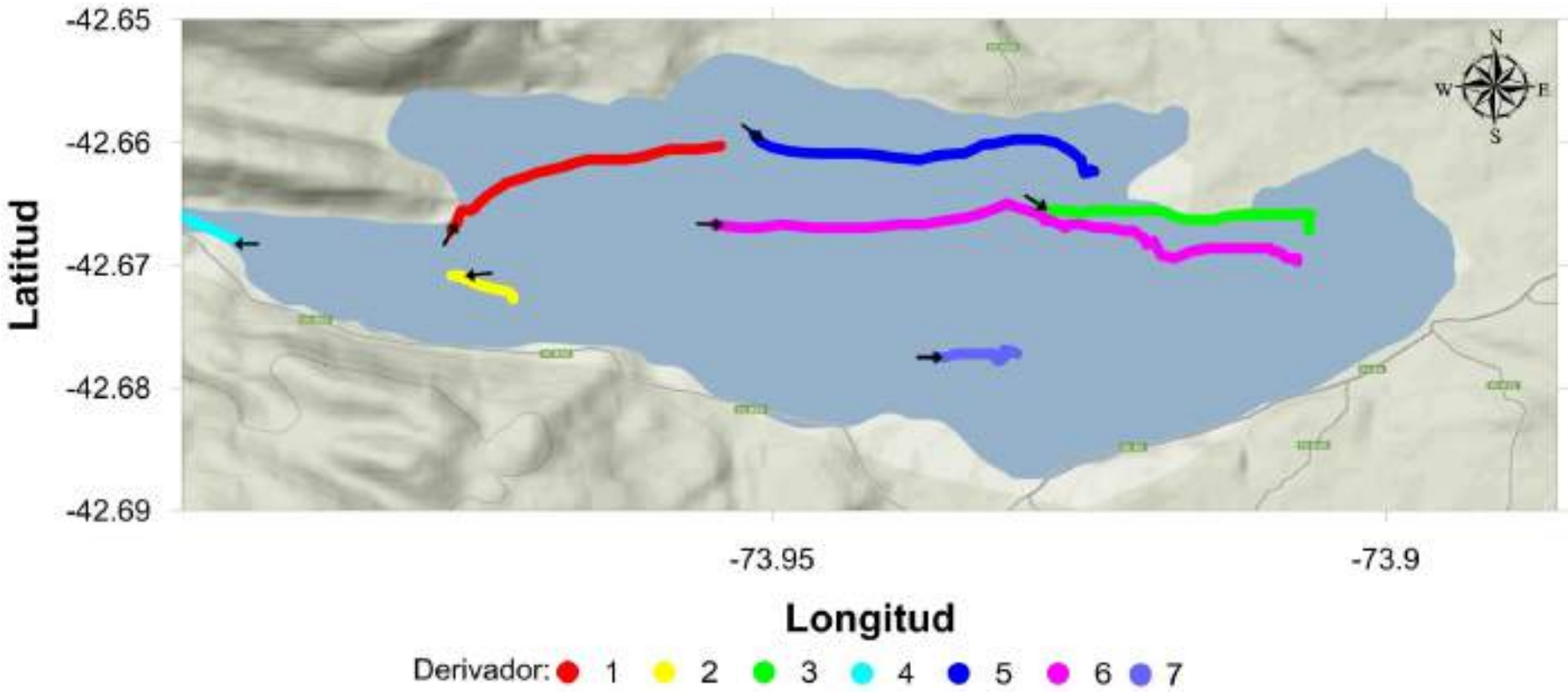


Fig. 227 Movimiento de los derivadores (superficie) en el lago Huillinco

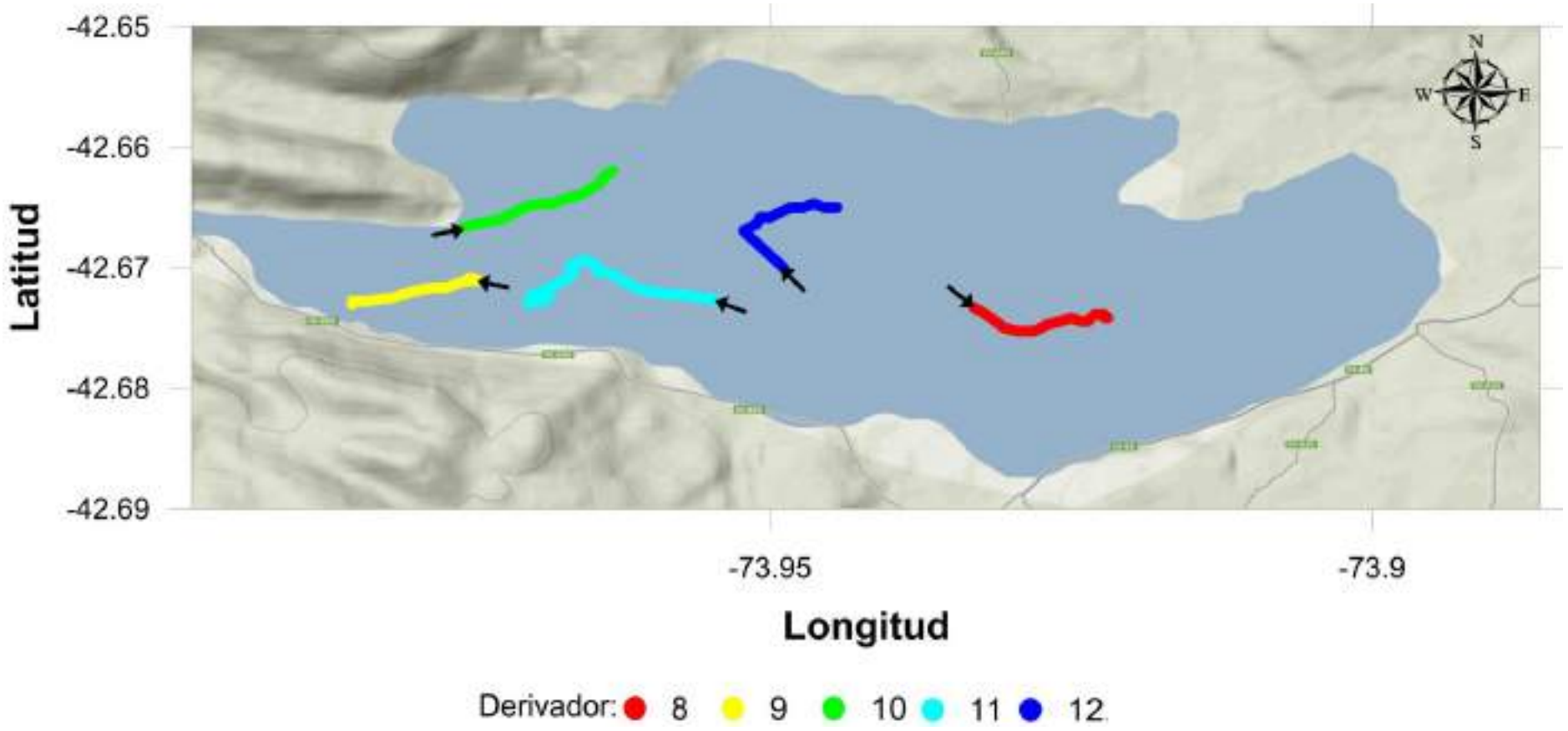


Fig. 228 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Huillinco

Concluyendo:

- La cercanía del lago Huillinco a la costa occidental de la isla de Chiloé con la que se comunica con el lago Cucao hace que los vientos oceánicos se manifiesten con alta intensidad, lo que genera un impacto significativo en el movimiento de las aguas del lago.
- En este lago remanifiesta también el fenómeno descrito como corriente de retorno, verificado por la dirección que toman los derivadores profundos en el sentido contrario a los superficiales
- El Huillinco es un lago meromíctico con un estrato superficial de 8m de profundidad de aguas continentales que son las que se ven afectadas principalmente por el esfuerzo del viento, esto implica una alta dinámica de este estrato de agua superficial.

3.9.7 Evaluación del estado trófico del lago Huillinco

Para el lago Huillinco existen datos tróficos solamente para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) y para el año 2012 (este estudio) (Tabla 188).
Debido a su regimen meromíctico y su baja zona eufótica y epilimnética, la evaluación del estado trófico del lago Huillinco considera solamente los datos corresponiente a los primeros 10 m de la columna de agua (zona epilimnética).

En 1996/97 el lago Hullinco se encontró de acuerdo a las muy altas concentraciones de fósforo total en un estado eutrófico, mientras en primavera 2012 el PT indicó mas bien un estado mesotrófico con valores entre 0,01 y 0,014 mgP/L en todas las estaciones medidas.
Sin embargo, las concentraciones de clorofila a indicaron en 1996/97 solamente un estado mesotrófico con valores generalmente menores a 5 µg/L, mientras en primavera 2012 las concentraciones de clorofila a fueron incluso dentro del rango de la oligotrofía en todas las estaciones de muestreo, con excepción de la estación 100520 donde indicaron condiciones mesotróficas.

Respecto a la transparencia, esta fue muy baja tanto en 1996/97 como también en primavera 2012, debido al carácter distrófico de este lago. Por ello , estos valores no pueden ser interpretados como indicativos para un estado eutrófico.

Tabla 188 Evaluación del estado trófico histórico del lago Huillinco (promedio ± desviación estándar, solamente epilimnion). N = fechas de muestreo
Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54 y Villalobos et al. 2003; 2: Este estudio

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=11)	2,8 ± 0,4	0,153 ± 0,162	3,3 ± 2,0	1
2012 (N=1)				2
Centro	2	0,014 ± 0,000	1,16 ± 1,2	
100520	2	0,010	3,5 ± 1,8	
100616	1,5	0,012	2,1 ± 0,4	
100617	2	0,011	2,1 ± 0,4	
101212	1,5	0,012	1,7 ± 0,7	
100968	1,8	0,011	2,3 ± 0,4	

3.9.8 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respectola interrogante de si el lago Huillinco es apto para

continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.9.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS LINEA BASE Y OTROS - El lago Hullinco es un lago distrófico con un tamaño mediano en relación a los demás lagos chilotes (19,1 km^2) y con una profundidad media y máxima relativamente alta (20,7 y 47 m), a su vez presenta un volumen mediano (0,395 km^3). Es un lago meromíctico con agua salada en su monimolimnion, producto del ingreso de agua del mar (FIP IT 96-54, Villalobos et al. 2003). No existen datos sobre su calidad ambiental (columna de agua, sedimento) salvo los del estudio FIP IT 96-54, que estudió durante 1996/97 este lago[15]. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada de este estudio revela en resumen lo siguiente:

- Hay un alto grado de incerteza respecto al balance hídrico, aún cuando se incluyó adecuadamente la influencia mareal. El tiempo de renovación teórico estimado (0,2 años) es muy dudoso.
- La resolución vertical de de P y N en la columna de agua es baja, lo que dificulta el cálculo correcto de la masa total de nutrientes en la columna de agua.
- Los modelos utilizados para la determinación de la carga crítica no se pueden aplicar para este tipo de lago (meromíctico).
- El aporte de P por la actividad acuícola fue aproximadamente un tercio del aporte externo de P. Sin embargo, el aporte de P por carga interna fue mas grande que el aporte externo.

La evaluación de la condición trófica ya se discutió en el capítulo 3.9.7 (véase también abajo).

[15] León (2011) reporta valores promedios sobre amonio, nitrato y ortofosfato (~ 0,008 mgP/L en sitios control y balsas jaulas) obtenidos entre 1997 y 2008, sin especificar exactamente la cantidad de muestras, las profundidades y la ubicación de los sitios. Ya que tampoco se analizaron fósforo total, estos resultados no se consideran aqui.

B) INFAS – La revisión de las INFAS de solamente 1 de 5 centros acuícolas existentes en el lago Huillinco, reveló valores sobre los parámetros fango y materia orgánica que llaman la antención. Los valores porcentuales de la fracción fango fueron bajos durante el año 2010, al comparar con los años 2011 y 2012, mientras los aportes relativos de porcentajes de materia orgánica se mantienen parejos. También llama la atención que los sedimentos fueron aparentemente bien oxigenados en este lago.

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre 150 y cási 2000 ton/año, con tendencia a diminuir en los dos últimos años (200-400 ton/año). Los aportes estimados de P fluctuaron entre 2 y 14 tonP/año. Tres de los cinco centros de cultivos aportan 90% de la producción y de la carga de P.

D) MONITOREO EN ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

En el marco de este proyecto se realizó un muestreo de la columna de agua (6 estaciones) y del sedimento (6 estaciones). Además se realizaron mediciones de correntometría. Finalmente se evaluó el estado trófico del lago Huillinco en base a los parámetros tróficos para lo cual se analizó previamente la calidad de los datos históricos.

CORRIENTES – No se puede discutir los resultados mas alla de lo realizado, porque no existen estudios comparables en este lago (véase capítulo 3.9.6.4). En resumen, las corrientes medidas en el lago Hullinco son suficientes para producir una distribución relativamente homogénea en los estratos superficiales del lago.

SEDIMENTO – En nuestro estudio encontramos que cuatro de los cinco sitios muestreados claramente tenían un sedimento anóxico (redox < 50 mV) que también se manifestó en muy elevados contenidos de materia orgánica. Destacaron los altos contenidos orgánicos depositados en las cercanías de los centros: Ensenada Contento, Ensenada Leuquetro, Punta Contento y una

estación cercana al centro Río Bravo & Río Coipo, todos sobre 40 %, acompañadas del característico y fuerte olor a huevo.
Solamente el centro 100616 mostró condiciones oxigenadas en el sedimento. Lamentablemente, solamente sobre este centro este consultor obtuvo las INFAS, que arrojaron valores similares a los nuestros.

CALIDAD DE AGUA – En el capítulo 3.9.7 ya se discutió este aspecto en detalle. En resumen se puede decir:

- Nuestros resultados son similares a los reportados en 1996/97 a pesar de las limitaciones de aquel estudio (mar (FIP IT 96-54, Villalobos et al. 2003).
- No hay diferencias significativas entre las estaciones control y centros de cultivos.
- De acuerdo a PT el lago sería mesotrófico, sin embargo por la baja transparencia y la baja concentración de nitrógeno disuelto (limitación por N ¿) se reportan bajas concentraciones de clorofila, típicos para lagos oligotróficos.
- En comparación con 1996/97 la clorofila a fue menor.

Sin embargo, hay que considerar que se realizó solamente un muestreo. Por lo tanto, no se debe sobreinterpretar los datos de clorofila a y transparencia que generalmente cambian mas rapidamente durante el año que fósforo y nitrógeno total.

PARAMETROS BIOLÓGICOS - En relación a los parámetros biológicos, en términos generales las características estructurales del fitoplancton del lago Huillinco fueron similares a los valores reportados. Las densidades de fitoplancton (0,1 - 0,5 * 10^6 cel/L) y cantidad de especies encontrada (43) fueron dentro del rango reportado en 1996/97 (densidad: 0,035 – 1,3 * 10^6 cel/L; cantidad de especies: 41) (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003). Las densidades de fitoplancton en la estación control fueron la mas bajas en comparación con las estaciones cerca de los centros de cultivo. Sin embargo, este resultado por si mismo no es necesariamente indicativo de una mayor

productividad primaria, ya que la clorofila a fue mayor en la estación control en relación a los sitios balsas jaulas.

Respecto al zooplancton las especies encontrado en este estudio coinciden con las de 1996/97, con excepción de *Daphnia*, que no fue reportado en aquel estudio (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003). Las densidades encontradas en nuestro estudio fueron en el rango reportado en 1996/97, siendo las del sitio control las mas bajas.

3.9.8.2 Conclusiones y recomendaciónes

De acuerdo al estudio realizado en 1996/97 por la Universidad Austral de Chile el lago Huillinco ya mostró una sobrecarga de P y se recomendó no aumentar la actividad acuícola, sino incluso reducirla. Sin embargo, la actividad acuícola aumentó, disminuyendo solo recientemente, en los últimos dos años.

Respecto a la pregunta, si en el futuro se va a mantener el estado todavía oligotrófico o cuan grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Huillinco, se debería disponer de datos mas recientes sobre los ingresos de nutrientes al lago y especialmente sobre el balance hídrico para hacer afirmaciones mas acertadas.

Sin embargo, en base de las consideraciones realizadas en base de las informaciones disponibles se realiza la siguiente conclusión:

Respecto a la actividad acuícola en el lago Huillinco, se recomienda **NO** aumentar la actividad acuícola mientras no se conoce con certeza el comportamiento del lago que muestra influencia mareal.

3.10 LAGO TARAHUÍN

3.10.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Tarahuin tiene una superficie de 7,7 km^2 y una cuenca hidrográfica 38,2 veces mayor (Tabla 189). Su profundidad máxima y media es 33m y 22,2 m . Su tiempo de renovación es ~2,7 años (informe FIP-IT/96-54).

Tabla 189 Características básicas del lago Tarahuin.

Superficie (km^2)	7,7
Cuenca (km^2)	38,2
Relación cuenca/lago	5
Volumen (km^3)	0,17
Profundidad máxima (m)	33
Profundidad media (m)	22,2
Tiempo de renovación (años)	2,7

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 190 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Tarahuín. Este lago fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile que realizó un balance de nutrientes durante 1996/97 (UACH Informe FIP-IT/96-24, 1997). Los resultados de este estudio fueron publicados por Villalobos y col. (2003).

Tabla 190 Resumen de los datos disponibles para el lago Tarahuín.
verde: información disponible
1: UACH (1997) informe FIP-IT/96-54; 2: Villalobos et al. (2003);3: datos entregados por Subpesca

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1996-1997			1, 2
Balance hídrico	1996-1997			1,2
Calidad química agua lago y efluente	1996-1997		mensual, 0-33 m	1,2
Calidad química agua afluentes	1996-1997		6 afluentes, muestreo mensual	1, 2
Cuantificación carga centros	1996-1997		Mediciones bajo balsas	1, 2
Cuantificación carga otras fuentes	1996-1997			1, 2
Balance de nutrientes, carga actual	1996-1997			1, 2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1996-1997		Elaboración propia	1, 2
Biología	1996-1997		Fito-, Zooplancton, producción primaria, muestreo mensual	1,2
Calidad sedimentos	1996-1997		2 estaciones (bajo balsa jaula y control), estacional	1, 2
Correntometría	1996-1997		Estacional	1, 2
Infas	2010-2012			1, 2
Producción peces	1995-2012			3
Régimen térmico	1996-1997		0 – 33 m	1, 2

3.10.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

Campos y colaboradores estudiaron en detalle en el ESTUDIO DE BALANCE DE LOS LAGOS HUILLINCO, CUCAO, NATRI, TARAHUIN Y TEPUHUEICO el lago Tarahuin realizando un balance de nutrientes durante un año (nov 96 – oct 97). Este lago tiene una superficie de 7,7 km^2 (área cuenca: 45,8 km^2), un volumen de 0,170 km^3, una profundidad máxima y media de 33m y 22,2 m y un

tiempo de renovación de ~ 2,7 años. Los resultados más importantes del estudio son los siguientes:

INGRESO DE NUTRIENTES SEGÚN USO DEL SUELO (Capítulo 1)

Metodología - El uso de suelo se determino por fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías áreas escala 1:20.000, interpretación de imágenes satelitales y levantamiento de terreno.Esta información finalmente fue cartografiada y digitalizada en Autocad e ingresada Idrisi (SIG). La información se corrigió en terreno para obtener cartografía final 1:50.000.

Resultados - La mayor parte de la cuenca fue cubierta por bosque nativo (57%), seguido por praderas y renoval (Tabla 191).

Tabla 191 Uso de suelo en la cuenca del lago Tarahuin (1996).

Tipos uso de suelo	Superficie (km^2)	Peso en la cuenca %
Bosque nativo mixto	19,2	57,4
Renoval nativo mixto	7,5	16,1
Praderas naturales y mejoradas	11,1	22
Areas humedales	0,3	0,6
Total	**38,1**	**100**

Evaluación

No hay observaciones.

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES Y DESCARGA POR EFLUENTE (CAPITULO 2 Y 7)

Metodología -En los cuarto afluentes principales (Tabla 192) del lago Tarahuin, que representa 56% de la superficie de la cuenca se determinaron mensualmente las concentraciones de N y P, los que en combinación con la medición de caudales permitió estimar las cargas de nutrientes ingresados. Paralelamente se determinaron la exportación de nutrientes en las subcuencas usando índices de exportación combinados con el uso de suelo en cada subcuenca.

Sin embargo, para calcular finalmente la carga de los afluentes, se usaron solamente los valores medidas.

Tabla 192 Subcuencas de los principales afluentes en la cuenca del lago Tarahuin.
S.i.: sin información

	Superficie subcuenca (km^2)	**Fracción superficie cuenca (%)**	**Longitud (km)**
Río Pichihueico (R-16)	13,1	36,6	5,5
Río S/Nombre (R-14)	2,4	6,2	s.i.
Río S/Nombre (R-17)	3,4	10	s.i.
Río S/Nombre (R-15)	1,3	3,4	s.i
	Suma	**56,4**	

Resultados – El caudal y las concentraciones de fósforo total de los afluentes se presentan en la tabla 193. En general los valores de PT en los cuatro riós fueron muy similares con promedios entre 35 y 40 µg P/L, aunque con una desviación alta, producto de la alta variabilidad de las mediciones. En una ocación se observa incluso valores muy altos (> 100 µg P/L).
La carga total de estos afluentes fue **1,56** ton P por año.
La estimación de la exportación de nutrientes usando índices de exportación arrojó solamente un aporte de **1,16** ton P por año para todas las subcuencas (Tabla Nº 39 informe FIP 96-54).

Evaluación

Aunque el procedimiento metodológico en general fue correcto, no esta claro porque la estimación de la exportación de nutrientes usando índices de exportación arroja para todas las subcuencas un aporte inferior al aporte medido en los afluentes que representan solo un 56% de la cuenca. En el informe no se discute este problema. Mas detalles abajo (balance de nutrientes).

Tabla 193 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Tarahuin (DS: desviación estándar). Celdas naranjas: valores altos que llaman la atención

	Río S/Nombre (R-14)		**Río S/Nombre (R-15)**		**Río Pichihueico (R-16)**		**Río S/Nombre (R-17)**	
	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)	Caudal (m^3/s)	P total (µg/l)
nov-96	0,084	21,7	0,026	18,5	0,758	26,4	0,112	28,3
dic-96	0,039	49,1	0,016	33,4	0,473	35,9	0,040	32,8
ene-97	0,013	55,7	0,003	57,2	0,177	44,2	0,018	55,7
feb-97	0,073	34,2	0,036	15,5	0,704	35,1	0,063	29,3
mar-97	0,023	48,7	0,002	26,6	0,008	53,6	0,011	64,6
abr-97	0,301	20,8	0,068	161,2	2,686	138,6	0,577	114
may-97	0,083	36,4	0,011	41,5	0,493	21,5	0,087	29,3
jun-97	0,093	28,7	0,029	20,4	0,551	10,8	0,108	17,9
jul-97	0,103	20,2	0,077	20,4	1,124	21,5	0,094	23,8
ago-97	0,092	54,4	0,025	25,1	1,046	38,3	0,113	37,4
sep-97	0,039	19,6	0,008	20	0,326	32,8	0,042	33,2
oct-97	0,063	17,65	0,014	16,16	0,747	17,22	0,074	18,29
Promedio	**0,084**	**33,9**	**0,026**	**38,0**	**0,758**	**39,7**	**0,112**	**40,4**
DS	**0,074**	**14,0**	**0,02**	**38,9**	**0,70**	**32,0**	**0,1**	**25,8**

*Se recalculó la carga de P a través de los afluente con los datos originales, lo que arrojo el valor **1,77** ton P que es mayor que el valor reportado (**1,56** ton P). Otro problema mayor se nota si uno compara la estimación de la carga usando índices con las mediciones reales que fue en 2 casos muy inferior a la carga medida. Según este consultor la carga total recalculada fue **2,3**TON P/año (última columna tabla 194) lo que es 50% mayor que la carga reportada en el informe FIP 96-54. Por este valor se debería corregir el balance de P (véase abajo).*

Descarga de nutrientes por el efluente

En el informe FIP se presenta una tabla (Nº 9) sobre la descarga del efluente del lago Natri que es identica a la tabla Nº 10 en el informe sobre el efluente del lago Tarahuin. En el balance de nutrientes (mas abajo) se reporta una descarga de 1,74 ton P/año através del efluente.

Tabla 194 Carga de P para todas las subcuencas calculada con índices y medida en terreno.
Celdas naranjas: valores altos que llaman la atención

		Carga subcuenca		
N	**Subcuenca**	**cálculo indice kg P/año**	**medida kg P/año**	**recalculada kg P/año**
1	s/nombre	12		12
2	s/nombre	74		74
3	s/nombre	128		128
4	s/nombre	70	76	76
5	s/nombre	52		52
6	s/nombre	70		70
7	s/nombre	50		50
8	R.Pichihueico	**398**	1422	1422
9	s/nombre	26		26
10	s/nombre	**107**	228	228
11	s/nombre	23		23
12	s/nombre	39	43	43
13	s/nombre	26		26
14	s/nombre	44		44
15	s/nombre	39		39
	Suma kg/año	**1158**	**1769 Informe: 1560**	**2313**

Evaluación

Por falta de datos no se puede evaluar los resultados sobre la descarga de nutrientes a través del efluente. Sin embargo, es probable que la descarga reportada en el balance de nutrientes sea correcta y solamente el consultor presentó equivocadamente la tabla correspondiente al lago Natri.

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIÓNES Y BALANCE HÍDRICO (CAPÍTULO 3)

Metodología -Se instalaron en la zona de estudio (5 lagos en Chiloe) una red de 13 pluvimetros totalizadores y 3 pluviógrafos. Mediante el programa computacional SURFER se confecionaron cinco mapas que muestran la distribución espacial de las precipitaciones anuales para todo la zona de estudio para cuatro períodos. Finalmente se sumaron los valores de precipitación calculados para las vertientes y sobre la superficie del lago. La pérdida de agua por evaporación desde el lago, se consideró equivalente a la

registrada por una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio. La descarga del lago se determinó mediante un limnigrafo instalado en la desembocadura del lago.

Resultados –De los 110.970*10^6 m^3 de agua que llegaron a la cuenca a través de las precipitaciones, 77.880*10^6 m^3 salieron por la desembocadura del lago a través del río Tarahuin. Esta cantidad de agua ingresó a la cuenca del lago Huillinco. El saldo participó en la evatranspiración y en los cambios del contenido de agua edáfica (Tabla 195).

Tabla 195 Balance hídrico total de la cuenca del lago Tarahuin (10^6 m^3).

N	-	Q_{ta}	-	Ev	-	± Δ W	=	Evtr± Δ W
110,970	-	77,880	-	4,272	-	+0,674	=	29,484

Donde: N = precipitación
Ev = evaporación desde el lago
Q_{ta}= caudal efluente
± ∆W = variación contenido de agua del lago
Evtr±∆W = evapotranspiración y variación contenido agua edáfica

A través de las precipitaciones ingresaron **0,4** ton P al lago por año.

Evaluación

No hay observaciones al respecto. Los cálculos parecen coherentes y correctos.

INGRESO AL LAGO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (CAPÍTULO 4)

Metodología - Habían dos centros de cultivos en el lago Tarahuin, para los cuales – por falta de antecedentes acerca de la producción de los centros – se estimó la producción y el aporte de nutrientes por parte de los centros de cultivos. Esto incluyó estacionalmente un análisis de alimentos suministrados a los peces en cultivo. Adicionalmente se midieron en tubos de sedimentación

bajo las balsas jaulas el ingreso de nutrientes a través de los partículas sedimentadas.

Resultados – Se estimó una producción de peces entre 313 y 526 ton por año, para lo cual se estimó necesario entre 576 y 960 ton de alimento (factor de conversión: 1,2). El aporte de P se estimo en **4,54** ton P/año.

Evaluación

A pesar de la falta de antecedentes acerca de la producción de los centros, este consultor estima correcto el procedimiento para estimar el aporte de nutrientes al lago por parte de los centros. Sin embargo, los datos acerca de la producción de salmones, entregados a este consultor (véase 3.10.3 y 3.10.4) indica una producción de salmones de solamente 400 ton en 1997 y un aporte de ~3,2-3,7 ton P/año y no 4,54 ton P/año.

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO (CAPÍTULO 5)

Metodología -El contenido de fósforo se determinó mensualmente en la columna de agua en la estación central en tres estratos (0,1 m, 11-15 m, 22-35 m) y en una estación en las balsas jaulas (solamente muestra integrada: superficie-medio.fondo).

Resultados – La tabla 196 presenta las concentraciones de P total en la columna de agua del lago Tarahuin. En promedio aumento el P total desde la superficie hacia el fondo con valores (promedio) de 19,7 hasta 27,9 µg P/l. Estos valores son típicos para un lago eutrófico.

Evaluación

No esta claro como se calculó el contenido total de P en el lago, ya que no se presenta curvas hipsográficos en el estudio. Parece que se calculó el contenido de P en el lago solamente en base de la concentración promedio no ponderada (por estrato) y el volumen total del lago. Tampoco esta claro por que se tomaron en el metalimnion y el hipolimnion muestras en intervalos y no en profundidades fijas.

Tabla 196 Concentraciones de P total en lago Tarahuin;

celdas naranjas: valores altos; celdas azules: valores muy bajos

	P total (µg/l)		
	0,1 m	**11-15 m**	**22-35 m**
Nov 96	18,3	40	16,2
Dic	14,9	11,9	17,9
Ene	13,2	11,5	14,7
Feb	3,2	5,7	20,8
Mar	20,8	16,2	32,5
Abr	38,9	70,6	47,8
May	19,4	21,5	39,6
Jun	16,4	17,2	26,4
Jul	20,6	21,7	23,8
Ago	22,8	25,3	24
Sept	16,2	20,6	23,4
Oct	31,5	11,7	47,8
Promedio	**19,7 ± 9,0**	**22,8 ± 17,4**	**27,9 ± 11,5**

Por falta de otros datos no es fácil validar los datos sobre P total en el lago Tarahuin. Sin embargo, nuestras mediciones en 2012 (capítulo 3.10.6.1) arrojaron valores muy similares (26-27 µg P/l) lo que deja suponer que el rango de las mediciones de P en 1997 esta correcto. Sin embargo, llaman la atención algunos valores altos y bajos.

BALANCE DE NUTRIENTES (CAPÍTULO 8)

Metodología -El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out}= descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int}= carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP= diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga L_{ext} se sumaron las cargas de los afluentes, de los centros acuícolas, de la precipitación y de la carga directa de aguas residuales.

Esta última se determinó a través de una recopilación de antecedentes sobre la cantidad de habitantes en la zona y estimación de su descarga de P al lago. La descarga se calculó como anteriormente descrito.

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

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

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (22,2 m) y el tiempo de renovación teórica del lago (2,7 años).

Resultados -En la tabla 197 se presenta el resumen de las cargas de fósforo total del lago Tarahuin durante un año. Las cargas externas total fueron 6,6 ton P siendo la carga calculada de los centros de cultivos lejos la mas grande

Tabla 197 Resumen de las cargas de P total del lago Tarahuin durante un año (nov 96-oct 97).
Se presenta datos del informe FIP y recalculados por este consultor.
Celdas verdes: valores corregidos

	Cargas de P (ton P/año)		
	Informe FIP		**Recalculada**
Afluentes (L_{ext})	1,56		2,3
Aguas Residuales (L_{ext})	0,11		0,3
Agua Lluvia (L_{ext})	0,4		0,2
Centros de Cultivo (L_{ext})	4,54		3,2-3,7
Liberación de sedimentos (L_{int})	0		0
Total cargas	**6,6**		**6,3**

La carga crítica fue ~ 2 ton P, lo que significa que el lago recibió una carga ~ 3 veces mayor que la carga crítica.

El balance de P arojó que la mayor parte (~ 74%) de la carga externa L_{ext} sedimentó (L_{int} es negativo). El resto, es decir 1,74 ton P se descargó a través del efluente (Tabla 198).

Tabla 198 Balance de P total para el lago Tarahuin según informe FIP y recalculada.
Celdas verdes: valores corregidos

	ton P/año		
	Informe FIP		**Recalculada**
L_{int}	- 4,86		-3,55
Carga de P Lext.	6,6		6,3
Salida efluente (L_{out})	1,74		1,74
± TP en lago	0,01		0,01
Contenido P en lago	3,8		3,8

Evaluación balance de fósforo total

Contenido P lago:*Tecnicamente se calculo bien el balance de nutrientes. Como ya se mencionó como se calculó el contenido de P en la columna de agua, pero probablemente no hayan influido demasiado en el balance de nutrientes. Respecto a las cargas externas este consultor estima que esta fue subestimada (1,77 → 2,31 ton P) para los aportes de los ríos y sobreestimado (4,54 → 3,2-3,7 ton P) para los centros acuícolas.*

Se estima que la carga total al lago Tarahuin fue alrededor de 6,3 ton P y no 6,6 ton P (Tabla 198).

La carga crítica se calculó correctamente.

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye que el estudio en general tiene pocas falencias, la mas grande esta relacionada con la sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas debido a la falta de información (Tabla 199).

Finalmente hay que mencionar que el informe FIP-IT/96-54 hace referencia a dos afirmaciones incorrectas. Dice (pág. 77) " este lago debido a su condiciones de lago distrófico ***meromictico****…." y luego dice (pág. 188) " Es* ***oligomíctico*** *porque tiene una fase de circulación y otra de estratificación térmica".*

Correcto es que el lago Tarahuin no es meromíctico (mezcla parcial de la columna de agua, con quimoclina) ni es oligomíctico (mezcla de vez en cuando). Es un lago ***monomíctico cálido*** *(una mezcla anual, temperatura > 4º C) con mezcla hasta el fondo (holomíctico).*

Tabla 199 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Tarahuìn (1996/97).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	correcto		
Cuantificación cargas afluentes	Subestimada: 1,77 → 2,31TON P		
Cuantificación carga precipitación	correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas	Sobrestimada: 4,54 → 3,2-3,7 ton P		
Cuantificación otras cargas	correcta		
Contenido P lago	Algunos datos altos		
Descarga efluentes	No hay datos		
Modelos utilizados	Apropiado		
Balance de P	Técnicamente correcta, pero sobreestimacion carga centros		

3.10.3 Producción de peces

En el lagoTarahuín se evidencia la existencia de 2 concesiones otorgadas con producción bruta que alcanza en promedio 494 ton/año en el período 1995-2004 y 732 ton/año en 2005-2012 (Tabla 200). Se observa entre los años 2000--2012 uan producción bruta entre 600 y 900 ton/años (Fig. 229).

Tabla 200 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Tarahuín durante 1995-2004 y 2005-2012.

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2012
AL ESTE DE RÍO TARAHUÍN	100436	261	58
AL NORTE DE SECTOR TARAHUÍN	100521	233	674
	TOTAL	**494**	**732**

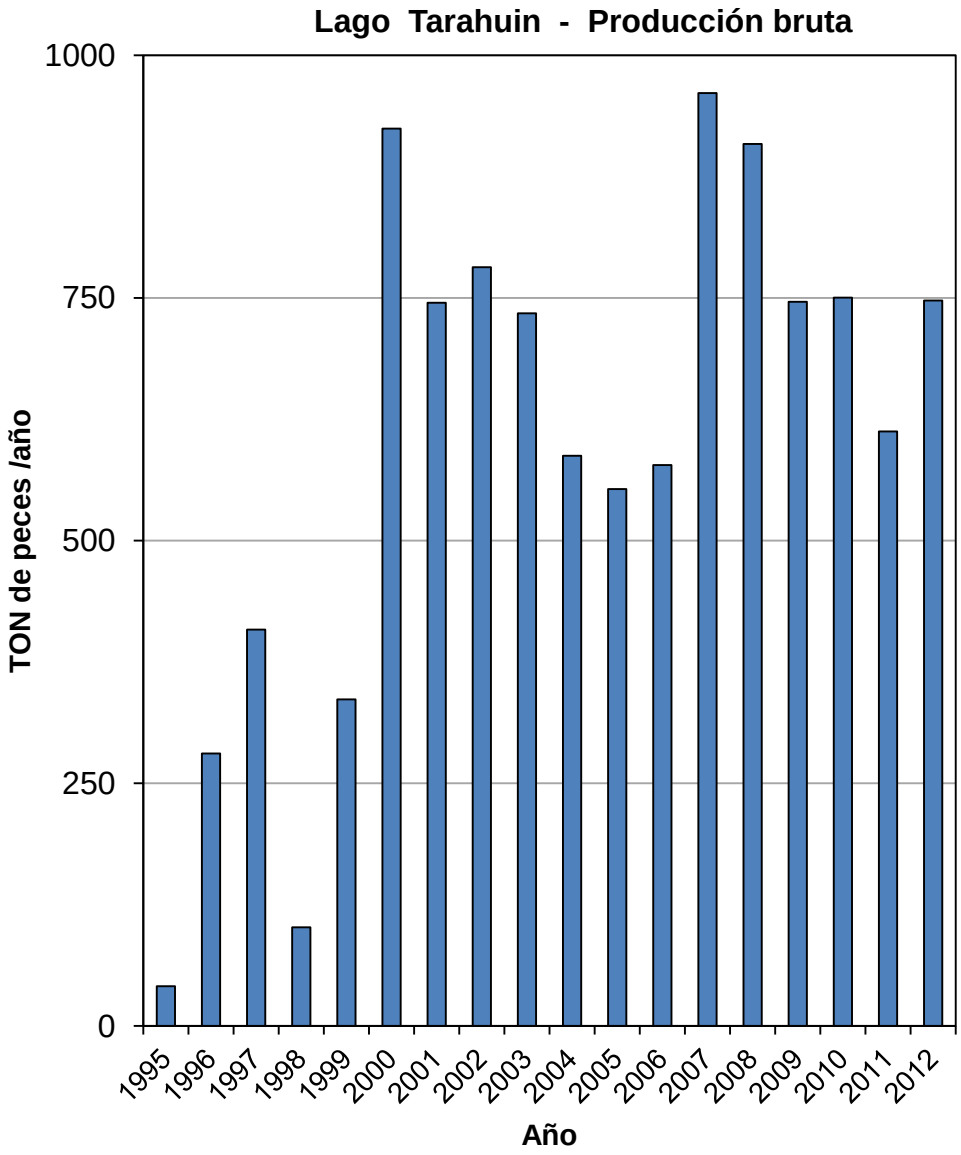


Fig. 229 Producción bruta total de salmones [ton/año] en el lago Tarahuín durante el período 1995 – 2012.

La concesión de mayor volumen de producción con el 92% de la producción total de salmones de las actividades acuícolas durante 2005-2012 en el lago Tarahuín corresponde a la concesión N° 100521 ubicada AL NORTE DE SECTOR TARAHUÍN, el resto (8%) aportó la concesión N° 100436 (Fig. 230).

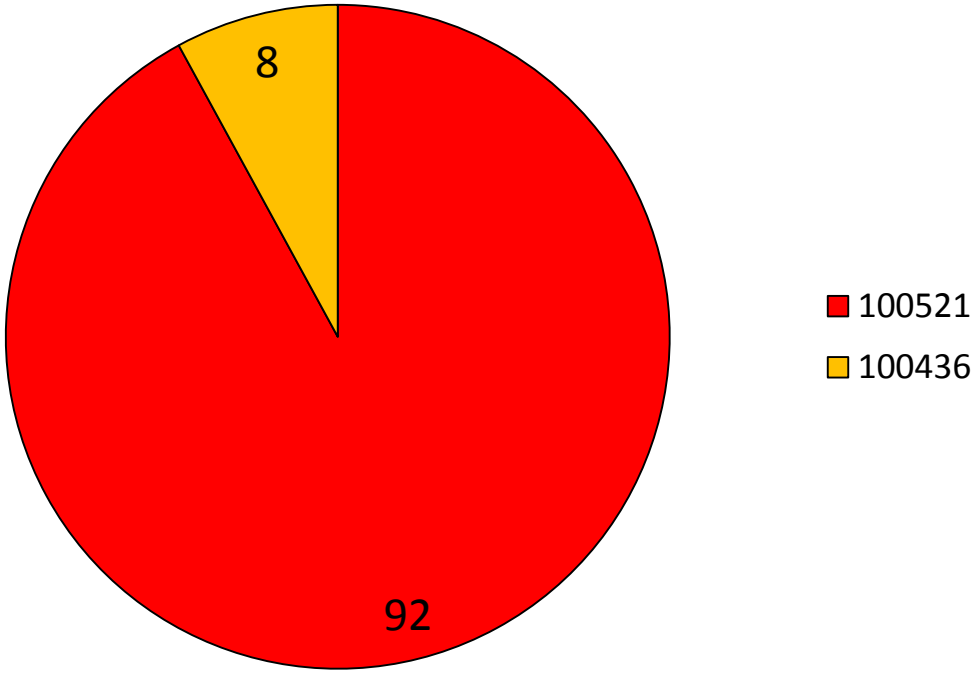


Fig. 230 Promedio porcentual de la producción acuícola de salmón en el lago Tarahuín en el período 2004 – 2012.

El abastecimiento y la producción neta anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.10.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Anexo 2).

En el lago Tarahuín sólo existen dos centros de Salmonicultura, de esta forma la operación de estos centros en la producción de Smolts, generan un aporte significativo de P, durante el período analizado (1995 – 2012), se puede observar que la carga de P registra un mínimo de 0,5 ton/año (1995), y un máximo de 8,5 ton/año durante el 2000 (Fig. 231, Tabla 201).

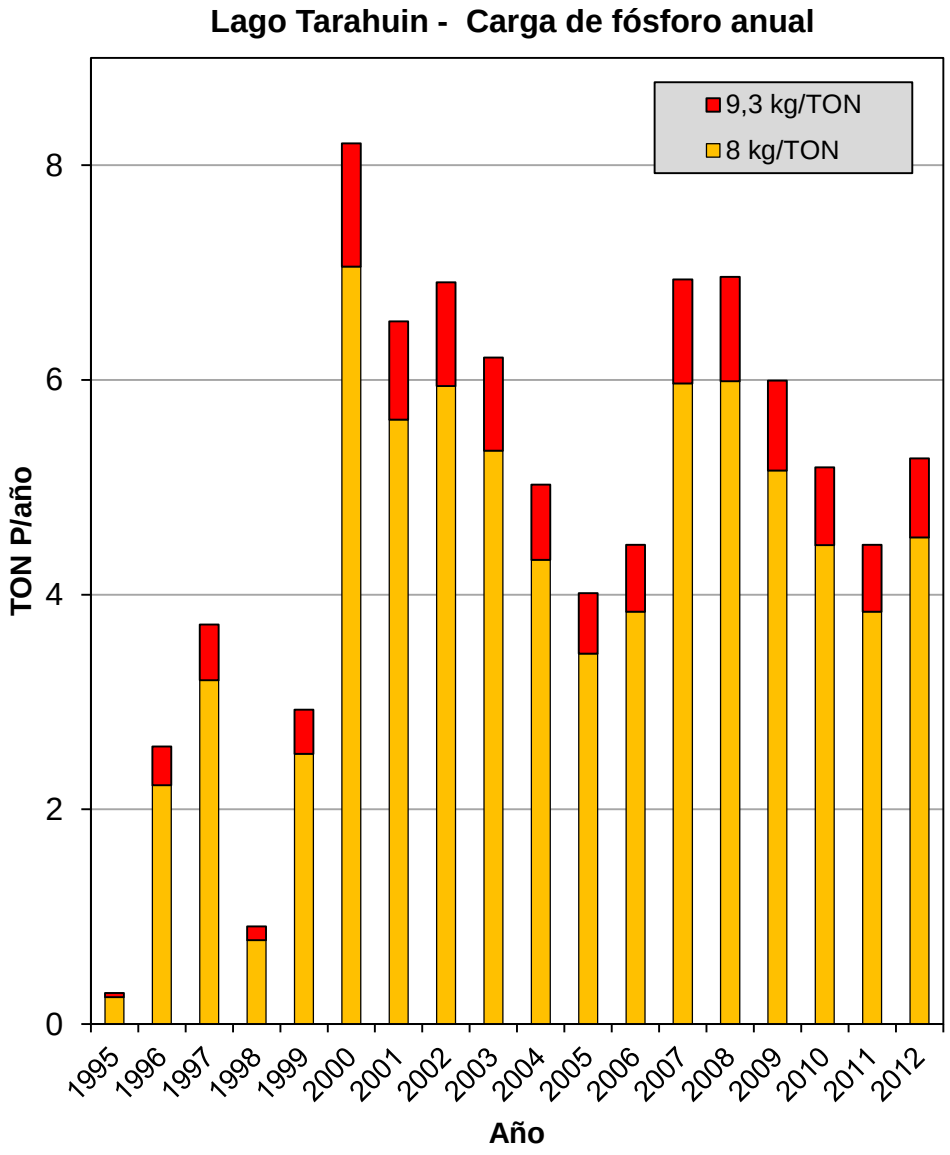


Fig. 231 Los aportes de P calculado para en el lago Tarahuin.

Por otra parte, se puede apreciar que la tendencia temporal de los aporte de P, durante el período analizado (1995 – 2012) la mayoría de los valores de P aportado mediante el cultivo de salmónidos se mantienen en torno a las 5 ton/año.

Los aportes de P por centro de cultivo (Tabla 201, 202)

En el lago Tarahuín los dos centros de Salmonicultura pertenecen a la empresa Trusal (100436 y 100521); en general, los aportes de P son irregulares durante todo el período considerado; no obstante, se puede observar una tendencia a la estabilización después de una fase de crecimiento sostenida durante los 5 primeros años de operación, especialmente en el centro 100521.

Por otra parte, se puede observar que el centro 100436 no operó entre los años 2004 – 2006, luego funciona los dos años siguientes y deja de operar el año 2009; de este modo es el centro 100521, el que aporta la mayor parte del P generado en la producción de salmónidos.

Tabla 201 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Tarahuin durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	**N° concesión**	**%**
AL ESTE DE RÍO TARAHUÍN	100436	6
AL NORTE DE SECTOR TARAHUÍN	100521	94
	TOTAL	**100**

Tabla 202 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Tarahuin durante 1995-2012 (ton/año). MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	100520		100616		**Total**	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	0,2	0,2	0,0	0,1	**0,2**	**0,3**
1996	0,4	0,4	1,9	2,2	**2,2**	**2,6**
1997	0,7	0,8	2,5	2,9	**3,2**	**3,7**
1998	0,5	0,6	0,3	0,3	**0,8**	**0,9**
1999	1,4	1,7	1,1	1,2	**2,5**	**2,9**
2000	3,3	3,8	3,8	4,4	**7,1**	**8,2**
2001	4,4	5,1	1,2	1,4	**5,6**	**6,5**
2002	5,8	6,8	0,1	0,1	**5,9**	**6,9**
2003	3,4	4,0	1,9	2,2	**5,3**	**6,2**
2004	0,0	0,0	4,3	5,0	**4,3**	**5,0**
2005	0,0	0,0	3,4	4,0	**3,5**	**4,0**
2006	0,0	0,0	3,8	4,5	**3,8**	**4,5**
2007	0,3	0,4	5,7	6,6	**6,0**	**6,9**
2008	2,0	2,3	4,0	4,7	**6,0**	**7,0**
2009	0,0	0,0	5,2	6,0	**5,2**	**6,0**
2010	0,0	0,0	4,5	5,2	**4,5**	**5,2**
2011	0,0	0,0	3,8	4,5	**3,8**	**4,5**
2012	0,0	0,0	4,5	5,3	**4,5**	**5,3**
TOTAL	**22,5**	**26,1**	**52,0**	**60,5**	**74,5**	**86,6**

3.10.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura entregó los informes de la información ambiental de un centro de cultivos ubicados en el lago Tarahuin para los años 2010-2011. A continuación se presenta los datos sobre fango, materia orgánica y potencial de redox evaluados:

Centro Tarahuín 100521 Fig. 232 muestra que**:**

Fango: Durante el 2010, los porcentajes de fango registrados fueron menores al 5 % en los sitios de estudio y sitios control, sin diferencias significativas. En 2011, los valores registrados superan el 80 % de fango, siendo significativamente más altos que los reportados para el sitio de referencia 1 con 65% aprox.

Materia orgánica: La materia orgánica durante el 2010 fue bajo el 4%, sin diferencias significativas con los sitios de referencia. Durante 2011, los valores de estaciones y sitios de referencia ascienden sobre el 8 %, incluso pasando el 10% en E5 y E6.

Potencial de redox: Durante el 2010 los valores de redox indican una muy buena oxigenación con valores entre 200 y 400 mV. En 2011 estos valores descienden hasta por debajo de los 100 mV, siendo significativamente más bajos que los sitios referenciales los cuales presentaron valores de 300mV aprox. Algunos sitios claramente son anóxicos.

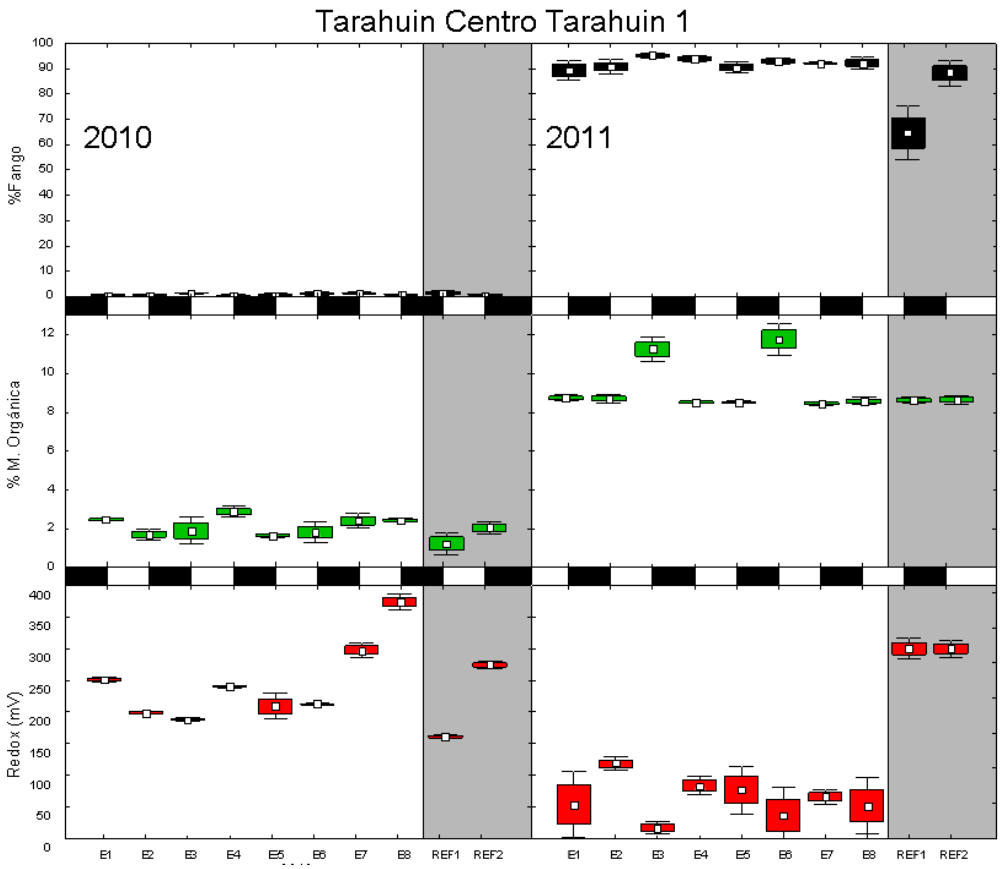


Fig. 232 Información ambiental (sedimento) del Lago Tarahuín, Centro Tarahuín 100521 (2010 - 2011).

3.10.6 Resultados del monitoreo primavera 2012

3.10.6.1 Parámetros físicos y químicos

TEMPERATURA

En el lago Tarahuin la estación central C1 de profundidad mostró temperaturas en el rango de 9,61 – 13,05 °C, con un promedio de 11,35 ± 1,58 °C. Las temperaturas más altas se observan en superficie. El perfil vertical de temperatura en la est. C1 muestra una disminución gradual de temperatura de superficie a fondo (Anexo 3, Fig. 233).

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos muestran un rango de temperaturas entre 12,83 °C (en superficie) a 9,87 °C (en el fondo). Las temperaturas promedios en los centros de cultivo fueron las

siguientes: Este Río Tarahuin (100436) 12,07 ± 0,69 °C; Centro Norte Tarahuin (100521) 11,48 ± 1,44 °C. La distribución vertical de temperaturas en las concesiones de los centros de cultivo presenta la similar tendencia que la descrita para las estaciones centrales con temperaturas superficiales más altas disminuyendo con el aumento de la profundidad (Fig. 233).

pH y CONDUCTIVIDAD

El pH en la estación central del lago Tarahuin C1 mostró valores en el rango de 7,83 – 7,98, con un promedio de 7,89 ± 0,06. En general se observó una leve disminución de los valores de pH desde la superficie hasta el fondo (Anexo 3).
Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de pH entre 7,32 a 7,94. Los valores de pH promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Este Río Tarahuin (100436) 7,82 ± 0,13; Centro Norte Tarahuin (100521) 7,69 ± 0,33. La distribución vertical de los valores de pH en las concesiones de los centros de cultivo presentó una disminución desde superficie a fondo en el caso del centro 100436 y un aumento desde superficie a fondo en el centro 100521 (Anexo 3).

La conductividad en las estaciones de muestreo, tanto la central como las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivo mostraron casi ninguna variación manteniéndose en valores entre los 60-61 µS/cm. No se observó diferencias entre conductividades medidas en las estaciones de los centros de cultivo respecto a la central de referencia (C1) (Anexo 3).

OXÍGENO

El oxígeno disuelto en la estación central C1 del lago Tarahuin mostró valores en el rango de 10,56 - 10,90 mg/L, con un promedio de 10,69 ± 0,16 mg/L. Se observaron valores más altos a los 20m de profundidad encontrando saturación completa de oxígeno hasta los 10m de profundidad. Los valores mínimos de oxígeno disuelto se encontraron sobre el fondo con valores de 7,83 mg/L y una leve subsaturación de oxígeno del 93% (Fig. 233, Anexo 3).

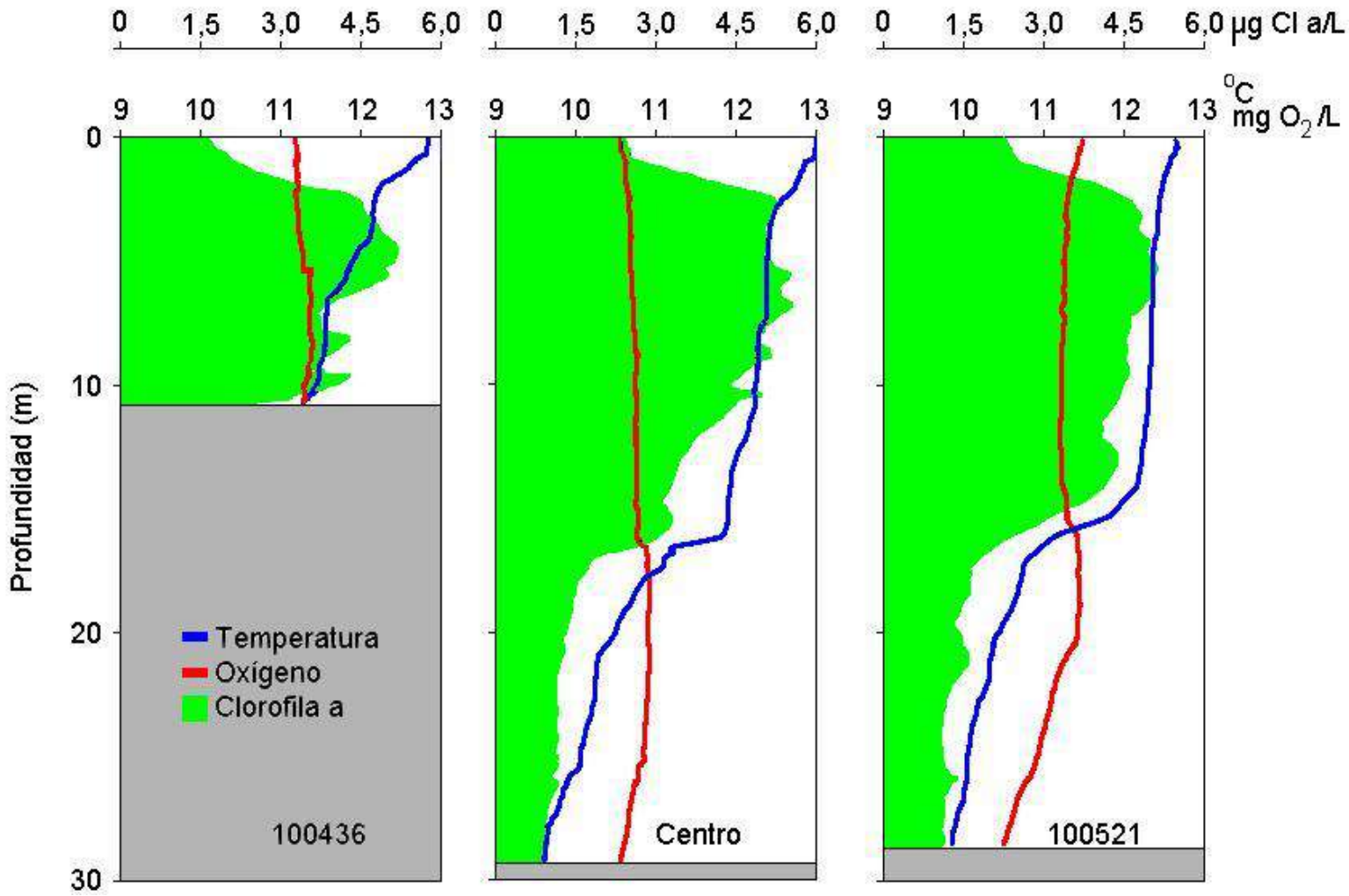


Fig. 233 Perfil vertical de temperatura, oxígeno y clorofila a en diferentes estaciones en el lago Tarahuin.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron un rango de valores de oxígeno disuelto entre 10,51 - 11,45 mg/L y para la saturación de oxígeno entre 93 - 108%. Los valores de oxígeno disuelto y saturación promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: Este Río Tarahuin (100436) 11,26 ± 0,06 mg/L; Centro Norte Tarahuin (100521) 11,08 ± 0,50 mg/L.

La distribución vertical de los valores de oxígeno disuelto en las concesiones de los centros de cultivo presentó una tendencia similar a la observada para la estación de referencia en el centro del lago (C1) (Fig. 233).

TRANSPARENCIA y ZONA EUFÓTICA

En relación al clima lumínico y la transparencia en la estación central del lago Tarahuin y en todas las estaciones de muestreo se observó una profundidad de disco secchi de 3,5m. La zona eufótica se extendió solamente hasta los 6,9m con un coeficiente de atenuación (kd) de 0,666 m^{-1}(Tabla 203). Debido al hecho de ser un lago húmico (alto contenido de carbono orgánico disuelto) la transparencia y la zona eufótica están reducidas, y el coeficiente de atenuación es elevado.

Tabla 203 Profundidad de Secchi (transparencia), zona eufótica y coeficiente de atenuación en el lago Tarahuin.
s.d.: sin datos

Estación	transparencia (m)	´= % Luz superficial	Zona eufótica 1% (m)	coeficiente de atenuación kd (m^{-1})
Centro C1	3,5	9,72	6,9	0,666
100521	3,5	s.d.	s.d.	s.d.
100436	3,5	s.d.	s.d.	s.d.

NITRÓGENO (Fig. 234, 235)

En la estación central C1 del lago Tarahuin las especies inorgánicas de nitrógeno (amonio, nitrato) presentaron valores relativamente elevados

En la estación central C1 el nitrito se mostró siempre valores bajo el límite de detección(<0,002 mg N/L).

El amonio presentó valores en el rango de 0,0065 – 0,0111 mg N/L, con un promedio de 0,0079 ± 0,0023 mgN/L, mientras el nitrato mostró un aumento desde la superficie hacia el fondo con un rango de valores entre 0,0739 – 0,2069 mgN/L con un promedio de 0,1174 ± 0,0631 mgN/L y valores máximos en el hipolimnion sobre el fondo alcanzando los 0,2069 mgN/L.

El nitrógeno total mostró un perfil muy homogéneo en toda la columna de agua con un rango de variación entre valores de 0,300 – 0,346 mgN/L. A su vez se observó que en los primeros 15m gran parte del nitrógeno contenido estuvo compuesto por nitrógeno orgánico y a medida que aumenta la profundidad la importancia del nitrato aumento, siendo este predominante en el hipolimnion.

Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos mostraron todas para los parámetros amonio, nitrito, nitrato y nitrógeno total valores similares a los obtenidos para la estación central. El nitrito se registró siempre por debajo del límite de detección (<0,002 mgN/L). Los valores de amonio, nitrato y nitrógeno total promedios en los centros de cultivo fueron como sigue: **Amonio**: Este Río Tarahuin (100436) 0,0079 ± 0,0023 mgN/L; Centro Norte Tarahuin (100521) 0,0066 ± 0,0010 mgN/L **Nitrato**: Este Río Tarahuin (100436) 0,1006 ± 0,0297 mgN/L; Centro Norte Tarahuin (100521) 0,1209 ± 0,0700 mgN/L.**Nitrógeno total**: Este Río Tarahuin (100436) 0,3720 ± 0,0291 mgN/L; Centro Norte Tarahuin (100521) 0,3521 ± 0,0542 mgN/L.

Comparativamente no se encontraron diferencias significativas entre los valores de nitrito, nitrato, amonio y nitrógeno total entre la estación de referencia (C1) respecto a los valores obtenidos en profundidades equivalentes de los distintos puntos de muestreo correspondientes a los centros de cultivo del lago Tarahuin.

FÓSFORO (Fig. 234, 235)

En la estación central C1 del lago Tarahuin las especies inorgánicas de fósforo presentaron valores relativamente elevados. El fósforo soluble mostró un rango de valores de 0,0037 – 0,0216 mgP/L y un promedio de 0,0093 ± 0,0086 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo. El fósforo total se mantuvo en el rango de 0,0223 – 0,0370 mgP/L y un promedio de 0,0271 ± 0,0067 mgP/L, mostrando valores máximos sobre el fondo.

Se observó una tendencia de aumento en las concentraciones de fósforo desde superficie al fondo. Las estaciones correspondientes a las concesiones de los centros de cultivos los valores de fósforo soluble se mantuvieron en el rango de 0,0020 – 0,0214 mgP/L. El fósforo total presentó promedios en los centros de cultivo como sigue: Este Río Tarahuin (100436) 0,0259 ± 0,0012 mgP/L; Centro Norte Tarahuin (100521) 0,0271 ± 0,0074 mgP/L.

Comparativamente no se observan diferencias entre los valores de fósforo total entre la estación de referencia (C1) y los centros de cultivo del lago Tarahuin (Fig. 236).

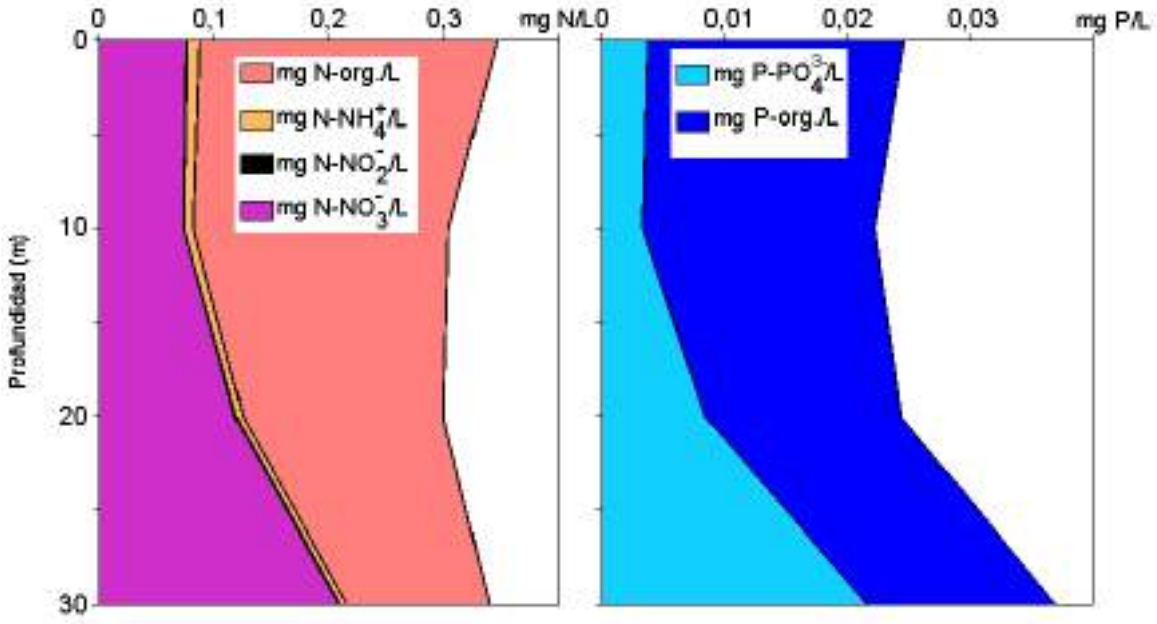


Fig. 234 Perfil vertical de nitrógeno en dos estaciones pelágicas del lago Tarahuin.

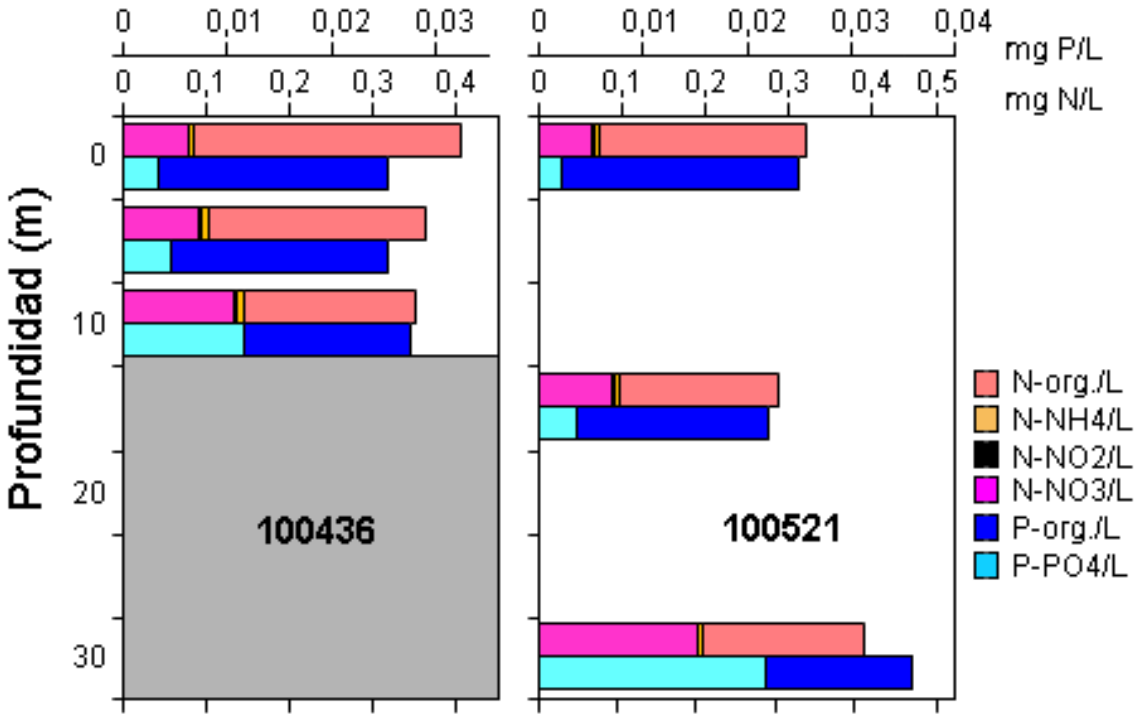


Fig. 235 Fracciones de N y P en los diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin.

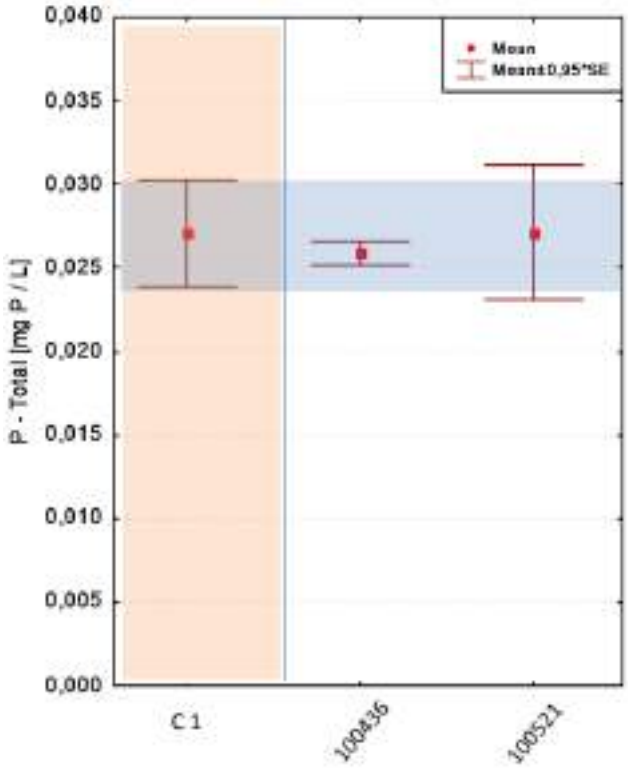


Fig. 236 Comparación de P total (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin.
(Box-wiskers plot). (* = diferencia significativa)

3.10.6.2 Parámetros biológicos

CLOROFILA A

Los resultados de los análisis de clorofila a para la estación central del lago Tarahuin (C1) mostró valores relativamente elevados característicos para un lago más bién oligo- a mesotrófico, con un rango de variación entre los 2,1 – 6,4 µg/L chl a y un promedio de 4,2 ± 1,9 µg/L chl a para la estación C1 (Anexo 3). Solamente la estación 100436 presentó un promedio de clorofila a significativamente mas bajo que la esctación C1 (Fig. 237).

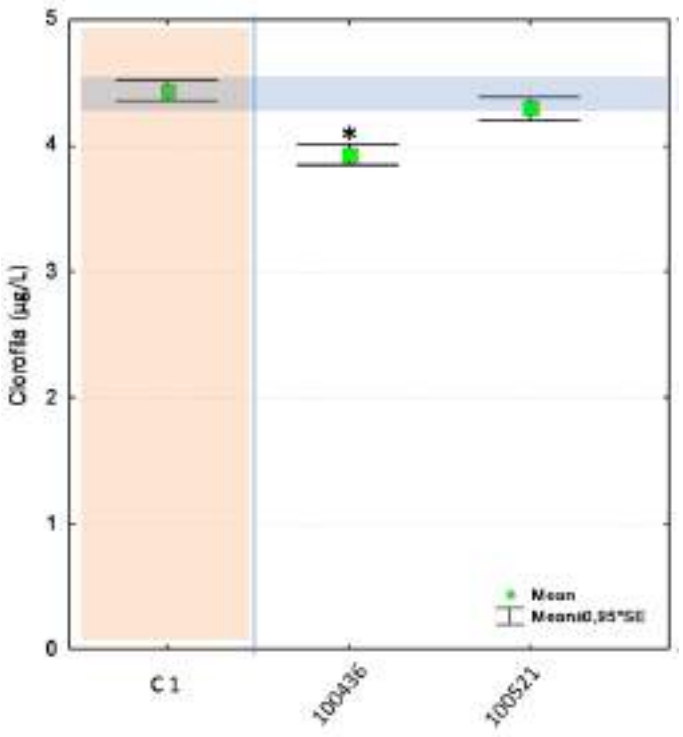


Fig. 237 Comparación de clorofila a (promedio ± error estandar) de las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin. Box-wiskers plot. (* = diferencia significativa)

FITOPLANCTON

Para el Lago Tarahuin se analizaron un total de 6 muestras de fitoplancton, 3 de ellas corresponden a cualitativas de red y 3 a muestras cuantitativas. Todas las muestras analizadas son representativas de la columna de agua desde los 0 a los 30m de profundidad para cada estación de muestreo, Anexo 3. Los resultados aquí presentados no contemplan algas < 5 µm).

La densidad celular de fitoplancton en las distintas estaciones de muestreo varió entre 4,12 E+05 y 1,11 E+07 cel/L, Figura 238. La estación de muestreo código: C1 fue la que presentó la mayor densidad de microalgas mientras que las estación 100436 registró los menores valores de densidad celular, tabla 204.

En total se registraron 47 especies de fitoplancton, de las cuales 19 corresponden a Diatomeas, 16 a Clorofíceas, 2 Crisofíceas, 6 Cianobacterias, 2 Criptofíceas y 2 Dinofíceas (mayor información ver Anexo 4).

La estructura comunitaria de fitoplancton, exceptuando los valores registrados en la estación 100436, se caracterizó por la marcada dominancia de Diatomeas en más de un 90%, siendo *Cyclotella glomerata* la especie más representativos para este grupo (Fig. 239).

En términos generales la abundancia de cianobacterias fue relativa y siempre < al 1%. La marcada dominancia de *C. glomerata* en el fitoplancton de este lago, en términos de abundancia, sugiere un ambiente pelágico mesotrófico.

En base al análisis de muestras de Diatomeas digeridas cabe destacar la ausencia de *Didymosphenia geminata* en el fitoplancton en el lago Tarahuin.

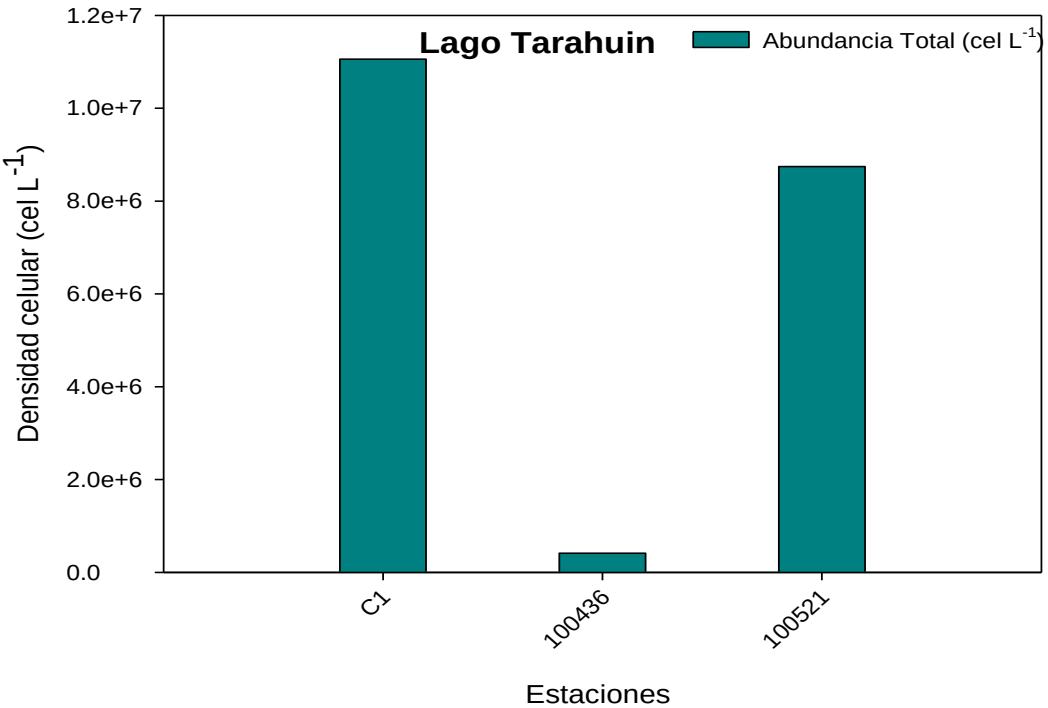


Fig. 238 Densidad celular de microalgas registradas en las 3 estaciones de muestro pelágico del lago Tarahuin.

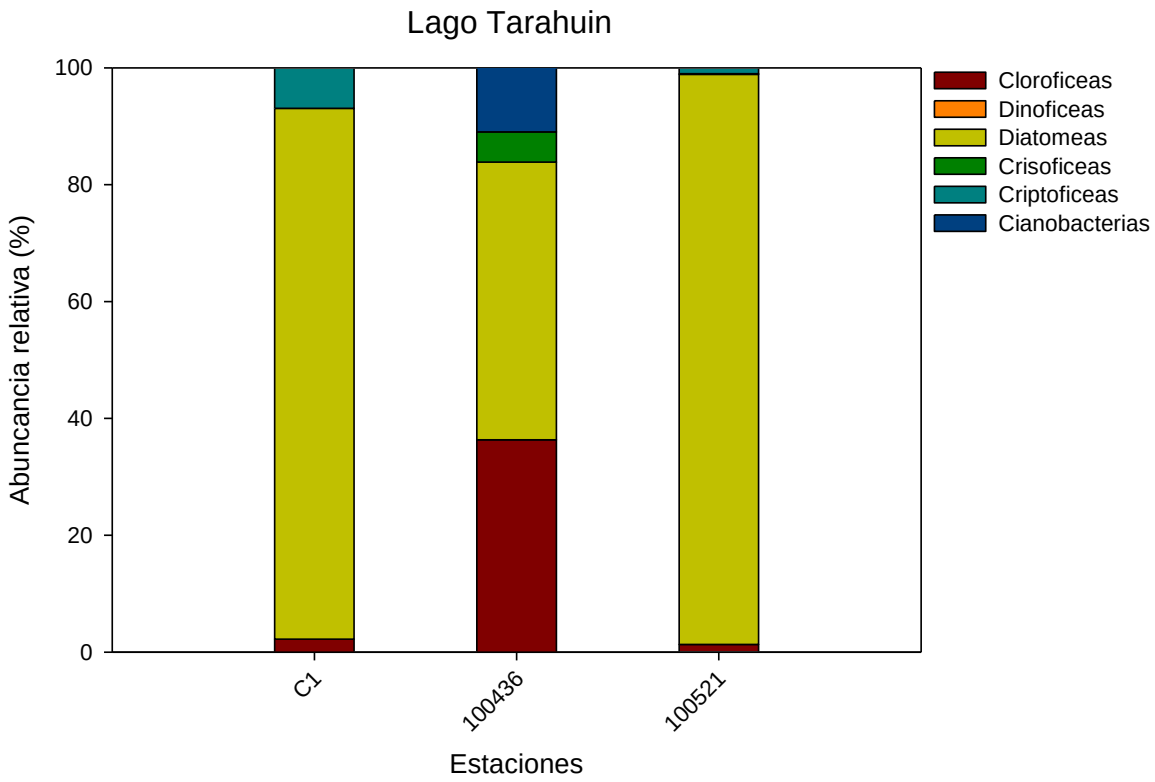


Fig. 239 Abundancia relativa de fitoplancton para los principales grupos de microalgas registradas en las 3 estaciones del lago Tarahuin.

Tabla 204 Valores de densidad celular y abundancia relativa para los principales grupos de fitoplancton registrados en las 9 estaciones de muestreo del lago Tarahuin.

Lago	**Tarahuin**		
Estacion	***C1***	***100436***	***100521***
Densidad Total (cel/L)	1.11E+07	4.12E+05	8.74E+06
Grupo	%	%	%
Clorofíceas	2	36	1
Dinofíceas	0	0	0
Diatomeas	91	48	98
Crisofíceas	0	5	0
Criptofíceas	7	0	1
Cianobacterias	0	11	0

ZOOPLANCTON (Fig. 240, Tabla 205)

Para el Lago Tarahuin se analizaron un total de 3 muestras cuantitativas de zooplancton. El análisis taxonómico mediante microscopía registró 5 géneros

representativos de organismos zooplanctónicos correspondientes a copépodos (*Diaptomus diabolicus*, *Tropocyclops prasinus* y *Mesocyclops* sp.) y a cladóceros (*Daphnia* sp. y *Neobosmina chilensis*). Las abundancias registradas en los diferentes sitios de estudio y sitio control, presentan cierta variabilidad. El sitio con mayor abundancia corresponde al 100436 con 92,8 ind/L mientras que el centro 100521 presenta 44,8 ind/L, lo cual es más cercano a los registros de C1 con 60,6 ind/L. Las mayores abundancias las presentan los copépodos y en menor medida se reportan cladóceros.

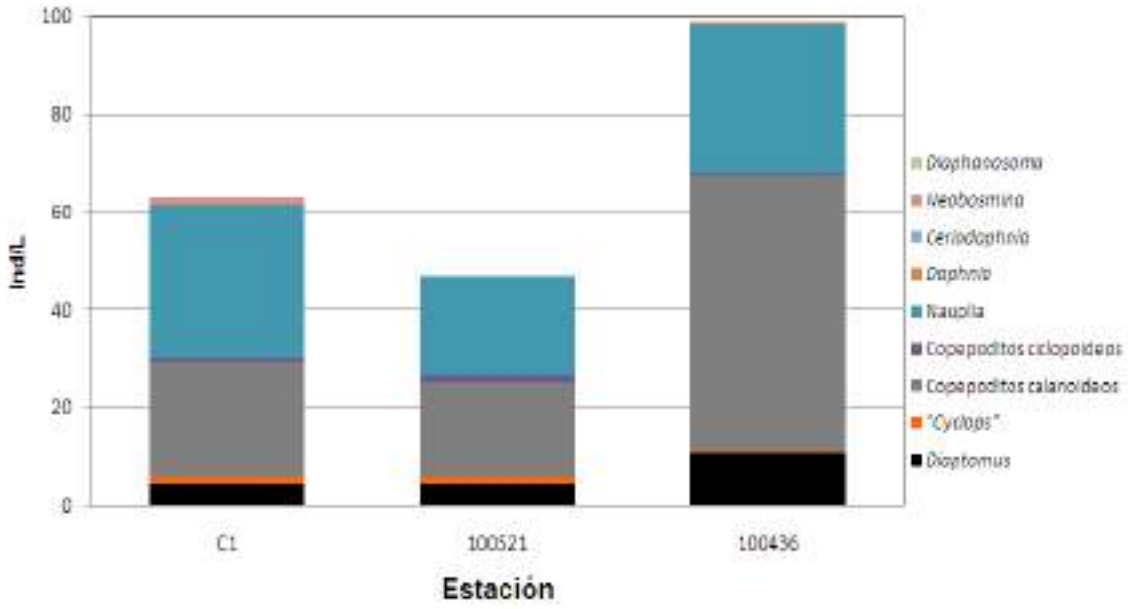


Fig. 240 Abundancia de zooplancton en el lago Tarahuin durante primavera 2012.

Tabla 205 Abundancia de microcrustáceos en el lago Tarahuin durante primavera 2012.

Especies/estación		C1	100521	100436
Copépodos		09-11-12	09-11-12	09-11-12
Copépodos calanoideos		Ind/L	Ind/L	Ind/L
Diaptomus diabolicus	♂	2,43	2,21	5,99
	♀	0,43	1,64	2,14
	♀+H	1,78	0,93	2,92
Copepoditos calanoidos		23,33	19,12	56,72
"Tropocyclops prasinus"	♂	0,00	0,07	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,21	0,00	0,00
Copépodos ciclopoideos				
"Mesocyclops" sp.	♂	1,07	1,07	0,00
	♀	0,00	0,00	0,00
	♀+H	0,14	0,21	0,07
Copepoditos ciclopoidos		1,00	1,43	0,21
Nauplia		31,46	20,33	30,61
Cladóceros				
Daphnia		0,07	0,00	0,07
Neobosmina chilensis		1,14	0,00	0,07
Ceriodaphnia dubia		0,00	0,00	0,00
Diaphanosoma				
Total (Ind/L)		**60,6**	**44,8**	**92,8**

3.10.6.3 Sedimento

En el lago Tarahuín se muestrearon 2 bahías ubicadas en las cercanías de los centros de cultivo Norte Tarahuín (100521) y Río Tarahuín (100436).

En la estación 1, del centro Norte Tarahuín, se observó el predominio de la fracción fango con 69 %, mientras que en las estaciones 2 y 3, dominaron las fracciones de arena muy fina y arena media con el 22 y 48 %, respectivamente. (Tabla 206).

En el centro de cultivo Río Tarahuín predominó la fracción de fango en la estación 1 (69 %) y en las estaciones 2 y 3 dominó la fracción arena muy fina con valores de 57 y 52 %, respectivamente.

Tabla 206 Análisis Granulométrico. Fracciones sedimentarias presentes en las diferentes estaciones del Lago Tarahuín.
Se indica el valor porcentual promedio (n=3) correspondiente a cada estación. Valores en escala phi y en mm

Fracción sedimentaria	phi	mm	estación 1	estación 2	estación 3
Centro Norte Tarahuín 100521					
Grava	-1	4 - 2	0.00	6.40	2.15
Arena muy gruesa	0	2 - 1	0.01	5.85	0.82
Arena gruesa	1	1 - 0,5	1.66	8.67	6.65
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.06	17.62	48.02
Arena fina	3	0,25 - 0,125	3.96	14.51	21.46
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	22.39	33.82	3.05
Fango	5	< 0,063	68.93	13.13	17.85
Centro Río Tarahuín 100436					
Grava	-1	4 - 2	2.49	0,00	0,00
Arena muy gruesa	0	2 - 1	2.29	2.71	4.20
Arena gruesa	1	1 - 0,5	2.96	5.88	4.71
Arena media	2	0,5 - 0,25	3.59	11.16	11.29
Arena fina	3	0,25 - 0,125	4.39	13.83	18.76
Arena muy fina	4	0,125 - 0,063	15.55	57.18	52.08
Fango	5	< 0,063	68.73	9.23	8.95

Las características del sedimento, representadas por los estadígrafos sedimentológicos, señalan las principales tipologías del depósito y se indican en la Tabla 206. El tamaño medio del grano correspondió en la mayoría de los casos a arena fina.

El estadígrafo Selección, como un indicador de la desviación estándar gráfica inclusiva, mostró una alta variabilidad en la gran mayoría de las estaciones del lago, donde predominaron las arenas pobremente seleccionadas. La Asimetría en la distribución de los diferentes tamaños de grano en relación a la media indicó, para la mayoría de los casos un moderado exceso de sedimentos muy gruesos .

Tabla 207 Lago Tarahuín. Parámetros sedimentológicos (media, selección, Asimetría y curtósis) de las tres estaciones de

Centro		Repl.	M	S	A	C	
Norte Tarahuín	1	A	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		B	4,49	0,32	0,00	0,74	Limo muy grueso
		C	3,16	0,95	-0,38	1,88	Arena muy fina
	2	A	2,77	1,48	-0,45	1,36	Arena fina
		B	2,15	2,02	-0,60	0,81	Arena fina
		C	2,14	1,66	0,21	1,01	Arena fina
	3	A	2,43	1,33	0,46	1,08	Arena fina
		B	2,29	1,40	0,46	1,29	Arena fina
		C	2,35	1,63	0,23	1,57	Arena fina
Río Tarahuín	1	A	3,25	1,81	-0,58	1,08	Arena muy fina
		B	2,96	2,05	-0,64	1,04	Arena fina
		C	3,37	0,83	-0,05	1,10	Arena muy fina
	2	A	2,93	1,19	-0,47	1,30	Arena fina
		B	3,23	0,90	-0,34	1,90	Arena muy fina
		C	2,74	1,27	-0,42	0,87	Arena fina
	3	A	2,96	1,09	-0,36	1,15	Arena fina
		B	2,87	1,20	-0,39	1,16	Arena fina
		C	2,85	1,31	-0,49	1,32	Arena fina

La materia orgánica (combustibles totales), presente en el sedimento de las estaciones ubicadas cercanas a los centros del Lago Tarahuín, expresada en porcentaje, se indica en la Tabla 208 y la figura 241.

Los porcentajes de materia orgánica fueron elevados en las cercanías a ambos centros y mayores que aquellos mencionados en las INFAS, registrándose los máximos las estaciones cercanas al centro Río Tarahuín, entre 16 y 28 %, la mayoría acompañadas de olores desagradables.

Tabla 208 Lago Tarahuín. Porcentajes de materia orgánica total Contenida en los primeros 3 cm del sedimento, para cada uno de los centros y estaciones consideradas. Cada valor representa el promedio de 3 réplicas.

Centro	Código	Estación	Profundidad	% MO	Características	
Norte Tarahuín	100521	1	19 m	20,04	Café	s/olor
		2	27 m	17,40	Café	leve olor a huevo
		3	16 m	2,45	Café plomizo	leve olor a desagüe
Río Tarahuín	100436	1	9 m	23,73	Café	s/olor
		2	14 m	16,65	Café	leve olor a huevo
		3	14 m	28,29	Café	leve olor a desagüe

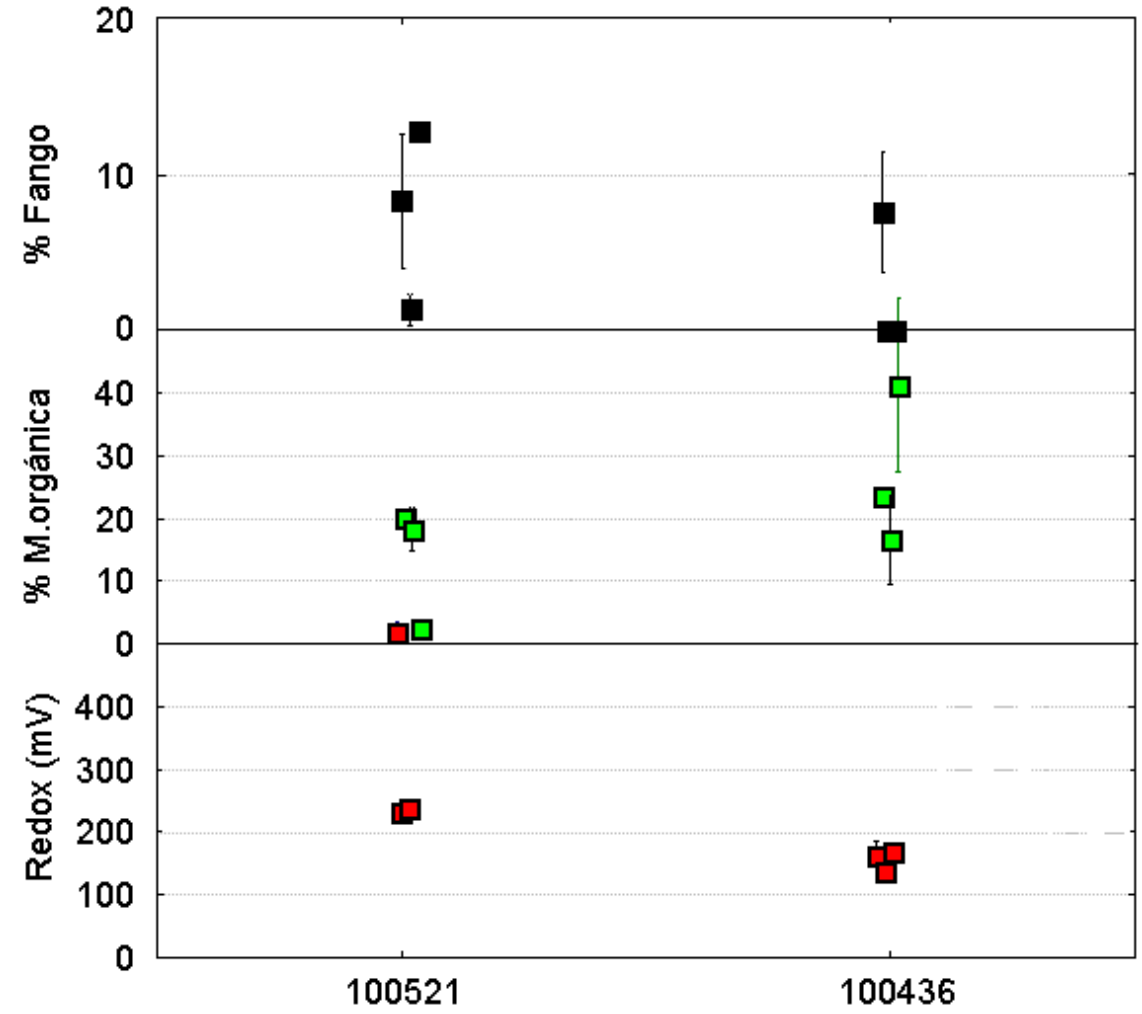


Fig. 241 Fango, materia orgánica y redox (promedio ± error estandar) en las diferentes estaciones de muestreo en al lago Tarahuin

3.10.6.4 Correntometría

La dirección predominante es la componente SW y SE con el 41 % y el 24 % de los registros, respectivamente; existiendo casos intermedios dentro de estos cuadrantes con valores inferiores al 10%. La información anterior se representa en la figura 196. Allí se verifica que las componentes menos frecuentes de los casos recogidos, corresponden a las direcciones N; NE y NW; que no presentan casos; mientras que en la componente S sólo se obtienen registros equivalentes al 15 % de los casos.

VELOCIDAD DE CORRIENTES

La Tabla 209 muestra la estadística general de la intensidad de las corrientes registradas para la totalidad de los registros obtenidos en el punto de medición, correspondiente al Centro de Cultivo Código N° 100521.

Tabla 209 Estadística general de la intensidad de corrientes medidas en el Centro de Cultivos N° 100521, lago Tarahuín.

Estadígrafo	**Valor (cm/s)**
Media	2,8
Máximo	7,3
Mínimo	2,5
Mediana	2,5
Moda	2,5
Desviación Estándar	1,1

La tabla anterior nos muestra magnitudes discretas en el punto de medición, con un rango de intensidad de corrientes entre 2,5 y 7,3 cm/s; por otra parte, se evidencia una partición modal inferior a la medial, lo que pone en evidencia, que la mayor cantidad de casos se concentra en valores inferiores a la media.

Tabla 210 Estadística general de la dirección de corrientes medidas en centro de cultivos N° 100521, lago Tarahuín..

Estadígrafo	Valor (grados)
Media	173
Máximo	250
Mínimo	29
Mediana	195
Moda	241
Desviación Estándar	57

La dirección predominante es la componente SW y SE con el 41 % y el 24 % de los registros, respectivamente; existiendo casos intermedios dentro de estos cuadrantes con valores inferiores al 10%. La información anterior se representa en la figura 242. Allí se verifica que las componentes menos frecuentes de los casos recogidos, corresponden a las direcciones N; NE y NW; que no presentan casos; mientras que en la componente S sólo se obtienen registros equivalentes al 15 % de los casos

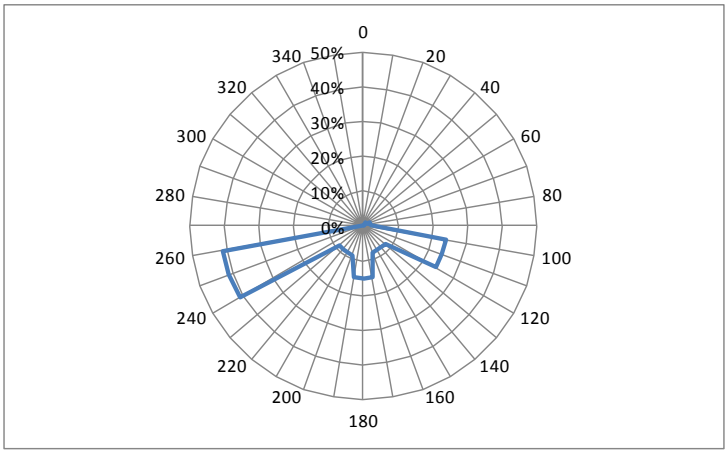


Fig. 242 Rosa de corrientes registrada en el centro de cultivos 100521, ubicado en el lago Tarahuín.

Correntometría Lagrangeana Dìas 21 y 22 de noviembre. (Fig. 243, 244)

Es el menor de los tres lagos de Chiloé estudiados en el proyecto. En forma similar a lo realizado en el lago Natri las determinación de las corrientes se hizo en la noche del 21 al 22 de noviembre, entre las 10:00 del dìa 21y las 09:30

hrs. del 22 de Noviembre. El viento de la noche inconstante en su dirección fue principalmente del SW, con velocidades que fluctuaron desde 13.6kms/HR a 0.9 km/hr hacia el amanecer. Se trata de un lago largo que presenta una angostura en su parte central, ensanchándose luego y manteniendo mayor longitud que anchura. se puede dividir en una primera parte angosta y somera y una segunda parte hacia su extremo oriental algo más ancha, pero predominando su longitud.

Los derivadores superficiales dejados en su extremo occidental realizaron una trayectoria circular hacia la derecha, manteniéndose en el sector occidental del lago. Los dejados en la angostura se mueven hacia el este en primera instancia, pero al acceder al ensanchamiento del lago giran hacia la derecha y se vuelven en dirección al E, regresando en dirección occidental. Finalmente los derivadores dejados en el extremo oriental, avanzaron hacia el N, llegando hasta la orilla en donde fueron rescatados. Los derivadores profundos fueron ubicados a 7.5 m de profundidad, debido a la baja profundidad del lago, de esta forma se pretendió evitar que los derivadores pudieran vararse en fondos someros. Los derivadores superficiales y los de 7.5m alcanzaron velocidades bajas, no superiores a los 3cm/s, coincidente con la intensidad del viento nocturno. En los derivadores profundos dejados en el extremo oriental del lago se aprecia el fenómeno ya comentado, en relación a la dirección contraria al movimiento de los derivadores superficiales que sugiere corrientes de retorno que compensan los movimientos superficiales. La forma particular comentada del lago Tarahuin y la dirección EW de su eje principal explicarían que su reacción a los vientos moderados del SW hayan causado corrientes circulares.

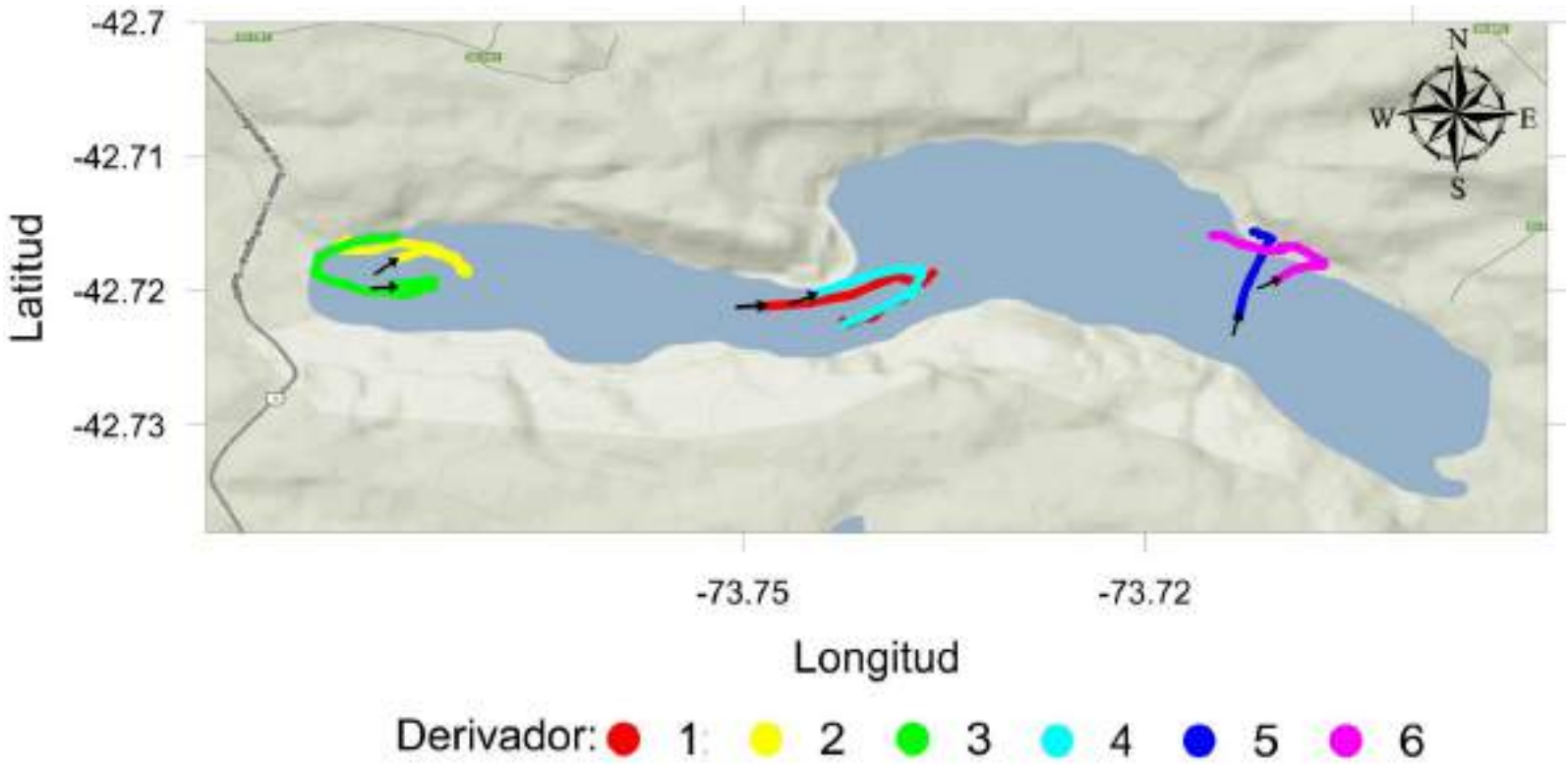


Fig. 243 Movimiento de los derivadores (0 m) en el lago Tarahuin

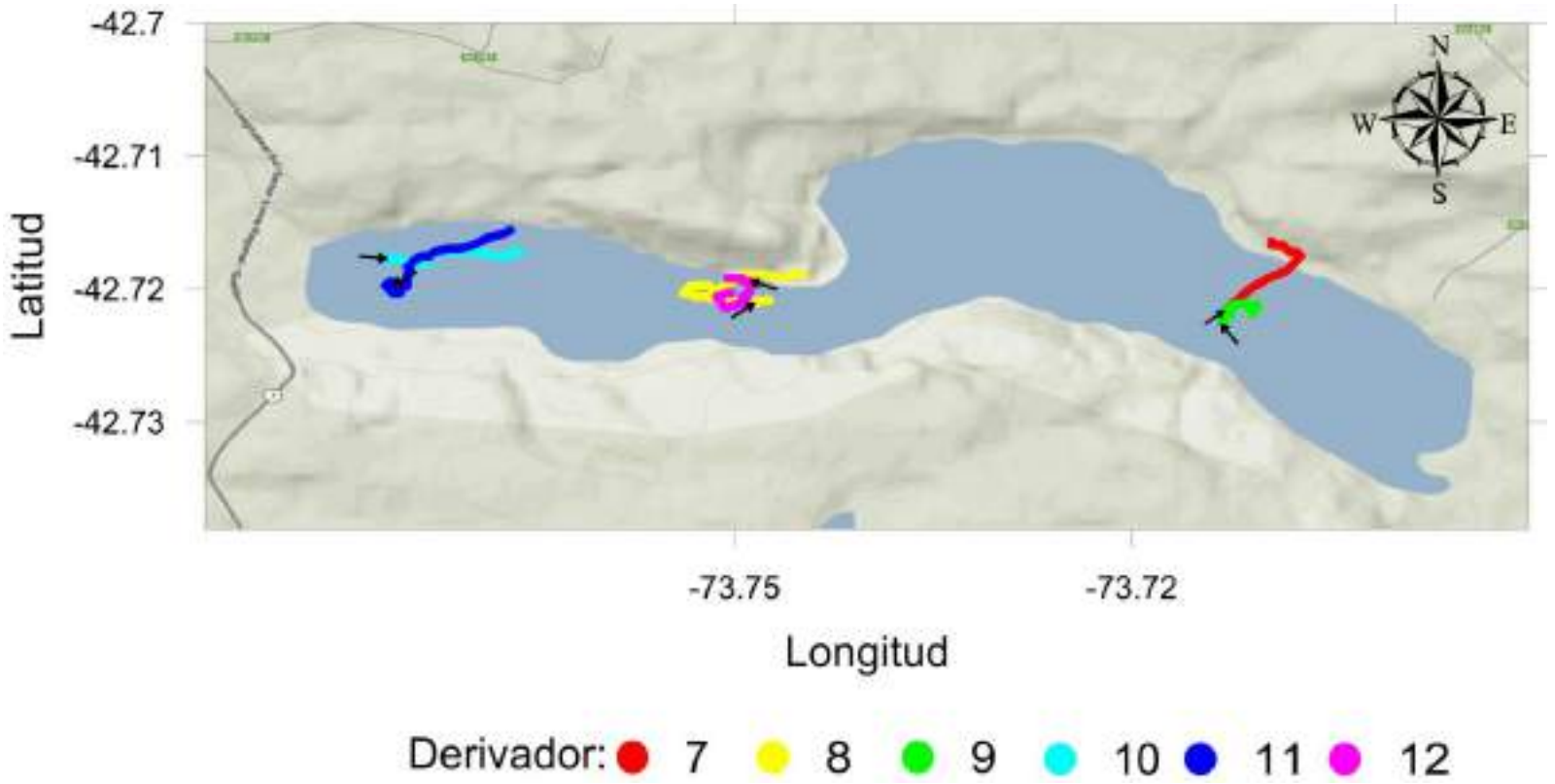


Fig. 244 Movimiento de los derivadores (15 m) en el lago Tarahuin

Concluyendo:

- El Tarahuín es el menor de los lagos pequeños, esto le confiere un grado de alta fragilidad en relación a la intervenciòn antrópica que pueda presentar.
- Relativamente abrigado del viento, de reducida profundidad, con una forma alargada e irregular, una zona estrecha en su sector medio, le otorga una dinámica compleja como acusan las trayectorias de los derivadores y de baja intensidad de corrientes.

3.10.7 Evaluación del estado trófico del lago Tarahuin

Para el lago Tarahuin existen solamente datos tróficos para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) y para primavera 2012 (este estudio) (Tabla 211).

Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 fueron muy similares (0,023 – 0,027 mgP/L) y típicos para ambientes eutróficos.

Respecto a los valores de clorofila, estos fueron tanto en 1996/97 como en en primavera 2012 en el rango mesotrófico en todas las estaciones de muestreo, aúnque con valores en promedio dos veces mas altos en 1996/97 que en 2012.

Respecto a la transparencia esta fue muy similar en 1996/97 y 2012 y en general baja (3,1- 3,5) debido al caracter distrófico del lago Tarahuin (similar a los otros lagos chilotes).

Cabe concluir que parece que el nivel mesotrófico del lago Tarahuin no haya cambiado entre 1996/97, por lo menos respecto a su contenido de PT, transparencia y clorofila a.

Tabla 211 Evaluación del estado trófico histórico del lago Tarahuin (promedio ± desviación estándar). N = fechas de muestreo
Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54 y Villalobos et al. 2003; 2: Este estudio

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=12)	3,1 ± 0,3	0,023 ± 0,013	8,4 ± 3,6	1
2012 (N=1)				2
Centro	3,5	0,027 ± 0,007	4,2 ± 1,9	
100521	3,5	0,027 ± 0,007	4,3 ± 2,1	
100436	3,5	0,026 ± 0,001	5,8 ± 1,1	

3.10.8 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso, la validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación, con el fin de entregar una opinion respecto a la interrogante de si el lago Tarahuin es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

3.10.8.1 Evaluación de la información ambiental disponible

A) ESTUDIOS LINEA BASE Y OTROS – El lago Tarahuin es un lago distrófico con un tamaño pequeño en relación a los demás lagos chilotes (7,7 km^2) y con una profundidad media y máxima considerada como baja a mediana (22 y 33 m) y a su vez presenta un volumen pequeño (0,17 km^3). El tiempo de renovación teórica de sus aguas es de 2,7 años.

No existen datos sobre su calidad ambiental (columna de agua, sedimento) salvo los del estudio FIP IT 96-54, que estudió durante 1996/97 este lago. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada de este estudio revela en resumen lo siguiente:

- Este estudio tiene pocas falencias, la más grande es la sobreestimación de la carga de P por parte de los centros acuícolas debido a la falta de información para este aporte.La carga calculada (~ 6,5 tonP/año) fue ~ tres veces mayor a la carga crítica (2 ton P/año).
- El lago Tarahuin presentó una leve mesotrófía en 1996 con algunos valores eutróficos de clorofila a.

B) INFAS – La revisión de las INFAS de solamente 1 de 2 centros acuícolas existentes en el lago Tarahuin, reveló buenas condiciones del sedimento (fango, materia orgánica, potencial de redox) solamente durante 2010. Durante 2011 los bajos niveles de Redox en la zona de los centros de cultivo mostraron ya el nivel microaeróbico hasta anóxico en comparación con las estaciones de referencia. Al mismo tiempo la materia orgánica aumentó cuatro veces y el porcentaje de fango subió desde ~ 5% a ~ 90% en los sitios balsas jaulas y en similar tendencia también en los sitios de control (60 – 85%).
Esto significaría que las condiciones de los sedimentos empeoraron muy significamente en solo un año, si las INFAS estan realizada de modo confiable.

C) PRODUCCION DE PECES Y CARGA DE P – La producción de peces se registró sin interrupción desde 1995 hasta la fecha, con valores entre ~600 y ~900 ton/año durante los últimos 10 años. Los aportes estimados de P fluctuaron consecuentemente entre 4 y 6 tonP/año. Un centro (100521) aporta 92%, el segundo el resto.

D) MONITOREO ESTE ESTUDIO Y CALIDAD AMBIENTAL

En el marco de este proyecto se realizó un muestreo de la columna de agua (3 estaciones) y del sedimento (2 estaciones). Además se realizaron mediciones de correntometría.

CORRIENTES – Al observar las trayectoria de los derivadores en el lago Tarahuin se aprecia que en el término de 10 a 12 hrs. estos avanzan sin

interferencias abarcando la totalidad del lago, lo que significa que la masa de agua en el lago Tarahuin se mezcla bien y con éste también contaminantes disueltos (nutrientes etc.).

SEDIMENTO – Los datos de sedimento ya se discutieron en el capítulo 3.10.6.4. El centro 100521 mostró elevados contenidos de materia orgánica en el sedimento, que según el potencial redox todavía fue oxigenado.

CALIDAD DE AGUA – En el capítulo 3.10.7 ya se discutió este aspecto en detalle. En resumen se puede decir:

- Los valores promedio de fósforo total medidos en 2012 y 1996/97 fueron muy similares (0,023 – 0,027 mgP/L) y típicos para ambientes eutróficos.
- Los valores de clorofila a indicaron tanto en 1996/97 como en este estudio estado mesotrófico en todas las estaciones de muestreo.
- La transparencia fue muy similar en 1996/97 y 2012 y en general baja (3,1- 3,5) debido al caracter distrófico del lago.

Cabe concluir que parece que el nivel mesotrófico del lago Tarahuin no ha cambiado entre 1996/97 a la fecha, por lo menos respecto a su contenido de PT, transparencia y clorofila a.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS – Los valores de clorofila a fueron similares en la estación control y las estaciones centros de cultivo con valores mesotróficos y dos veces mas bajos que las concentraciones ya reportadas en 1996/97 (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003).

Respecto al fitoplancton, los 47 especies de microalgas encontrados en una fecha son similares al número de especies fitoplanctónicas (53) reportado en 1996/97 97 (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003). Igualmente similar, fue la dominancia de las diatomeas, que aportaron entre 50 y 95% de las densidades en todas las estaciones. También se destacan las altas densidades – hasta 10.000.000 cel/L – en la estación control y el centro de cultivo mas productivo (100521), mientras en la estación 100436 la densidad algal fue muy baja (500.000 cel/L). Estos valores estan en el muy amplio rango histórico (0,3-11.600.000 cel/L).

Respecto al zooplancton las especies encontradas en este estudio son similares a las de 1996/97, con excepción de *Diaptomus diabolicus*, que reemplazó a la dominante *Boeckella gracilipes* anteriormente (FIP-IT 96-24; Villalobos et al. 2003). Las densidades encontradas en nuestro estudio fueron en el amplio rango reportado en 1996/97, siendo similares entre la estación control y los centros de cultivo. No esta claro porque occurió este cambio estructural.

3.10.8.2 Conclusiones y recomendaciónes

En 1996 la Universidad Austral de Chile enfatizó que la carga crítica de fósforo (~ 2,5 ton P/año) ya fue superada por el factor ~2 (~ 5-6 ton P/año). La carga del centro de cultivo aportó en aquel tiempo ~ 50-60% de la carga total. Posteriormente y contrario de las recomendaciones de la UACH en 1996 de no aumentar la producción de salmones, incluso se intensifico la actividad acuícola. El aporte estimado de P por parte de la actividad acuícola aumentó incluso hasta 4-6 tonP/año (2010-2012), lo que corresonde a una sobrecarga de la carga crítica estimada.

Sin embargo, los parametros tróficos medidos en nuestro estudio muestran – a pesar de representar solamente un imagen momentánea – un estado mesotrófico, con valores muy similares a los medidos en 1996. Respecto a la pregunta de cómo recuperar en el futuro el estado oligotrófico del lago o cuán grande es el riesgo de un aumento de la trofía (hacia un estado mesotrófico) en el lago Tarahuin, se debería disponer de datos mas recientes sobre los ingresos de nutrientes al lago para hacer afirmaciones mas acertadas. Sin embargo, las informaciones disponibles permiten realizar las siguientes consideraciones:

Se concluye lo siguiente:

Por sus características morfológicas (tamaño, profundidad) este lago – como todos los lagos de la Isla grande de Chiloe – tiene un hipolimnion muy reducido en comparación con el epilimnion que convierte el lago en un cuerpo principalmente frágil frente al aumento de trofía y consecuentemente al consumo de oxígeno en el hipolimnion. Se recomienda **NO** aumentar e incluso terminar la actividad acuícola en este lago.

3.11 LAGO TEPUHUEICO

3.11.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Tepuheico tiene una superficie de 14,3 km^2 y una cuenca hidrográfica 12,7 veces mayor (Tabla 212). Su profundidad máxima y media es solamente 25 m y 9 m. Su tiempo de renovación es ~ 0,2 años (informe FIP-IT/96-54).

Tabla 212 Características básicas del lago Tepuheico.

Superficie (km^2)	14,3
Cuenca (km^2)	182
Relación cuenca/lago	12,7
Volumen (km^3)	0,128
Profundidad máxima (m)	25
Profundidad media (m)	9
Tiempo de renovación (años)	0,2

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 213 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Tepuhueico. Este lago fue solamente estudiado por la Universidad Austral de Chile durante 1996/97. Los resultados de este estudio fueron publicados por Villalobos y col. (2003).

Tabla 213 Resumen de los datos disponibles para el lago Tepuhueico.
verde: información disponible
1: UACH (1997) informe FIP-IT/96-54; 2: Villalobos et al. (2003); 3: datos entregados por Subpesca

Parámetro	Disponible		Comentario	Fuente
	si	no		
Información indispensable para balance de nutrientes				
Morfometría/batimetría	1996-1997			1, 2
Balance hídrico	1996-1997			1,2
Calidad química agua lago y efluente	1996-1997		mensual, 0-25 m	1,2
Calidad química agua afluentes	1996-1997		6 afluentes, muestreo mensual	1, 2
Cuantificación carga centros	1996-1997		Mediciones bajo balsas	1, 2
Cuantificación carga otras fuentes	1996-1997			1, 2
Balance de nutrientes, carga actual	1996-1997			1, 2
Información adicionalmente disponible				
Análisis uso de suelo	1996-1997		Elaboración propia	1, 2
Biología	1996-1997		Fito-, Zooplancton, producción primaria, muestreo mensual	1,2
Calidad sedimentos	1996-1997		2 estaciones (bajo balsa jaula y control), estacional	1, 2
Correntometría	1996-1997		estacional	1, 2
Infas	2010-2012			3
Producción peces	1995-2012			3
Régimen térmico	1996-1997		0 – 25 m	1, 2

3.11.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

La Universidad Austral de Chile (1997) realizó un estudio con el propósito determinar la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín (Informe FIP IT 96-54).

INGRESO DE NUTRIENTES SEGÚN USO DEL SUELO (Capítulo 1)

Metodología – Los diferentes usos de suelo se determinaron, por fotointerpretación de pares estereoscópicos de fotografías áreas escala 1:20.000, interpretación de imágenes satelitales y levantamiento de terreno.

Resultados – La mayor parte de la cuenca fue cubierta por bosque nativo (77%), seguido por renoval nativo mixto (Tabla 214).

Tabla 214 Uso de suelo en la cuenca del lago Tepuheico (1996).

	Superficie		
Tipo de Vegetación	Hectáreas	Km^2	% superficie cuenca
Bosque nativo mixto	13950	139,5	76,6
Renoval nativo mixto	3220	32,2	17,7
Praderas naturales y mejoradas	520	5,2	2,9
Áreas de tala o desmonte	430	4,3	2,4
Áreas de humedales	100	1	0,5

Evaluación

No hay observaciones.

INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES Y DESCARGA POR EFLUENTE (Capitulo 2)

Metodología – En los tres afluentes más importantes del lago Tepuheico se determinaron mensualmente las concentraciones de N y P, los que en combinación con la medición de caudales permitió estimar las cargas de nutrientes ingresados al lago Tepuheico a través de sus afluentes.

Paralelamente se calcularon en base del usos de suelo en las subcuencas en base de índices de exportación de nutrientes y los caudales calculados la exportación de nutrientes por subcuencas.

Sin embargo, para calcular finalmente la carga de los afluentes, se usaron solamente los valores medidos.

Resultados

Afluentes: El caudal y las concentraciones de fósforo total de los afluentes se presentan en la tabla 215. En general los valores de PT en los cuatro riós fueron entre 21 y 39 µg P/L, con una desviación alta, producto de algunos valores altos (marcados con naranjo).

La carga anual de los afluentes fue **13,6** ton P/año (Tabla 216).

Tabla 215 Caudal y concentraciones de fósforo total en los afluentes principales del lago Tepuheico (DS: desviación estándar). Naranjo: valores altos que llaman la atención

	Río Tepuhueico		sin nombre (R23)		Río Aguas Muertas	
Fecha	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/L)**	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/L)**	**Caudal (m^3/s)**	**P total (µg/L)**
nov-96	5,66	19,6	0,391	22,1	31,6	14,3
dic-96	1,42	28,3	0,109	16,2	2,52	20,2
ene-97	0,13	21,9	0,028	17,4	3,65	14,3
feb-97	3,56	24	0,474	16,6	9,45	17,4
mar-97	0,13	87	0,004	40,2	0,22	95,7
abr-97	4,39	15,3	0,275	20,6	7,19	16,6
may-97	0,86	16,6	0,071	19,6	7,24	21,9
jun-97	3,18	20	0,741	20	8,69	9,8
jul-97	13,5	32,5	1,69	19,6	39,76	84,2
ago-97	8,46	18,9	0,679	18,1	26,36	18,5
sep-97	1,44	16,8	0,091	14,5	2,3	65,1
oct-97	2,12	20,4	0,142	24,5	3,48	16,6
promedio	**3,74**	**26,78**	**0,39**	**20,78**	**11,87**	**32,88**
DS	**0,074**	**14**	**0,02**	**38,9**	**0,7**	**32**

Evaluación

Por falta de otros datos disponibles no se puede validar la calidad de los datos sobre P total reportados para los afluentes. Llaman la atención algunos valores muy altos cuando había un alto caudal. Consecuentemente la carga aumentó en estos meses mucho, lo que resulta en una carga total medida que es 4 veces mas alta que la carga calculada en base del uso de suelo (Rio Aguas Muertas: 13672 versus 2978 kg P).

Tabla 216 Exportación de nutrientes (kg/año) en las subcuencas del lago Tepuhueico.

		Carga subcuenca		
N	**Subcuenca**	**cálculo indice kg P/año**	**medida kg P/año**	**recalculada kg P/año**
1	s/nombre	32		32
2	s/nombre	177		177
3	s/nombre	296		296
4	Rio Aguas Muertas	2978	13672	13672
5	s/nombre	186		186
6	s/nombre	120		120
7	Tepuheico	1302	2799	2799
8	R23	186	239	239
	Suma kg/año	**5277**	**13600**	**17521**

Se estima que esta diferencia es demasiada alta. Nuestro recálculo de las cargas arrojó con 16,7 y 17,5 ton P/año un valor considerablemente mayor al reportado (13,6 ton P/año). No esta claro a que se debe esta gran diferencia de casi 30% del valor reportado.

DESCARGA DE FÓSFORO A TRAVES DEL EFLUENTE

Metodología - Se determinaron mensualmente las concentraciones de fósforo en el efluente del lago Tepuheico, las que en combinación con la medición de caudales permitió estimar la descarga de nutrientes.

Resultados - El caudal y las concentraciones de fósforo total del efluente del lago Tepuheico se presentan en la tabla 217. Hay variaciones notables en el caudal y también en las concentraciones de PT (promedio: 16 µg P/L), con valores entre 8 y 35 µg P/L. Algunos valores (naranjos) fueron considerablemente diferentes a las concentraciones medidas en la superficie del lago. La descarga por el efluente fue **8,8** ton P/año según informe FIP.

Tabla 217 Caudal y concentraciones de fósforo total en el efluente en comparación con el P total en la superficie del lago Tepuheico. Naranjo: valores que llaman la atención

Fecha	Caudal (m^3/s)	Efluente P total (µg/l)	Descarga recalculada ton P/mes	Superficie lago P total (µg/l)
nov-96	19,22	7,7	0,40	15,5
dic-96	6,14	16,2	0,27	2,6
ene-97	2,57	7,9	0,05	6,8
feb-97	15,39	16,2	0,67	12,6
mar-97	6,93	35,1	0,65	38,3
abr-97	37,6	14,9	1,50	13,2
may-97	14,22	17	0,65	27,6
jun-97	52,17	15,7	2,19	8,3
jul-97	35,32	16	1,51	11,9
ago-97	20,75	13,8	0,77	14,7
sep-97	7,54	15,5	0,31	14
oct-97	12,73	12,1	0,41	25,9
Promedio ± DS	**19,22 0,1**	**15,68 25,8**	**9,38 Informe: 8,8**	**16,0 10,5**

Evaluación

En general se puede esperar que las concentraciones de nutrientes en el efluente son similares a los valores superficiales de la columna del lago.Esto se pudo observar en 50% de los casos. En el resto de los casos la mitad de los valores fue mayor, el resto menor que las concentraciones medidas en el lago. No esta claro cuales valores son dudosos ya que no se puede validar los datos. Sin embargo, el promedio de P total en el efluente y el lago son prácticamente iguales.

*Respecto a la descarga, el valor re-calculado (**9,38** ton P) fue mayor que el valor reportado en el informe FIP(**8,8** ton P). No esta claro por que existe esta diferencia.*

INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIÓNES Y BALANCE HÍDRICO (CAPÍTULO 3)

Metodología -Se instalaron en la zona de estudio (5 lagos en Chiloe) una red de 13 pluvimetros totalizadores y 3 pluviógrafos. Mediante el programa computacional SURFER se confecionaron cinco mapas que muestran la distribución espacial de las precipitaciones anuales para todo la zona de estudio para cuatro períodos. Finalmente se sumaron los valores de precipitación calculados para las vertientes y sobre la superficie del lago. La pérdida de agua por evaporación desde el lago, se consideró equivalente a la registrada por una bandeja evaporimétrica ubicada en la zona de estudio. La descarga del lago se determinó mediante un limnigrafo instalado en la desembocadura del lago.

Resultados – De los 625.129*10^6 m^3 de agua que llegaron a la cuenca a través de las precipitaciones, 505.826*10^6 m^3 salieron por la desembocadura del efluente. El saldo participó en la evatranspiración y en los cambios del contenido de agua edáfica (Tabla 218).

Tabla 218 Balance hídrico total de la cuenca del lago Tepuheico (10^6 m^3).

PP	-	Ev	-	Q_{te}	$\pm \Delta W$	=	$Evtr \pm \Delta W_s$
625,129	-	7,935	-	505,826	+2,159	=	113,527

Donde: PP = precipitación
Ev = evaporación desde el lago
Q_{te}= caudal efluente
$\pm \Delta W$ = variación contenido de agua del lago
$Evtr \pm \Delta W_s$= evapotranspiración y variación contenido agua edáfica

A través de las precipitaciones ingresaron **0,86** ton P al lago por año.

Evaluación

No hay observaciones al respecto. Los cálculos parecen coherentes y correctos. Sin embargo, al recalcular el caudal del efluente se obtuvo ***606*** **10^6 m^3 que es 20% superior al reportado (****505*** **10^6 m^3). No esta claro porque se llega a esta diferencia.*

INGRESO AL LAGO DE NUTRIENTES POR CENTROS DE CULTIVO (Capítulo 4)

Metodología - Para estimar la producción de peces en los centros de cultivo, se realizo un modelo teórico sobre las cifras de registros de alimentación y producción de peces debido a la nula información proporcionada por centros de cultivo. Se estimó la producción y el aporte de nutrientes por parte de los centros de cultivos que incluyó estacionalmente un análisis de alimentos suministrados a los peces en cultivo. Adicionalmente se midieron en tubos de sedimentación bajo las balsas jaulas el ingreso de nutrientes a través de los partículas sedimentadas.

Resultados – Se estimó una producción de peces entre 222 y 370 ton por año, para lo cual se estimó necesario entre 260 y 444 ton de alimentó (factor de conversión: 1,2). El aporte de P se estimo en **2,92** ton P/año.

Evaluación

*A pesar de la falta de antecedentes acerca de la producción de los centros, este consultor estima correcto el procedimiento para estimar el aporte de nutrientes al lago por parte de los centros. Sin embargo, los datos acerca de la producción de salmones, entregados a este consultor (véase 3.11.4) indica una producción de salmones de solamente 151 ton en 1997 y un aporte de ~****0,95*** *ton P/año (véase 3.11.3) y no de* ***2,92*** *ton P/año. Habría que considerar este valor en el balance de P (véase abajo).*

CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL LAGO (Capítulo 5)

Metodología – Se estableció una estación en centro del lago, se trabajo a tres profundidades superficial (0.1 m), estrato medio (7 a 10 m), y fondo (13 a 20

m), muestras tomadas mensualmente desde noviembre de 1996 a octubre de 1997.

Resultados – Las concentraciones de fosforo total son altas con un promedio de 15,8 µg/l con un rango entre 2,6 a 41 µg/l, no se observa tendencia estacional entre estratos (Tabla 219). El contenido promedio de P en el lago **2,0** ton P.

Tabla 219 Concentraciones de P total en el lago Tepuheico; naranjo: valores altos; azul: valores bajos

	P total (µg/l)		
	0,1 m	**7 - 10 m**	**13 - 20 m**
nov-96	15,5	17,2	13,6
dic-96	2,6	13,6	11,5
ene-97	6,8	5,3	9,8
feb-97	12,6	7	10
mar-97	38,3	21,9	41
abr-97	13,2	7	10
may-97	27,6	13,6	30,6
jun-97	8,3	11,1	7,9
jul-97	11,9	12,6	13
ago-97	14,7	14,9	23,4
sep-97	14	11,9	16,2
oct-97	25,9	28,3	16,2
Promedio	**15,9**	**13,7**	**16,9**
SD	**10,0**	**6,5**	**10,0**

Evaluación

Se observó variaciones de P total en algunos casos bastante altos tanto en el perfil vertical como entre fechas consecutivas. Sin embargo, por falta de antecedentes sobre este lago, no se puede validar los datos. Queda la duda respecto a estos valores que llaman la atención. El promedio de P total en las tres profundidades por otro lado es bastante coherente.

BALANCE DE NUTRIENTES (CAPÍTULO 8)

Metodología -El cálculo general de balance másico para cualquier intervalo de tiempo se calculó de la siguiente manera.

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = L_{ext} - L_{out} - L_{int}$$

Donde: L_{ext} = carga externa de P durante intervalo de tiempo Δt

L_{out} = descarga de P (efluente) durante intervalo de tiempo Δt

L_{int} = carga interna de P durante intervalo de tiempo Δt

ΔP = diferencia en el contenido de P total en la columna de agua durante intervalo de tiempo Δt

Para calcular la carga L_{ext} se sumaron las cargas de los afluentes, de los centros acuícolas, de la precipitación y de la carga directa de aguas residuales. Esta última se determinó a través de una recopilación de antecedentes sobre la cantidad de habitantes en la zona y estimación de su descarga de P al lago. La descarga se calculó como anteriormente descrito.

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

$$Lc = 17 * (z/Tw)^{0,6} * z^{0,4}$$

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (9 m) y el tiempo de renovación teórica del lago (0,21 años).

Resultados -En la tabla 220 se presenta el resumen de las cargas de fósforo total al lago Tepuheico durante un año. La carga externa total fue 17,5 ton P siendo la calculada carga de los afluentes lejos la mas grande.

La carga crítica fue 5,6 ton P, lo que significa que el lago recibiría una carga casi 3 veces mayor que la carga crítica.

Tabla 220 Resumen de las cargas de P total del lago Tepuheico durante un año (nov 96-oct 97).
Se presenta datos del informe FIP y datos recalculados por este consultor. Azul: valores corregidos

	Cargas de P (ton P/año)		
	Informe FIP		**Recalculada**
Afluentes (L_{ext})	13,6		13,6
Aguas Residuales (L_{ext})	0,06		0,06
Agua Lluvia (L_{ext})	0,86		0,86
Centros de Cultivo (L_{ext})	2,92		0,95
Liberación de sedimentos (L_{int})	0		0
Total cargas	**17,5**		**15,5**

El balance de P arrojó que la mayor parte (~ 78%) de la carga externa L_{ext} sedimento (L_{int} es negativo). El resto, es decir 8,7 ton P se descarga a través del efluente (Tabla 221).

Tabla 221 Balance de P total para el lago Tepuheico según informe FIP y recalculada. Azul: valores corregidos

	ton P/año		
	Informe FIP		**Recalculada**
L_{int}	- 8,7		-3,55
Carga de P Lext.	17,5		15,5
Salida efluente (L_{out})	8,8		8,8
± TP en lago	0,0		0,0
Contenido P en lago	2,0		2,0

Evaluación balance de fósforo total

Contenido P lago: *Tecnicamente se calculo bien el balance de nutrientes. Respecto a las cargas externas este consultor estima que esta fue en general sobreestimada, porque este aporte natural ya sobrepasa la carga crítica por el factor 3, lo que parece poco creible. Igualmente sobreestimada según nuestros cálculos fue la carga de los centros de cultivo.*

*La carga crítica se calculó con una formula no apropiada para lagos con una renovación teórica tan rápida. Se debía haber usada la ecuación 6 (véase 2.2.1.1) que arroja un valor de **8,9** ton P como carga crítica, que es 60% mayor que la carga crítica reportada en el informe FIP.*

CONCLUSION FINAL

En base de las consideraciones realizadas anteriormente se concluye que el estudio de balance sobre el lago Tepuheico tiene falencias, la mas grande esta relacionada con la sobreestimación de las cargas de los afluentes y de los centros acuícolas (Tabla 222).

Tabla 222 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Tepuheico (1996/97).

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	correcto		
Cuantificación cargas afluentes		Probablemente sobreestimada	
Cuantificación carga precipitación	correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas		Sobrestimada	
Cuantificación otras cargas	correcta		
Contenido P lago	Algunos datos altos		
Descarga efluentes	No hay datos		
Modelos utilizados	Balance: apropiado, ecuación carga crítico errónea		
Balance de P		Técnicamente correcta, pero sobreestimacion carga centros	

3.11.3 Producción de peces

En el lago Tepuhueico existe una concesión otorgada con el numero 101834. La producción activa de este centro alcanza en promedio las 123 ton/año durante el periodo 1995 – 2004 y 84,3 ton/año durante 2005-2012 (Fig. 245,

Tabla 223). Se evidencia un aumento progresivo de la producción hasta el año 2008 (480 ton/año).. A partir de 2009 no se registran actividades acuícolas.

Tabla 223 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Tepuheico durante 1995-2004 y 2005-2011 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2005-2011
Sin nombre	101834	123,3	84,3

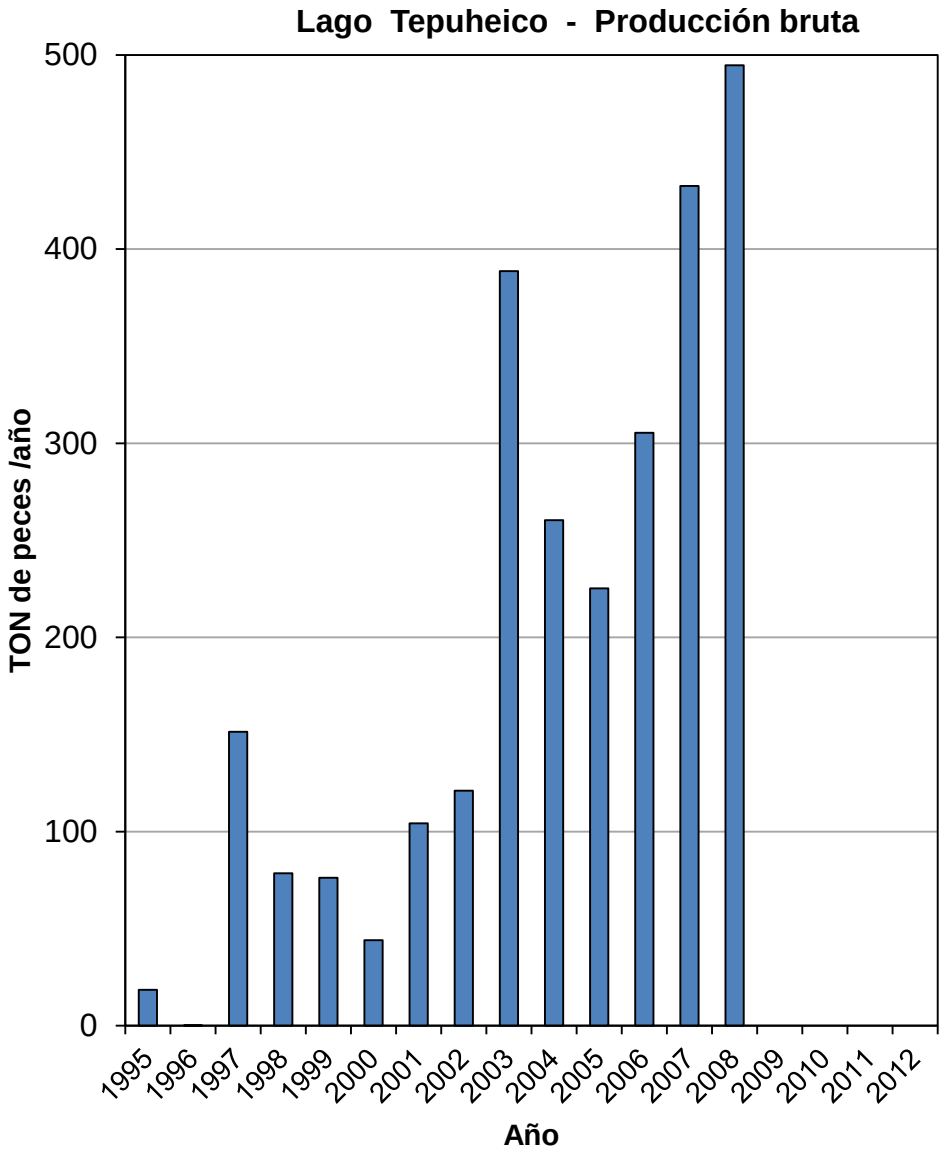


Fig. 245 Promedio de la producción bruta de salmones [ton/año] en el lago Tepuhueico durante el período 1995 – 2012.

La producción bruta, neta y el abastecimiento de peces de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.11.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Anexo 2).

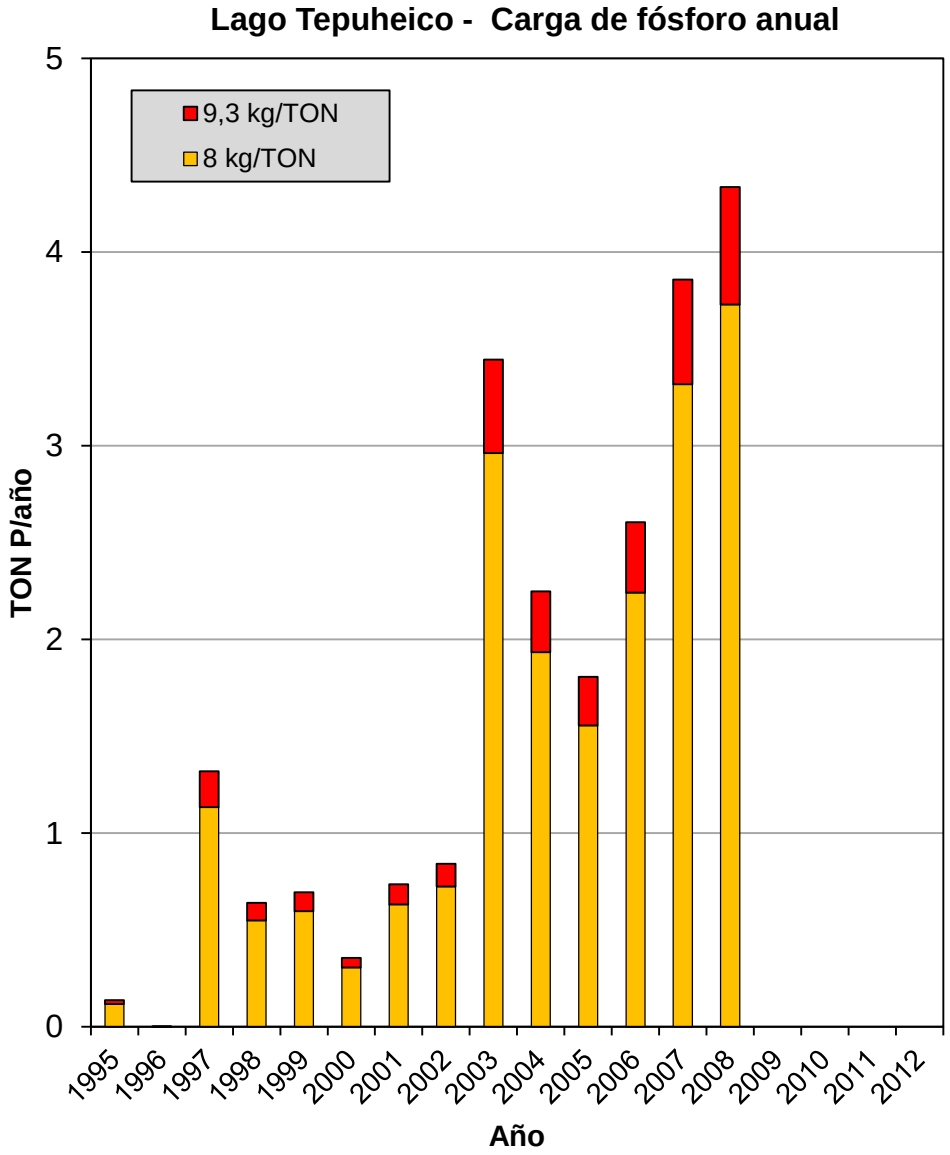


Fig. 246 Los aportes de P calculado para el lago Tepuheico.

El centro de producción existente en el lago Tepuheico (cod. 101834) aportó con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre un mínimo 0,1 ton/año (1995), y un máximo 4,3 ton/año (2008). En los años 1996, 2009-2012 no existen datos de producción (Fig. 246, Tabla 224).

Tabla 224 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Tepuheico durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos. 2012: enero - septiembre

N° centro	**101834**	
Año	MIN	MAX
1995	0,1	0,1
1996	0,0	0,0
1997	1,1	1,3
1998	0,5	0,6
1999	0,6	0,7
2000	0,3	0,4
2001	0,6	0,7
2002	0,7	0,8
2003	3,0	3,4
2004	1,9	2,2
2005	1,6	1,8
2006	2,2	2,6
2007	3,3	3,9
2008	3,7	4,3
2009	0,0	0,0
2010	0,0	0,0
2011	0,0	0,0
2012	0,0	0,0
TOTAL	**20**	**23**

3.11.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.11.6 Evaluación del estado trófico del lago Tepuheico

Para el lago Tepuheico existen datos tróficos solomente para el año 1996/97 (Informe FIP-IT/96-54) (Tabla 225). A diferencia de los demas lagos chilotes estudiados, los tres parámetros tróficos indicaron durante 1996/97 un estado mesotrófico con un rango de fósforo total y clorofila a moderado.

Por falta de datos recientes queda incognito como se desarrolló desde entonces el estado trófico de este lago.

Tabla 225 Evaluación del estado trófico histórico del lago Tepuheico (promedio ± desviación estándar). N = fechas de muestreo
Fuente: 1: informe FIP-IT/96-54 y Villalobos et al. 2003;

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1996-1997 (N=12)	5,0 ± 0,8	0,016 ± 0,009	3,7 ± 4,5 (máx: 19,6)	1

3.11.7 Discusión

En capitulos anteriores ya se discutió en extenso la validez de la información recopilada respecto a el estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos. Por eso se resume y discute aqui solamente los resultados y conclusiones mas relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinion respecto a la pregunta de si el lago Tepuheico es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue

a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA - El lago Tepuheico es un lago de tamaño mediano en relación a los demás lagos chilotes (14,3 km^2) con una profundidad media y máxima (9 y 25 m) relativamente baja y a su vez presenta un volumen bajo (0,128 km^3). El tiempo de renovación teórica de sus aguas es muy corto (0,2 años). No existen datos sobre su calidad ambiental (columna de agua, sedimento) salvo los del estudio FIP IT 96-54. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada en este estudio revela en resumen lo siguiente:

- El lago Tepuheico presentó una leve mesotrófía en 1996 e incluso algunos valores eutróficos de clorofila a. Por sus características morfológicas (tamaño, profundidad) este lago – como todos los lagos de la Isla grande de Chiloe – tiene un hipolimnion reducido en comparación con el epilimnion que convierte el lago en un cuerpo frágil frente al aumento de trofía y consecuentemente al consumo de oxígeno en el hipolimnion.
- En 1996 el consultor del mencionado estudio (Universidad Austral de Chile) ya enfatizó que la carga crítica de fósforo ya fue superada por el factor ~2 en 1996. Aúnque el actual cálculo de los valores reveló una probable sobre-estimación del aporte de P en aquel estudio, se puede apreciar de los resultados obtenidos que el nivel trófico del lago Tepuheico ya estaba mostrando una transición de un estado de oligotrofía hacia un estado mesotrófico con algunos valores de clorofila a altos (19,6 µgP/L) característico de lagos meso/eutróficos en 1996.
- La producción acuícola, que en 1996 fue aproximadamente 100 ton/año, luego aumentó considerablemente hasta alcanzar casi 500 ton/año se cuadruplicó en 2008. El ingreso de P estimado consecuentemente aumentó a valores de aproximadamente 3,3-4,5 ton P/año en 2012 o ~ 70-80% de la carga crítica. A partir de 2009 no se registra mas actividad acuícola en este lago.

Se concluye lo siguiente:

Respecto a la pregunta si el lago Tepuheico es apto para sostener actividad acuícola se concluye que este lago **NO** es apto. Se recomienda **NO** retomar la producción de peces después de abandonar esta actividad en 2009 hasta la fecha. Eventualmente se debe analizar el estado ambiental del lago con muestreos de la calidad trófica de la columna de agua (y eventualmente también del sedimento) durante el período de estratificación térmica con el fin de determinar si el lago aun muestra una tendencia al aumento de trofía.

3.12 LAGO YELCHO

3.12.1 Antecedentes disponibles

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS BÁSICAS

El lago Yelcho tiene una superficie de 120 km^2 y una cuenca hidrográfica 17,4 veces mayor (Tabla 226). Su profundidad máxima y media es 238 m y 110,1 m. Su volumen es 13,3 km^3. Su tiempo de renovación es ~ 0,5 años (informe FIP-IT/97-40, 1999).

Tabla 226 Características básicas del lago Yelcho.

Superficie (km^2)	120,9
Cuenca (km^2)	2101
Relación cuenca/lago	17,4
Volumen (km^3)	13,3
Profundidad máxima (m)	238
Profundidad media (m)	110
Tiempo de renovación (años)	0,5

INFORMACIÓN RECOPILADA

La tabla 227 resume la información disponible acerca de los parámetros claves para evaluar la calidad de agua del lago Yelcho. Este lago fue estudiado detalladamente por la Universidad de Valparaíso durante 1998/99. El estudio de Soto (2002) reporta valores tróficos (2 mediciones por año) para 1992-1999.

Tabla 227 Resumen de los datos disponibles para el lago Yelcho.
verde: información disponible; rojo: sin información disponible
1: Universidad de Valparaiso (1999) informe FIP-IT/97-40; 2: datos entregados por Subpesca; 3: Soto (2002)

Parámetro	Disponible	Comentario	Fuente
Información indispensable para balance de nutrientes			
Morfometría/batimetría	1998	Hecho por UCV	1
Balance hídrico	1998-99	con subcuencas	
Calidad química agua lago	1998 1992-199	24 estaciones , mensual, 3 profundidades 2 muestreos anuales	1 3
Calidad química agua afluentes	1998-99	5 afluentes, estacional	1
Calidad química agua efluente	1998	estacional	1
Cuantificación carga centros	1998	4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles)	
Cuantificación carga otras fuentes	1998	4 estaciones (1 estación bajo balsa jaula y 3 estaciones controles)	
Balance de nutrientes, carga actual	1998		1
Información adicionalmente disponible			
Análisis uso de suelo	1998	catastro bosque	1
Biología			
Calidad sedimentos	1998	3 estaciones (1 estación bajo la influencia de centro, 2 estaciones controles)	1
Correntometría	1998	0, 5, 10 m muestreo estacional	
Infas			
Producción peces	1995-2012		2
Régimen térmico	1998-99	0 – 100 m	1

3.12.2 Evaluación del estudio sobre balance de nutrientes

El único estudio disponible fue el estudio efectuado el año 1998 por el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso (Informe FIP IT 97-40) para determinar la capacidad de carga y balance de P y N del lago Yelcho:

USO DEL SUELO

Metodología - Los mapas de uso de suelo se basaron en mapas topográficos del IGM escala 1:50000 y en cartas del "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile (CONAF-Conama-Birf, 1997). La descripción de los tipos de bosques presentes se realizó por la fisionomía de la vegetación, basado en datos aportados por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (CONAF-Conama-Birf, 1997).

Resultados – Un tercio de la cuenca hidrográfica no esta cubierto con vegetación por lo que estaría mas sujeta a perturbaciones de tipo antrópico. (Tabla 228).

Tabla 228 Tipos de vegetación, con superficie en hectáreas, kilómetros cuadrados y porcentaje dentro de la cuenca del lago Yelcho.

Tipo de Vegetación	Superficie		
	Hectáreas	Km^2	% superficie cuenca
Bosque Nativo Plantación	117,9	1,2	0,08
Bosque Nativo adulto	41966,7	419,7	27,73
Ñadis Herbáceos arbustivos	788,9	7,9	0,52
Bosque Nativo renoval	5584	55,8	3,69
Bosque Nativo Achaparrado	24255,5	242,6	16,02
Bosque Nativo/Exóticas asilvestradas	213,1	2,1	0,14
Renoval	73692,8	736,9	9,08
Otros Terrenos Húmedos	113,7	1,1	0,007
Matorral Arborescente	3763,1	37,6	2,48
Estepa Patagónica	870,3	8,7	0,57
Praderas Perennes	1423,9	14,2	0,94
Turbales	177,3	1,8	0,17
Matorral	5256,2	52,6	3,48
Matorral-Pradera	1537,5	15,4	1,01
Área Sin Vegetación	51447	514,5	33,87

Los tipos dominantes de vegetación son bosques o regeneración natural, bosque achaparrado y estadios sucesionales de perturbaciones de origen antrópico. Vegetación dominada en un 29% por bosques adultos. Zonas altas cubiertas por bosques naturales achaparrados que cubren el 16% de la superficie de la cuenca. Renovales ocupan el 9%, estos tres tipos de

vegetación representan el 56% de la vegetación presente en la cuenca. Principalmente uso forestal con bosque nativo, sectores de pastoreo escasos y limitados a sectores cercanos a pequeños valles que conforman los ríos efluentes. Terrenos de pastoreo formados por praderas de gramíneas con árboles o bosques de renovales.

Evaluación

No hay observaciones.

ENTRADAS DE NUTRIENTES AL LAGO

Metodología

Carga por afluentes - La estimación del ingreso de nutrientes se realizó en un período anual que abarco desde febrero de 1998 a enero de 1999, período en el cual se efectuaron 3 muestreos enero-febrero, junio y noviembre. En la primera campaña de muestreo efectuada entre enero y febrero se muestrearon todos los ríos, esteros y afluentes menores del lago (en total 15). Luego de esto se realizo un análisis de componentes principales donde se identificaron dos afluentes principales, que se muestrearon en los terrenos posteriores, la contribución de los afluentes menores se determino por una proyección basada en la carga obtenida en la primera campaña.

Los caudales de los afluentes y efluente se calcularon de acuerdo a la medida del área correspondiente a la sección de descarga y su velocidad de corriente, siguiendo normas hidrométricas de la Dirección General de Aguas para los aforos. Para determinar las áreas de descarga de los cursos de agua se midió el ancho y se realizo un perfil batimétrico midiendo la profundidad a diferentes intervalos.

Carga por escurrimiento superficial - El ingreso por escurrimiento superficial difuso se efectuó por la selección de tres parcelas (bosque, pradera y mixto). Las precipitaciones y evaporación se estimaron por estación metereológica, pero la estación sufrió desperfectos por lo que funciono unos meses de primavera y unos días del verano de 1998.

Carga por precipitación - Para estimar los aportes de las precipitaciones y evaporación del lago se instaló una estación meteorológica en el borde de cada lago.

Resultados – Las concentraciones de P total (Tabla 229) en los afluentes oscilaron entre 5-17 $mg*m^{-3}$ en el río Futaleufú y 48-70 $mg*m^{-3}$ en el río Yelcho Chico. Alrededor de 80% de la carga total aportó el río Futaleufú con 2111 mg P $m^{-2}a^{-1}$ (= 255 ton P/año) (Tabla 230). La carga total de los afluentes fue 2694 mg P $m^{-2}a^{-1}$ o 326 ton P/año (Tabla 230).

Tabla 229 Estimación de concentración mensual de P total ($mg*m^{-3}$) en afluentes.

Ríos	Futaleufú	Yelcho Chico	Correntoso	Roberto	Flor del Lago
Febrero 98	16,71	48,89	24,32	12,86	6,66
Marzo	11,15	55,66	21,85	12,55	6,88
Abril	5,6	55,66	21,85	12,55	6,88
Mayo	14,6	62,44	19,38	12,25	7,105
Junio	13,82	69,22	16,91	11,95	7,33
Julio	13,82	69,22	16,91	11,95	6,92
Agosto	13,04	76,01	14,44	11,65	7,55
Septiembre	4,97	68,08	13,3	11,76	6,52
Octubre	8,66	60,15	12,17	11,87	5,48
Noviembre	11,45	52,22	11,04	11,98	4,45
Diciembre	14,25	44,30	9,91	12,10	3,41
Enero 99	14,4	46,60	17,12	12,48	5,04

Tabla 230 Estimación carga mensual de P total ($mg•m^{-2}•año^{-1}$) de afluentes.

Ríos	Futaleufú	Yelcho Chico	Correntoso	Roberto	Flor del Lago	Total mes
Febrero 98	239,97	6,08	13,61	1,60	0,6	261,8
Marzo	176,60	9,86	19,93	1,39	0,81	208,6
Abril	85,83	9,55	19,29	1,35	0,81	116,8
Mayo	238,36	13,83	23,77	1,09	1,04	278,1
Junio	224,86	17,35	25,21	0,80	1,29	269,5
Julio	232,36	17,92	26,05	0,83	1,22	278,4
Agosto	225,60	21,89	26,79	0,52	1,53	276,3
Septiembre	75,75	27,96	27,79	0,55	2,11	134,2
Octubre	122,99	33,08	29,97	0,63	2,45	189,1
Noviembre	140,18	34,13	29,56	0,64	2,53	207,1
Diciembre	158,23	35,33	30,43	0,75	2,36	227,1
Enero 99	190,47	21,67	31,40	1,24	1,96	246,8
Total año	**2111,21**	**248,66**	**303,79**	**11,40**	**18,71**	**2693,77**

El ingreso por escurrimiento superficial difusa de laderas fue 24,1 mg P $m^{-2}a^{-1}$ (= 2,9 ton P/año).

Evaluación

La estimación anual de ingresos de N y P al lago es aproximativa, ya que se realizaron tres campañas intensivas de terreno durante un año, considerados períodos que reflejan la variabilidad anual en los caudales y concentraciones de nutrientes.

Los resultados de ingreso de fósforo por los afluentes se expresan en cargas mensuales, lo que se corresponde con la estimación de caudales mensuales y estimaciones de concentraciones mensuales de N y P. Lamentablemente no se indican claramente los datos medidos y los datos calculados/interpolados en las tablas correspondientes.

Datos sobre el aporte de P por precipitación no existen, solamente datos sobre la cantidad de precipitaciones.

La carga de los ~2000 habitantes de la zona esta incluida en la carga de los afluentes.

EGRESO DE NUTRIENTES POR EL EFLUENTE

Metodología – Simultaneamente con el muestreo de los afluentes se muestrearon también el efluente de lago Yelcho.

Resultados – Tabla 231 entrega los valores de las descargas mensuales de P total por el efluente del lago Yelcho. En total salieron 1983,9 mg P $m^{-2}a^{-1}$ o 239,9 ton P.

Tabla 231 Descarga mensual de P por el efluente río Yelcho.

Tabla 45. Descarga mensual de Fósforo total ($mg \cdot m^{-2} año^{-1}$) del efluente rio Yelcho.

Mes	PT ($mg \cdot m^{-2} año^{-1}$)		Mes	PT ($mg \cdot m^{-2} año^{-1}$)
Febrero-98	363,6		Agosto-98	181,5
Marzo-98	279,9		Septiembre-98	88,2
Abril-98	160,0		Octubre-98	141,8
Mayo-98	128,7		Noviembre-98	128,8
Junio-98	149,4		Diciembre-98	121,3
Julio-98	154,4		Enero-99	86,3
Total	1983,9			

Evaluación

No hay datos sobre los caudales del efluente ni las concentraciones de P total, por lo que no se puede verificar las cargas calculadas. Sin embargo, si se utiliza el promedio de P total medido en el lago (9,83 mg P/m^3), se puede calcular que el caudal total anual del efluente fue ~ 24 km^3, valor reportado en el balance hídrico (véase siguiente párafo).

BALANCE HIDRICO

Metodología – El balance se estableció por la variación del volumen a partir de lo ingresos y egresos de agua por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta V = Q_{af} - Q_{ef} + P*A_s - E*A_s + G$$

Donde:
ΔV: variación del contenido del agua del lago en m^3
Q_{af}: aporte de agua al lago por afluentes en m^3
Q_{ef}: egreso de agua del lago por efluente en m^3
P: precipitación en m
E: agua evaporada en m
A_s: área superficial del espejo de agua del lago
G: flujo de agua por escurrimiento subterráneo en m^3

Para estimar el balance se considero como ingresos los afluentes, aportes por lluvia, aporte subterráneo por diferencias de nivel entre la cota medida y la cota esperada. El egreso se cuantifico por el caudal de descarga del río Yelcho única salida del lago.

Resultados – La tabla 232 reporta el balance hídrico del lago Yelcho, según el cual la precipitación fue 4,1 km^3, la evaporación (terrestre) 18,5 km^3 y la descarga (efluente) fue 25,1 km^3. La tasa de descarga fue 1,9 por año, lo que significa que el tiempo de renovación teórica del agua fue 0,54 años.

Tabla 232 Balance hídrico lago Yelcho.

Tabla 49. Balance hídrico del lago Yelcho

	Unidades	Superficie terrestre	Lago	Total cuenca
Area	km^2	2222,19	120,9	2343,1
Volumen	km^3		13,31	
Precipitación (1860,9 mm/año)	km^3/año	4,14	0,23	
Evaporación	km^3/año	18,49	1,06	19,55
Descargas laderas	km^3/año	0,71		
Descargas ríos	km^3/año	25,10	24,80	24,80
Tasa de descarga	$año^{-1}$		1,9	
Tiempo de residencia	(V/Q, año)		0,54	

Evaluación

Hay incongruencias acerca de los valores reportados en la tabla 49 (del informe) y la tabla 33, donde el area de drenaje fue 2101 km^2 y no 2222 km^2. Respecto al balance hídrico se evidencia que la evaporación es incorrecta (véase Tabla 232). Para el area terrestre de 2222 km^2, con una precipitación de ~ 4 km^3 por año, se debe esperar una evaporación de ~ 1,3 km^3 y no de 18,49 km^3. No esta claro cual parte del balance hídrico además es errónea, las entradas y/o las salidas.

CARACTERIZACION FISICO-QUIMICA COLUMNA DE AGUA

Metodología – Se midió en 3 muestreos anuales (verano, invierno, primavera), en cada uno de ellos se realizaron dos campañas espaciadas por un lapso de 5 días. Se seleccionaron 24 estaciones (Fig 247), cubriendo toda el área del lago con el fin de permitir un adecuado cálculo de isolíneas. En cada estación se obtuvieron muestras a tres profundidades superficie, termoclina (40 m), e hipolimnion (200m). Durante los muestreos mensuales se obtuvieron muestras superficiales de tres estaciones.

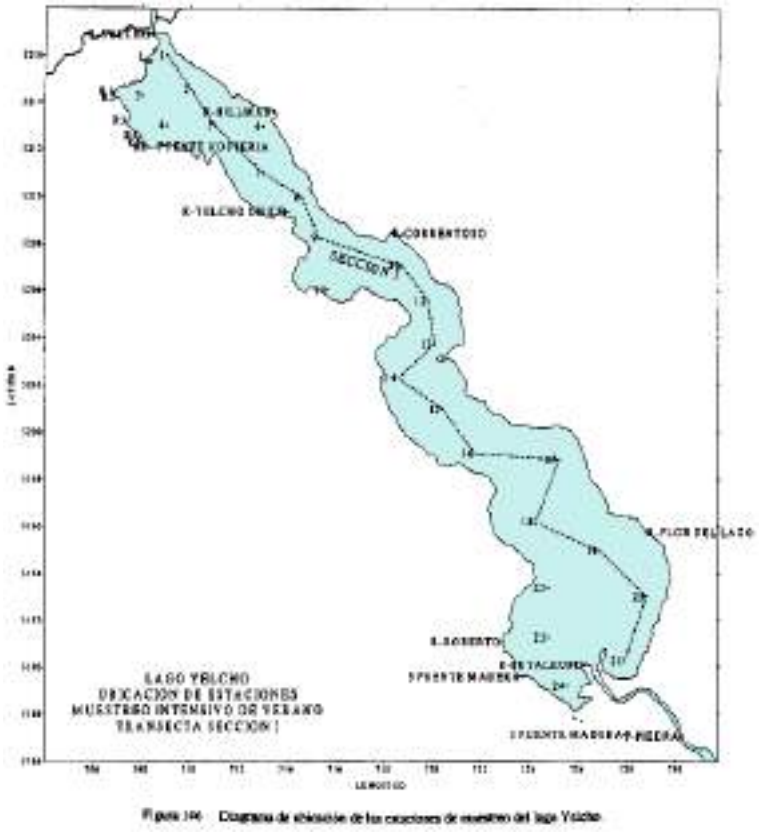


Fig. 247 Diseño muestreo estacional lago Yelcho.

Resultados – El P total varía entre 2,55 y 55,4 mg/m^3 siendo la media armónica de las concentraciones 10,64 mg P/m^3, mientras la concentración promedia anual fue 9,83 mg P/m^3 (Tabla 51 informe FIP). Mayores concentraciones fueron encontradas en el sector norte, cercano a la desembocadura.

La masa total promedio fue 130 ton P, con variaciones hasta 225 ton en febrero (Tabla 233).

Evaluación

Hay bastante varibilidad en las concentraciones de P total a nivel horizontal y entre los muestreos respectivos (Tabla 233). No esta claro si esto es debido a problemas analíticos o si refleja realmente variaciones existentes.

Tabla 233 Contenido de P total en lago Yelcho.

Mes	P total kg
Febrero	224694
Marzo	
Abril	115743
Mayo	110798
Junio	
Julio	
Agosto	120949
Septiembre	94496
Octubre	113743
Noviembre	
Diciembre	135206
Enero	
Promedio anual	**130804**

Una limitación para estimar la masa de P en el lago fue el hecho que solamente en primavera se muestreó hasta el fondo (200 m). Llama la atención la alta masa de P total en febrero. No se refleja en el aporte por los afluentes, especialmente el río Futaleufú. Quedan ***dudas serias*** *acerca de la confiabilidad de los análisis de P total.*

DETERMINACION DEL BALANCE DE FOSFORO Y CARGA CRÍTICA

Metodología

La determinación del balance de fósforo fue por la suma de los flujos ingresos y egresos, cada uno calculado por el producto entre le correspondiente flujo de agua y su concentración, la ecuación utilizada fue:

$$M = (\Sigma V_{af}C_{af} + V_{pp}C_{pp} + V_e C_e + aC_a) - \Sigma V_{ef}C_{ef} \pm IS$$

Donde:
M: contenido másico total de P o N
$V_{af}C_{af}$: Masa ingresada por afluente del lago
$V_{pp}C_{pp}$: Masa suministrada directamente por precipitaciones
$V_e C_e$: Masa perdida con un efluente
IS: Masa intercambiada con el sedimento

El contenido total de fósforo en el agua ser realizó por dos vías, en una se procedió a sumar los valores de contenido por estrato, que resulta del producto

individual del volumen por estrato de profundidad y de su concentración por estrato. La segunda se llevo a cabo utilizando el producto del volumen del lago y la concentración total, calculando por la fórmula derivada de modelo de Dillon y Rigler (1974)

$$C_{tot} = \Sigma L*(1-R) / Z*f$$

Donde:
ΣL: suma de cargas de ingreso al lago
R: valor de la retención por sedimentación
Z: profundidad media
f: fracción del lago renovada anualmente

La retención (R) se estimo según Larsen y Mercier (1976)

$$R = 1/ 1+ 0,747*f^{0,507}$$

La carga crítica se calculó según la fórmula de Vollenweider (1974)

$$Lc = 17 * (z/Tw)^{0,6} * z^{0,4}$$

Donde Lc (carga crítica, en mg P/m^2/año) depende de la profundidad media (110 m) y el tiempo de renovación teórica del lago (0,54 años).

Resultados – La carga anual de P (afluentes, laderas, precipitación) del lago Yelcho fue 2722 mg·m^{-2}año^{-1} o 329 ton P (Tabla 235). El balance de P revela que el lago recibe 329 ton P, descarga 290 ton P y estaría reteniendo 89,2 ton/año de P total en sedimentos (Tabla 236).

Tabla 234 Concentración de P total del lago Yelcho (P_{tot}).

	Valor	Unidad
Carga de P desde afluentes	2722	mg·m^{-2}año^{-1}
Renovación total del lago	0,54	año^{-1}
Retención equivalente a sedimentación	0,494	
Profundidad media (volumen/superficie)	110,1	m
Contenido de P total lago (promedio anual)	130,8	ton
Volumen total del lago	13,31	km^3
Concentración media de P total en lago	9,83	mg·m^{-3}

Tabla 235 Balance de P total lago Yelcho.

	Unidad	
	$mg \cdot m^{-2} año^{-1}$	ton/año
Entrada de nutrientes (afluentes, laderas etc.)	2722	329
Salida de nutrientes		
Descarga del río Yelcho	1984	239,9
Intercambio sedimentos	738	89,2

Tabla 236 Parámetros indicadores de estado trófico de lago Yelcho

	Unidad	Media Armónica	Rango	Primavera	Verano	Invierno
P total	$mg/\cdot m^3$	11,17		8,78	15,45	8,92
N total	$mg/\cdot m^3$	30,4		126,3	121	13,7
Clorofila	$mg/\cdot m^3$	0,04		0,02	0,05	0,33
Visibilidad	m	6,6		8	7	5

Media armónica de concentraciones

El lago Yelcho se encontraría próximo a la mesotrofia ya que la carga actual de P 2718 mg $m^{-2} año^{-1}$ casi es igual a la carga crítica estimada.

La carga critica de fósforo según modelo Vollenweider modificado por Dillon y Rigler fue 2719 $mg \cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$ o 329 ton P (Tabla 237). El estudio concluye que la carga actual de fósforo que recibe el lago Yelcho prácticamente iguala la carga crítica estimada, por lo cual se recomienda no autorizar aumento de la carga. El lago Yelcho ya esta en el límite de las categorías de oligotrofia y de mesotrofía.

Tabla 237 Cálculo de carga crítica para P total lago Yelcho (L_c).

	Valor	Unidad
Superficie lago	120,9	Km^2
Volumen lago	13,3	Km^3
Profundidad media	0,110	km
Tasa anual de desagüe	1,86	$Año^{-1}$
$Z^{0,4}$	6,6	
Z/T_w	58	
$(Z/T_w)^{0,6}$	11,4	
Carga crítica: L_c (P_{total})	2719	$mg \cdot m^{-2} año^{-1}$
	329	ton P

Evaluación

Aúnque los cálculos per se son coherentes y correctos, no se entiende por que la masa total de P en la columna de agua es tan alta considerando las menores cargas reales de P, que según el modelo de Vollenweider no se deberían reflejar en una concentración de 0,0098 mg P/L, sino en una concentración menor (0,0067 mgP/L).

No queda claro como influyó el error en el balance hídrico en el balance de P total.

Los cálculos de la capacidad de carga son correctos.

CONCLUSION FINAL

En comparación con el estudio del Lago Chapo este estudio presenta los cálculos realizados con mucho mas detalles, lo que facilita su comprensión.

Hay por lo menos un error grave en el balance hídrico donde se sobrestima la evaporación por aprox. el factor 10x.

La determinación de la masa total de P en el lago tiene ciertas limitaciones debido a los pocos datos en el hipolimnion del lago. En general en contenido de P en el lago parece sobreestimado considerando la concentración de P en el afluentes principal y de acuerdo a los modelos predictivos utilizados. En la tabla 238 se resumen la evaluación de este estudio:

Tabla 238 Resumen de la evaluación del estudio de balance de nutrientes en el lago Yelcho.

Parámetro	**Evaluación/comentarios**		
	Sin problemas	**dudosa**	**Con problemas**
Balance hídrico	Evaporación muy sobreestimado		
Cuantificación cargas afluentes	Dudosa por balance hídrico		
Cuantificación carga precipitación	Correcta		
Cuantificación carga centros acuícolas	No se realizó, pero fue muy baja (véase 3.11.4)		
Cuantificación otras cargas	Correcta, pero insignificante		
Contenido P lago	Pocos datos en profundidad, masa de P eventualmente sobreestimado ?		
Descarga efluentes	Coherente, pero con dudas respecto a valores		
Modelos utilizados	Apropiados		
Balance de P	Dudosa por errores del balance hídrico		

3.12.3 Producción de peces

En el lago Yelcho existen 2 concesiones otorgadas, con una producción bruta que alcanza en promedio 79 ton/año y 937 ton/año durante 1995-2004 y 2005—2012 (Tabla 239). Como se observa en la Figura 248, hasta el año 2003 los montos de producción son irregulares, con volúmenes que no sobrepasan las 300 ton/año. Durante 2005-2008 practicamente no había producción. A partir del año 2009 se produce un aumento muy significativo en los registros con montos que alcanzan incluso las 1280 ton/año en 2012.

Practicamente toda la producción bruta corresponde a la que se encuentra ubicada en el LAGO YELCHO SECTOR 1 N° 101521, con un 99% de la producción total de salmones registrados en el lago Yelcho (Fig. 249).

Tabla 239 Ubicación y promedio de la producción bruta de salmónidos en el lago Yelcho durante 1995-2004 y 2005-2012 (ton/año).

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	1995-2004	2009-2012
LAGO YELCHO, SECTOR 1	101521	75,1	926,8
LAGO YELCHO, SECTOR 2	101522	3,5	9,9
	TOTAL	**78,6**	**936,7**

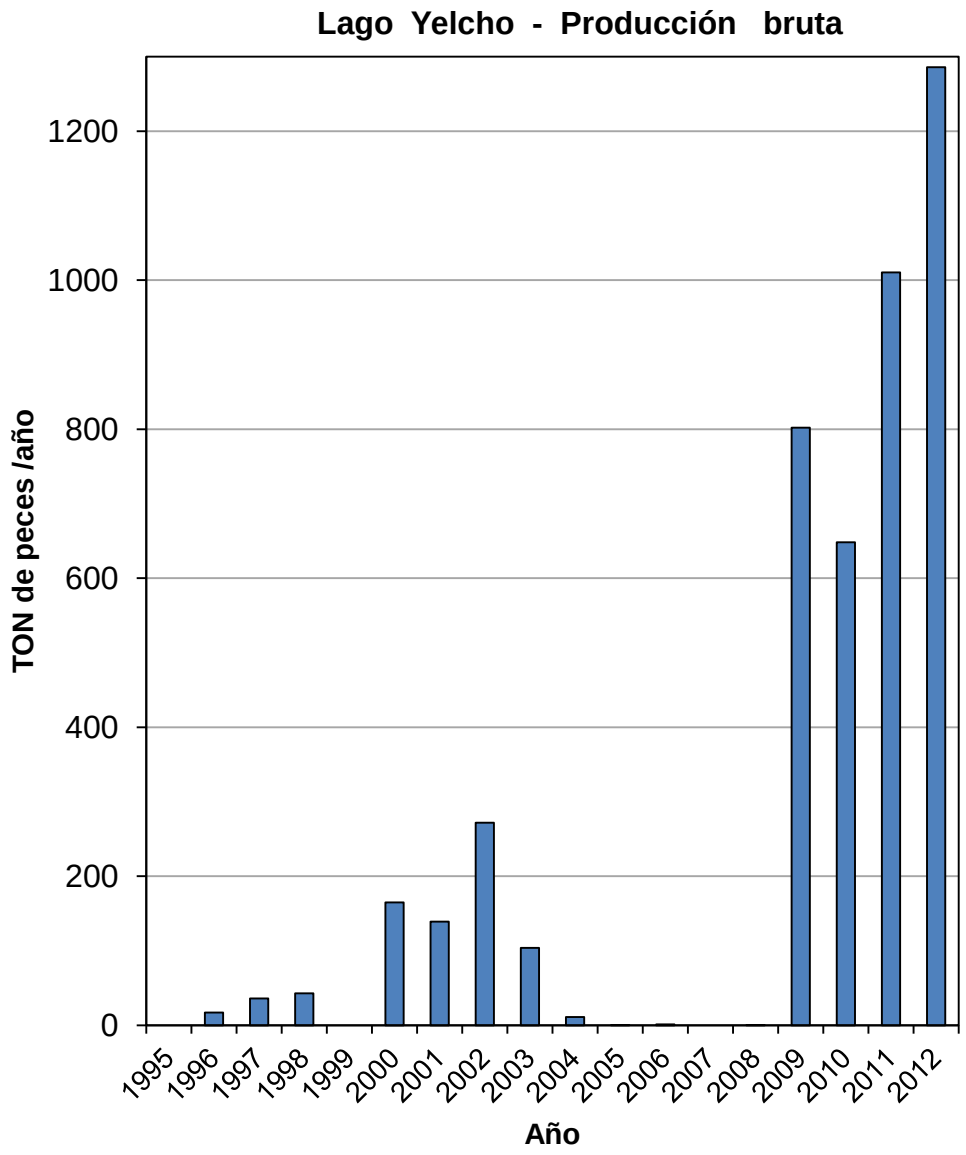


Fig. 248 Promedio de la producción acuícola de salmón [ton/año] en el lago Yelcho durante el período 1995 – 2012.

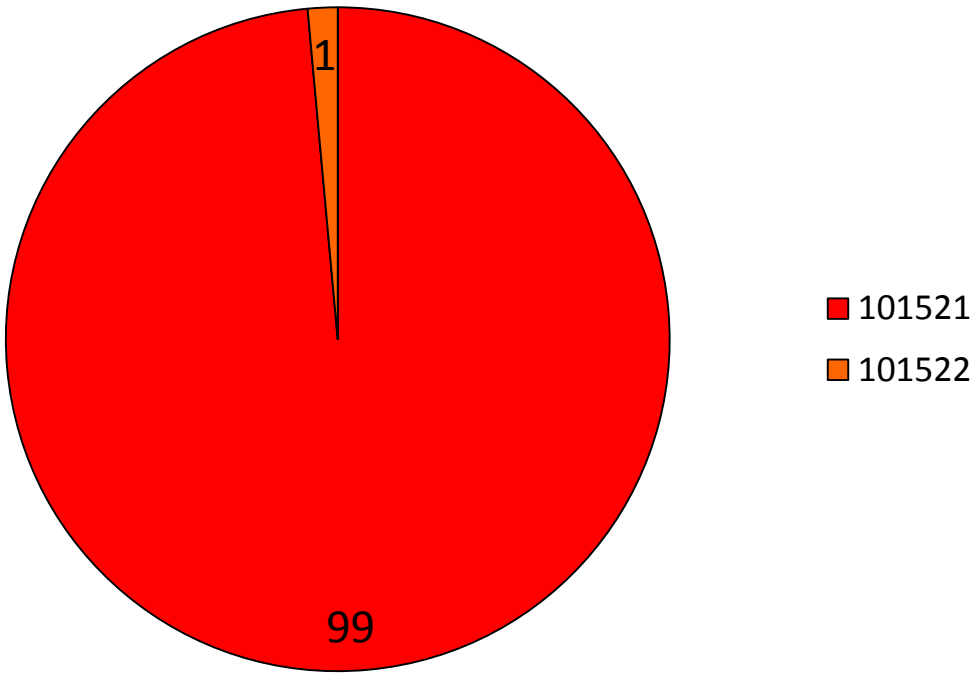


Fig. 249 Promedio porcentual de la producción acuícola de salmón en el lago Yelcho en el período 1995 – 2012.

La producción anual detallada de cada centro de cultivo se reporta en el anexo 2.

3.12.4 Estimación del aporte de P por los centros de cultivo

Para estimar el aporte de P por los centros de cultivo se realizó una estimación mínima y máxima asumiendo un aporte de P de 8 - 9,3 kg/ton peces producidos (véase capítulo 2.2.2.3). En consecuencia el aporte de P generado por los centros de cultivo muestra la misma tendencia temporal que la producción neta de los peces (Anexo 2).

Los 2 centros de producción existentes en el lago Yelcho (cod. 101521 y 101522) aportaron con su producción de peces, una carga de P total que fluctuó entre un mínimo 0,1 ton/año (1995), y un máximo 12 ton/año (2012) (Fig. 250, Tabla 240). En general, se observa un primer período con valores variables con app. 0,5 - 2,5 ton/año (1995 – 2005), y un segundo período que evidenció un fuerte aumento en el aporte de P asociado a la producción en el período 2009 – 2012. El mayor aporte estuvo asociado al centro 100521

mientras que el aporte del centro 100522 solo fue marginal. En los años 2005-2008 no existen datos de producción (Fig. 250).

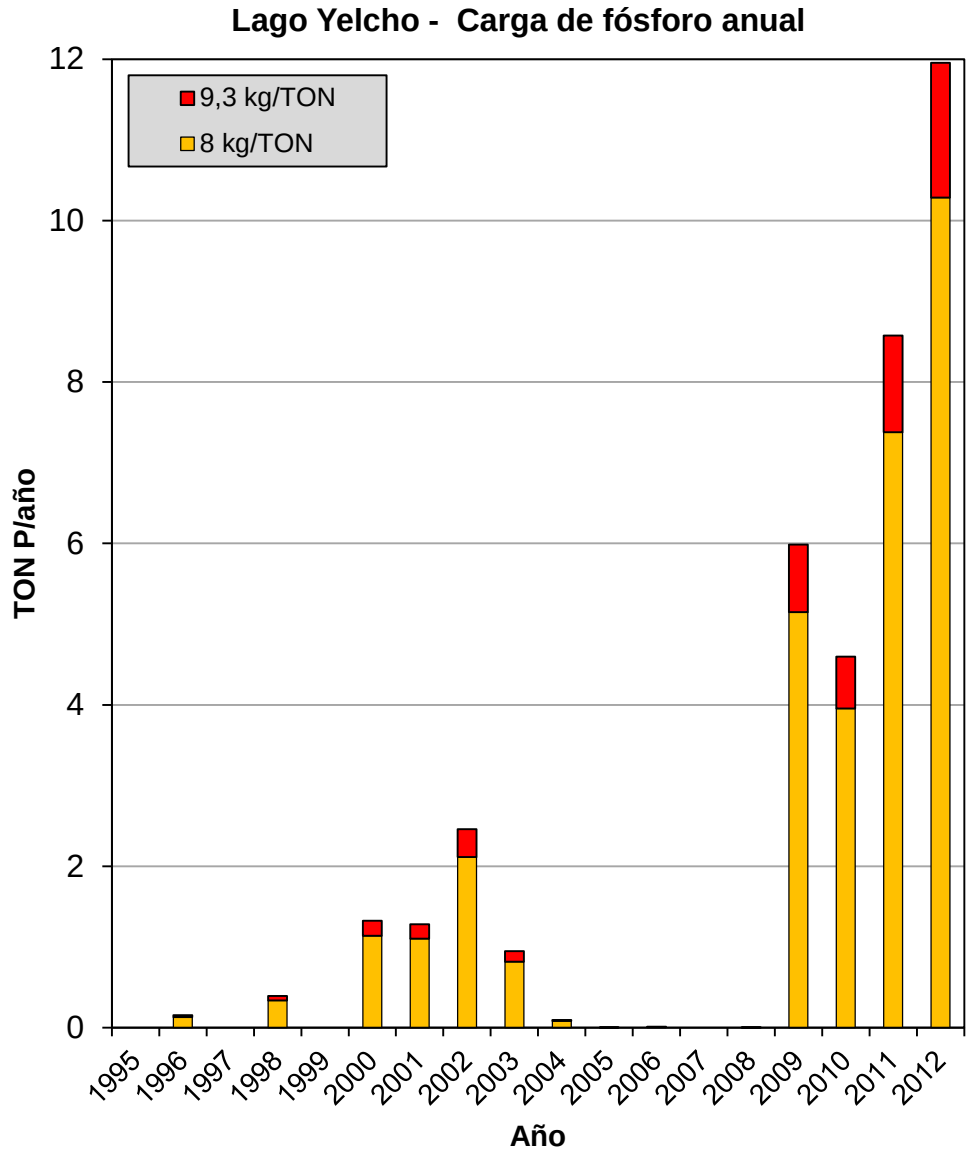


Fig. 250 Los aportes de P calculado para el lago Yelcho.

Tabla 240 Porcentaje de aporte relativo de los centros de cultivo a la carga total de P en el lago Yelcho durante 2005-2012

Ubicación nominativa concesión	N° concesión	%
LAGO YELCHO, SECTOR 1	101521	99
LAGO YELCHO, SECTOR 2	101522	1
	TOTAL	**100**

Tabla 241 Estimación del aporte de P (ton/año) por centro de cultivo en el lago Yelcho durante 1995-2012 (ton/año).
MIN: aporte = 8 kg/ton peces; MAX: aporte = 9,3 kg/ton peces producidos.

N° centro	101521		101522		Total	
Año	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1996	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1998	0,3	0,4	0,0	0,0	0,3	0,4
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	1,1	1,3	0,0	0,0	1,1	1,3
2001	1,0	1,1	0,1	0,1	1,1	1,3
2002	2,1	2,5	0,0	0,0	2,1	2,5
2003	0,8	0,9	0,0	0,0	0,8	0,9
2004	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2007	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	5,1	6,0	0,0	0,0	5,1	6,0
2010	3,6	4,2	0,3	0,4	4,0	4,6
2011	7,4	8,6	0,0	0,0	7,4	8,6
2012	10,3	12,0	0,0	0,0	10,3	12,0
TOTAL	32,1	37,3	0,4	0,5	32,5	37,8

3.12.5 Evaluación de la Información ambiental de los centros de cultivo

No se ha obtenido información sobre la INFAS de los centros acuícolas de este lago.

3.12.6 Evaluación del estado trófico del lago Yelcho

Para el lago Yelcho existen datos tróficos solamente para los años 1992-1999 (dos mediciones por año) y para el año 1996/97 (12 medicones) (Fig. 251).

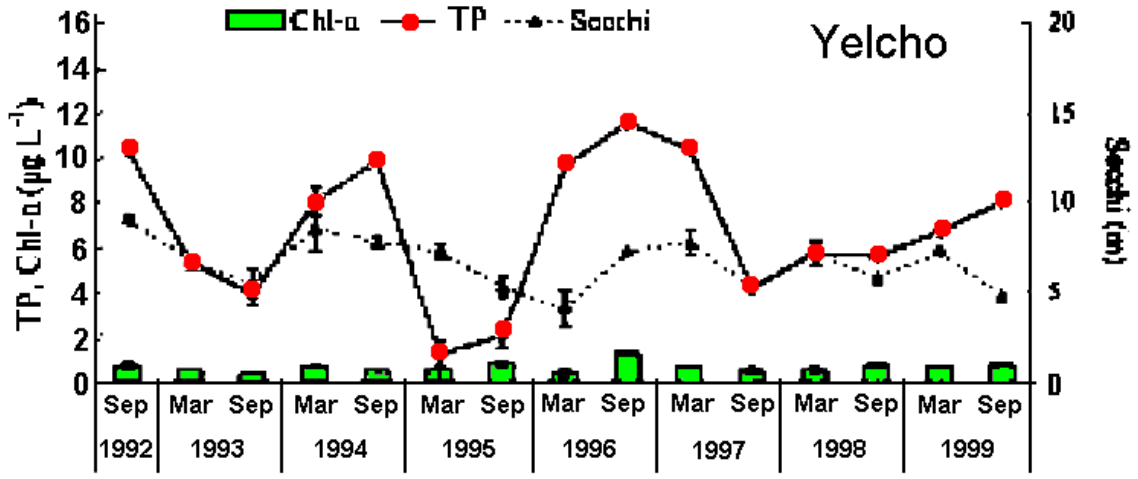


Fig. 251 Clorofila a, PT y Secchi en el lago Yelcho durante 1992-1999. (fuente: Soto 2002, figura original levemente modificada).

Este lago tiene un tiempo de renovación muy rápido (6 meses), lo que se refleja – segun el estudio FIP-IT/96-54 – en cambios, especialmente de fósforo total bastante marcadas con valores oligo-mesotróficos (< 0,015 mgP/L) y valores tipicamente eutróficos (0,02-0,055 mgP/L). Esta alta variabilidad de los valores de PT deja cierta duda respecto a su cálidad analítica (véase 3.12.2).

Respecto al estado trófico del lago, llama la atención que todos los valores de clorofila a indican un estado ultraoligotrófico mientras los valores de P total indicarían un estado oligotrófico (1992-1999) o incluso mesotrófico (1996/97) (Tabla 242).

Mas llamativa incluso es la baja transparencia que en promedio fue característica para un estado mesotrófico. La baja cantidad de clorofila a es - según el estudio de Soto (2002) – causada por la baja transparencia y la mayor profundidad de la mezcla del epilimnion que resulta en una fuerte limitación del crecimiento de las algas por luz, aún cuando la concentración de fósforo debería reflejarse en una mayor concentración de clorofila a.

Debido a la ausencia de datos recientes no esta claro en que estado trófico se encuentra actualmente este lago.

Tabla 242 Evaluación del estado trófico histórico del lago Yelcho (promedio ± desviación estándar). N = fechas de muestreo
Fuente: 1: Campos (no publicado) 2: Soto 2002; 3: informe FIP-IT/96-54

Leyenda	ultraoligo-	oligo-	mesotrófico	eutrófico

Año	**Transparencia (m)**	**PT (mg/L)**	**Chla (µg/L)**	**Fuente**
1992 (N=1)	11,5	0,007	-	1
1992-1999 (N=14)	7 ± 1,12	0,007 ± 0,003	0,7 ± 0,4	2
1996-1997 (N=12)	6,6 (4-13)	0,011 (0,003 – 0,055)	0,1 – 1,0	3

3.12.7 Discusión

La validez de la información recopilada respecto al estudio de balance y la calidad de la información sobre los parámetros tróficos está discutida en extenso en capítulos anteriores. Debido a esto se resume y discute en este capítulo solamente los resultados y conclusiones más relevantes de esta evaluación con el fin de entregar una opinión respecto a la interrogante de si el lago Yelcho es apto para continuar con el desarrollo de actividades de acuicultura, sin que se llegue a un estado de alteración con el consecuente deterioro ambiental de su cuerpo de agua.

EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOPILADA – Para el lago Yelcho existen pocos datos de los años 1992-1999 (dos mediciones por año, Soto 2002) y para el año 1996/97 (FIP-IT/97-40). No se dispone de datos mas recientes. Además existe información sobre la producción acuícola. No se obtuvieron datos sobre las INFAS. La revisión y evaluación de la información relevante recopilada en este estudio revela en resumen lo siguiente:

- El lago Yelcho tiene una superficie de 120 km^2 con una profundidad máxima y media de 238 m y 110,1 m. Su volumen es 13,3 km^3.
- Se estimó el tiempo de renovación en ~ 0,5 años según el informe FIP-IT/97-40. Sin embargo, hay por lo menos un error grave en el balance hídrico donde se sobrestima la evaporación por aprox. el factor 10x.
- La determinación de la masa total de P en el lago tiene ciertas limitaciones debido a pocos datos en el hipolimnion del lago. En general el contenido de P en el lago parece sobreestimado considerando la concentración de P en el afluente principal y de acuerdo a los modelos predictivos utilizados.
- Aunque los cálculos del balance de nutrientes son coherentes y matemáticamente correctos, la masa total de P en el lago Yelcho es tan alta aun considerando las menores cargas reales de P, que según el modelo de Vollenweider no se deberían reflejar en una concentración de 0,0098 mg P/L, sino solamente en una concentración de 0,0067 mgP/L.
- Se observa un fuerte aumento en la producción de peces durante los últimos 10 años alcanzando ~ 1200-1300 ton/año. El correspondiente aporte de P se estima en 10-12 tonP/año.
- Los parámetros tróficos muestran para los años noventa señales de mesotrofía, específicamente para los parámetros transparencia y PT, pero condiciones oligotróficas para la clorofila a. Al respecto hay que señalar que la clorofila a es el parámetro mandatorio en la evaluación del estado trófico.

CARGA CRÍTICA Y SALMONICULTURA – Según el estudio FIP-IT/97-40 sobre el balance de nutrientes la carga crítica es aproximadamente 329 tonP/año. Debido a que la carga crítica depende en gran medida de Tw y considerando los problemas ya mencionados respecto al balance hídrico, es posible que la carga crítica se debe estimar en un rango de incertidumbre mas amplio, especialmente en el caso que Tw sea mayor (lo que disminuiría la carga crítica).

Según el informe FIP-IT/97-40 en 1996 la carga de P estimada se encontraba en el rango de la carga crítica. Además, teniendo en cuenta que la actividad acuícola aumentó considerablemente desde entonces, se concluye lo siguiente:

Respecto a la actividad acuícola en el lago Yelcho, se recomienda **NO** aumentar ésta para no sobrepasar la capacidad de carga del lago. En consideración del gran aumento de la actividad acuícola y de los problemas relacionados con el balance hídrico, se recomienda enfáticamente monitorear este lago y en lo posible realizar un balance hídrico y de nutrientes. Solamente de este modo se puede obtener una evaluación mas robusta.

4. CONCLUSIÓN

Las conclusiones específicas para cada lago se realizaron en los capítulos anteriores respectivos. En éste capítulo se reportan conclusiones generalizadas y sintetizadas respecto a los diferentes objetivos de este estudio.

REVISION DE LA BIBLIOGRAFÍA – La recopilación, revisión y evaluación de la bibliografía sobre los 12 lagos con actividad acuícola en la X Región conlleva a los siguientes conclusiones generales:

- Hay grandes diferencias respecto a la cantidad y cálidad de la información disponible para evaluar el estado histórico y actual de la cálidad ambiental de los lagos en consideración.
- Hay muy poca información sobre los lagos chilotes (San Antonio, Popetán, Cucao, Huillinco, Natri, Tarahuin Tepuheico), sobre los cuales solamente existe un estudio en los años noventa. Sobre los lagos Yelcho, Puyehue y Rupanco existe mas información, pero la mayor base de datos existe sobre los lagos Chapo y Llanquihue.
- Sobre los lagos Puyehue, Rupanco, Chapo y Llanquihue existen aparte de los estudios sobre el balance de nutrientes en los años noventa, antecedentes de detallados estudios previos (línea base) realizados en los años ochenta, o sea antes del inicio de las actividades acuícolas. En el caso de los lagos Chapo (2001 -) y Llanquihue (1986 -) existe adicionalmente una base de datos sobre parámetros tróficos obtenido en el monitoreo de cálidad de agua de la Dirección General de Aguas.
- Para todos los lagos existe un estudio de balance de nutrientes (en el lago Llanquihue este balance es menos acabado que en los demas lagos). Estos estudios entregaron datos muy valiosos. Sin embargo, todos estos estudios se realizaron en los años noventa, hace 15 años o más. Considerando los cambios, especialmente el aumento contínuo de las cargas de nutrientes por parte de la actividad acuícola (y otras actividades), es necesario actualizar los estudios de balance de nutrientes. Los casos más urgentes son el lago Llanquihue y el lago Chapo, donde el aporte por

la actividad acuícola es dominante y donde el lago sufre además dramáticos cambios de nivel del agua (Chapo). Mas detalles véase abajo.

- En la mayoría de los estudios se detectaron falencias menores y también mayores, que limitaron dependiendo de la gravedad de las falencias finalmente la válidez y certeza de las conclusiones obtenidos en estos estudios. Se encontraron mayores problemas en en el balance hídrico (lagos Rupanco, Popetán, Cucao, Huillinco, Yelcho), donde se realizaron muestreos incompletos de la columna de agua (todos los lagos profundos), lo que derivó en una errónea cuantificación de las cargas de P y también realizamos un cuestionamiento respecto la calidad analítica del fósforo total. Este último problema se detectó también en la base de datos de la DGA, que contenía muchos datos dudosos (aprox. 50%) de fósforo total.

REVISIÓN DE LAS INFAS - La revisión de las INFAS se restringió a seis lagos debido a que no se obtuvo INFAS para los lagos Puyehue, Popetán, San António, Natri, Cucao, Tepuheico y Yelcho. En este contexto cabe mencionar que llama mucho la atención el hecho de que en todos los lagos revisados, una considerable parte de los centros de cultivos **no** estuvo ubicada dentro del área de la concesión otorgada, sino parcial- o totalmente fuera del área de concesión. Esta situación se observó en el lago Rupanco en 2 de 7 centros de cultivo, en el lago Llanquihue en 7 de 10 centros, en el lago Chapo en 3 de 6 centros, en el lago Natri en 2 de 3 centros y en el lago Huillinco en 2 de 5 centros.

La revisión de las INFAS reveló en numerosos casos datos incoherentes para el mismo sitio de muestreo (p.e. bajo contenido de materia orgánica, pero bajos valores redox; altos valores de fango, pero bajos valores de materia orgánica etc.) y/o incoherencias entre sitios de control y sitios debajo las balsas jaulas.

Estas discrepancias e incoherencias permiten suponer lo siguiente:

- La medición de los diferentes parámetros conlleva ciertos errores que pueden ser mayores (p.e. medición de Redox) y no reflejan adecuadamente las condiciones ambientales.

- Los sitios control probablemente no son adecuados, porque los sedimentos ya están afectados mas allá de los sitios de las balsas jaulas.
- Es posible que parte de las discrepancias observadas es debido a la re-ubicación de las balsas jaulas durante los años de producción acuícola y este manejo impactó un área mayor, incluso fuera del área de concesión.

MONITOREO DE LOS LAGOS – El estudio de los seis lagos considero el monitoreo de la columna de agua, del sedimento y de las corrientes, los cuales generaron resultados discutidos en capítulos anteriores en extenso. Como conclusión general se puede manifestar lo siguiente:

- El monitoreo fue complejo y muy diverso en el manejo de los diferentes objetivos abordados. En terreno tuvieron que operar tres grupos de trabajo en paralelo para cumplir con las tareas propuestas y lo pedido por los términos de referencia. Hubiera sido mucho mejor ejecutar cada parte del proyecto en forma individual, eso si con mayor profundidad de estudio para cada objetivo.
- Consecuentemente la interpretación de los resultados obtenidos en cada muestreo (columna de agua, sedimento, correntometría) conlleva un diferente peso y valor respecto a los objetivos a responder. Se considera que los resultados mas importantes son las mediciones de los parámetros químicos (fósforo, nitrógeno) medidos en la totalidad de la columna de agua, especialmente de los lagos profundos con un tiempo de recambio mas largo (años). Indican claramente el estado trófico de los lagos grandes, porque no cambian en forma significativa en un plazo relativamente amplio (un año o mas dependiendo de su tiempo de renovación). Los otros parámetros tróficos como la clorofila a y la transparencia (que depende parcialmente de la concentración de clorofila a) y otros factores (fitoplancton, zooplancton) generalmente varian en un plazo mucho mas corto (semanas), por lo cual un solo muestreo no es suficiente para realizar una evaluación trófica robusta.

- En este sentido queda claro que los resultados sobre la comunidad fito- y zooplanctónica son de menor importancia y poco apto para identificar (con un muestreo) impactos de contaminación en diferentes lugares de un lago, porque sufren generalmente cambios en densidad y composición (fitoplancton) en cortos plazos (semanas). Además muestran naturalmente distribución heterogénea en un lago.
- Los resultados del monitoreo de sedimento fuera de las concesiones de cultivo y solamente en la cercanía de las balsas jaulas (3 sitios por estación de muestreo) revelan – en conjunto con la interpretación de las INFAS y la prospección con buzos científicos - que esta metodología no es muy apta para describir adecuadamente los efectos de la actividad acuícola sobre el sedimento. El área del impacto de la actividad de salmonicultura sobre los sedimentos muy probablemente es de mayor extensión y grado que lo indicado por nuestros resultdos y los de las INFAS. Esto probablemente esta relacionado con las corrientes y las re-ubicaciones de las balsas jaulas (muchas veces fuera del área de concesión). Ambos aumentarían la distribución de la carga en un área de mayor extensión, lo que se debería estudiar más detalladamente con una metodología diferente a la utilizada hasta ahora.
- El estudio de las corrientes durante un tiempo de algunos días en cada lago, en diferentes lugares, mostró para los lagos pequeños que el esfuerzo del viento representa un agente de mezcla muy efectivo. La acción del viento sobre los lagos grandes estará condicionada a la dirección del viento y a la orientación de la bahía. Las registradas son corrientes de intensidad media y alta y en proporción a la dirección e intensidad del viento que las ocasiona. Esto hace que en el término de 24hrs. las masas de agua muestren un desplazamiento importante en relación al tamaño de los lagos o de las bahías de estos. Corrientes de 15 cm/s. alcanzan un desplazamiento de 540m/hra. y en el término de 24 hrs. representa una trayectoria de 12,96 kms. Las velocidades máximas observadas alcanzaron valores superiores a los 30cm/seg. Esta alta movilidad del estrato superficial del agua de los lagos es un indicador de la capacidad del cuerpo de agua para homogenizar sus parámetros físico

químicos. Finalmente y en lo que respecta a la correntometría se mantienen abiertas dos interrogantes: (1) la primera se relaciona a las variaciones en la dirección e intensidad de las corrientes que ocurren en estos cuerpos de agua durante el período estival, caracterizados por una fuerte estratificación térmica. Un estrato de agua cálido superficial favorecería la mayor velocidad en las corrientes por la menor densidad del agua cálida y por su aislamiento relativo de las aguas profundas frías. (2) La segunda se refiere a la dinámica del lago en su parte profunda bajo la isóbata de los 15m. y que especialmente relevante en los lagos mayores, Rupanco, Llanquihue e incluso en el Chapo pues corresponden a volúmenes elevados de la masa de agua de estos lagos

Se concluye finalmente con las siguientes recomendaciónes:

1. **INFAS -** La metodología seguida por las INFAS **NO** permite realmente evaluar de manera concluyente el estado del sedimento en el área impactada por la actividad acuícola que parece ser más amplia. Se deben considerar modificaciones al respecto, p.e. exigir estudios mas acabados en áreas mas extensas. Se recomienda realizar en un plazo prudente (p.e. trianual) estudios mas acabados de las áreas afectadas, que debería incluir la determinación de las áreas impactadas y los corrientes. Se recomienda incluir filmaciones subacuáticas y muestreo de sedimento considerando un mayor numero de estaciones.
2. **MONITOREO CALIDAD AMBIENTAL –** Se debe solucionar los problemas analíticos de los análisis de P y N para garantizar datos confiables en el monitoreo actual de los lagos Lanquihue y Chapo por parte de la DGA. Se debe incluir – tal como propone informe POCH (2012) – los lagos Puyehue y Rupanco en la red de monitoreo de la DGA. Las profundidades de muestreo deben alcanzar las profundidades máximas de los lagos. La ubicación de las estaciones de muestreo deben ser adecuadas para monitorear los lagos. Se debe incluir ademas el monitoreo de la calidad de agua de los efluentes. En lo posible se debe incluir también monitoreo de fito- y zooplancton (una muestra integrada por estación).

3. **BALANCE DE NUTRIENTES -** Se debe considerar actualizar estudios acabados sobre balance de nutrientes en los lagos mas afectados por el aumento de la actividad antrópica y en especial acuícola, tanto dentro del lago como en su cuenca (piscicultura). Para evaluar el impacto de la actividad acuícola (y otras), se debe garantizar la confiabilidad de la base de datos (producción, abastecimiento, exisentia de peces por centro) por parte de las autoridades La mayor prioridad tiene según nuestras conclusiones el lago Llanquihue, donde según nuestras estimaciones (conservadores) la actividad acuícola aportaría mínimo 50% de la carga total de P en este momento. Considerando su lento tiempo de recambio de sus aguas, el lago todavía acumula P, por lo cual sigue aumentando su contenido de P y por ende también su condición trófica, aún cuando se considera su alta profundidad de mezcla durante la estratificación térmica (hasta 40 m). En segundo lugar se debe priorizar el lago Chapo, que mostró claras señales de eutrofización.

4. **ACTIVIDAD ACUÍCOLA –** La siguiente tabla es un resumen de las recomendaciones respecto a la actividad acuícola en los lagos de la X Región. Estas recomendaciones estan basadas en la información recopilada, elaborada y evaluada en este informe. Sin embargo, en consideración de las limitaciones respecto a la cantidad, calidad y antigüedad de la información evaluada y ciertas falencias encontradas, se debe tomar en cuenta que para la mayoría de los lagos es necesario mejorar sustancialmente la información existente para emitir evaluaciones más robustas. Sin embargo, en forma generalizada se puede suponer con un alto grado de certeza que todos los lagos estan sufriendo un aumento de impacto antrópico, lo que a la larga inevitablemente empeorará su calidad ambiental. En este sentido se debe considerar la extraordinaria condición natural de los grandes lagos, que en su estado referencial fueron todos ultraoligotróficos, e impedir el aumento de la contaminación y en lo posible incluso una disminución de ésta.

   Se recomienda enfáticamente no aumentar la actividad acuícola en los lagos Puyehue, Rupanco, Huillinco y Yelcho, reducirla considerablemente

en los lagos Llanquihue y Chapo, terminarla en los lagos Natri y Tarahuin y no retomarla en los lagos Popetán, San Antonio, Cucao y Tepuheico.

Tabla 243 Recomendaciones acerca de las actividades acuícolas en los lagos de la 10 Región.

Lago	Actividad acuíola			
	no aumentar	reducir	terminar	no retomar
Puyehue				
Rupanco				
Llanquihue				
Chapo				
San Antonio				
Popetán				
Natri				
Cucao				
Huillinco				
Tarahuin				
Tepuheico				
Yelcho				

ANEXOS

ANEXO 1 TITULAR, UBICACIÓN Y CÓDIGO DE LOS CENTROS DE CULTIVOS:

Tabla 244 Listado de los centros de cultivo en los lagos de la X Región

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
AGUAS CLARAS S.A.	AGUAS CLARAS S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, AL SUR DE DESEMBOCADURA DE RÍO PITOTE	SALMONES	351	26-02-1990	962	05-09-2006	101051
PISCICULTURA PUERTO OCTAY S.A.	AGUAS CLARAS S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, ENTRE ISLOTE BETTY Y DESEMBOCADURA DE RÍO SUR	SALMONES	1030	10-08-1989	107	13-01-2006	101278
AGUAS CLARAS S.A.	AGUAS CLARAS S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, SECTOR EL DESAGÜE	SALMONES	1208	13-10-1987	1218	18-12-1989	100394
AGUAS CLARAS S.A.	AGUAS CLARAS S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, AL NOROESTE DE PLAYA BLANCA	SALMONES	1264	05-09-1989			101291
AGUAS CLARAS S.A.	AGUAS CLARAS S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, AL NOROESTE DE DESEMBOCADURA RÍO CULULI	SALMONES	1349	14-12-1988			100678
SALMONES TECMAR S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	PUERTO MONTT	LAGO CHAPO	LAGO CHAPO, PUERTO LA PEÑA	SALMONES	1396	06-10-1989	672	27-10-1992	101332
SALMONES PACIFIC STAR LTDA.	SALMONES PACIFIC STAR LTDA.	CHONCHI	LAGO DE NATRI	LAGO DE NATRI, AL NORTE DE RÍO NATRI	SALMONES	27	12-01-1988	544	14-09-1992	100427
SKYRING SALMON S.A.	INVERTEC PESQUERA MAR DE CHILOÉ S.A.	CHONCHI	LAGO DE NATRI	LAGO DE NATRI, SECTOR MIRAFLORES	SALMONES	52	29-01-1988	862	07-12-1992	100437

Continuación tabla 244

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
INVERTEC PESQUERA MAR DE CHILOE LTDA.	INVERTEC PESQUERA MAR DE CHILOÉ S.A.	CHONCHI	LAGO DE NATRI	LAGO NATRI, AL NOROESTE DE PUENTE NATRI	SALMONES	1136	26-10-1988	563	16-09-1992	100600
TARA SALMON S.A.	INVERTEC PESQUERA MAR DE CHILOÉ S.A.	CHONCHI	LAGO HUILLINCO	LAGO HUILLINCO, ENSENADA CONTENTO	SALMONES	549	30-05-1988	1649	29-09-2000	100520
SALMOCONCESIONES S.A.	SALMOCONCESIONES S.A.	CHONCHI	LAGO HUILLINCO	LAGO HUILLINCO, ENSENADA NOTUÉ	SALMONES	900	25-08-1988	336	01-02-2007	100616
SALMOCONCESIONES S.A.	SALMOCONCESIONES S.A.	CHONCHI	LAGO HUILLINCO	LAGO HUILLINCO, AL OESTE DE PUNTA CONTENTO	SALMONES	900	25-08-1988	926	23-03-2000	100617
SALMONES TECMAR S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	CHONCHI	LAGO HUILLINCO	LAGO HUILLINCO, AL NORTE DE RÍO BRAVO Y RÍO COIPO	SALMONES	1284	07-09-1989	1751	14-11-1994	100968
SALAS ESTRADES, PATRICIA AMÉRICA	INVERTEC PESQUERA MAR DE CHILOÉ S.A.	CHONCHI	LAGO HUILLINCO	LAGO HUILLINCO, ENSENADA LEUQUETRO	SALMONES	1496	23-10-1989			101212
SOCIEDAD PESQUERA, COMERCIAL Y PROFESIONAL AQUACULTIVOS LTDA.	MAINSTREAM CHILE S.A.	LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 1	SALMONES	24	10-01-1986	635	31-08-1993	100100
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, BAHÍA RINCONES	SALMONES	245	25-03-1987	1439	27-10-1992	100204

Continuación tabla 244

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
COMPAÑÍA PESQUERA CAMANCHACA S.A.	COMPAÑÍA PESQUERA CAMANCHACA S.A.	FRUTILLAR	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, ENSENADA PLAYA MAQUIS	SALMONES	283	17-03-1988	1422	17-08-1998	100507
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	FRUTILLAR	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 1	SALMONES	285	17-03-1988	49	11-01-1991	100510
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, BAHÍA DOMEYKO, SECTOR 2	SALMONES	285	17-03-1988	49	11-01-1991	100511
MAINSTREAM CHILE S.A.	MAINSTREAM CHILE S.A.	PUERTO VARAS	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, PUERTO PÉREZ ROSALES	SALMONES	389	08-07-1985	1631	16-12-2008	100070
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, BAHÍA DOMEYKO	SALMONES	447	05-12-1983	161	24-02-1982	100332
PROSMOLT S.A.	CHISAL S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, AL SUR DE PUERTO OCTAY	SALMONES	636	27-06-1988			0
SALMONES MULTIEXPORT LTDA.	MULTIEXPORT FOOD	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, SECTOR LOS PUERTOS	SALMONES	636	27-06-1988	1010	01-04-1998	100627
SALMONES MULTIEXPORT LTDA.	MULTIEXPORT FOOD	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, SECTOR EL VOLCÁN	SALMONES	636	27-06-1988	1010	01-04-1998	100628

Continuación tabla 244

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
SOCIEDAD PESQUERA, COMERCIAL Y PROFESIONAL AQUACULTIVOS LTDA.	MAINSTREAM CHILE S.A.	LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, AL NORTE DE SECTOR TOTORAL, SECTOR 2	SALMONES	926	28-11-1986	647	06-06-1988	101866
PESQUERA ANTARES LTDA.	AQUACHILE S.A.	PUERTO VARAS	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, SECTOR YERBAS BUENAS 1	SALMONES	929	18-08-1987	273	03-03-1988	100370
PESQUERA ANTARES LTDA.	AQUACHILE S.A.	PUERTO VARAS	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, SECTOR YERBAS BUENAS 2	SALMONES	929	18-08-1987	273	03-03-1988	100369
PUCHI ACUÑA, VÍCTOR HUGO	AQUACHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, AL NORTE DE PUERTO OCTAY	SALMONES	1102	18-10-1988	497	18-05-1989	100545
PUCHI ACUÑA, VÍCTOR HUGO	AQUACHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, SECTOR LOS PUERTOS	SALMONES	1102	18-10-1988	497	18-05-1989	100544
CULTIVOS ACUÍCOLAS EL VOLCÁN LTDA.	AQUACHILE S.A.	PUERTO VARAS	LAGO LLANQUIHUE	LAGO LLANQUIHUE, BAHÍA EL VOLCÁN	SALMONES	1127	28-09-1987	449	24-07-1992	100390
INSTITUTO PROFESIONAL DE OSORNO	UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS	PUYEHUE	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, AL ESTE DE PUNTA ADOLFO	SALMONES	391	20-08-1984	507	09-07-1993	100081
SALMONES CALETA BAY LTDA.	SALMONES CALETA BAY LTDA.	PUERTO OCTAY	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, AL NOROESTE DE PUNTA NEGRA	SALMONES	469	18-04-1991	575	05-09-1991	101707

Continuación tabla 244

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
PESQUERA ANTARES S.A.	AQUACHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, ENSENADA PUERTO RICO	SALMONES	544	30-05-1988	529	12-06-1989	100522
SALMONES MULTIEXPORT LTDA.	MULTIEXPORT FOOD	PUERTO OCTAY	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE	SALMONES	1091	18-10-1988	70	22-01-1990	100625
MARINE HARVEST CHILE S.A.	CONGELADOS DEL PACÍFICO S.A.	PUYEHUE	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, BAHÍA EL ENCANTO	SALMONES	1263	05-09-1989	1656	22-12-2008	100389
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE ISLA CABRAS	SALMONES	1323	20-11-1987	1439	27-10-1992	101862
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	PUERTO OCTAY	LAGO RUPANCO	LAGO RUPANCO, ENSENADA PIEDRAS NEGRAS, AL SUR DE PENÍNSULA DEL ISLOTE	SALMONES	1325	20-11-1987	1439	27-10-1992	101851
SKYRING SALMON S.A.	TRUSAL S.A.	CHONCHI	LAGO TARAHUÍN	LAGO TARAHUÍN, AL ESTE DE RÍO TARAHUÍN	SALMONES	52	29-01-1988	862	07-12-1992	100436
TARA SALMON S.A.	TRUSAL S.A.	CHONCHI	LAGO TARAHUÍN	LAGO TARAHUÍN, AL NORTE DE SECTOR TARAHUÍN	SALMONES	522	23-05-1988	1580	01-09-2000	100521
PESQUERA POPETAN LTDA.	PESQUERA POPETAN LTDA.	CURACO DE VELEZ	LAGO POPETAN	LAGO POPETAN	SALMONES	262	18-10-1982	109	1983	100671

Continuación tabla 244

NOMBRE TITULAR	NOMBRE USUARIO	COMUNA	LAGO	SECTOR	CULTIVO	RESOL SSP	FECHA SSP	DSSM	FECHA SSM	codigo centro
MARINE HARVEST CHILE S.A.	MARINE HARVEST CHILE S.A.	RIO BUENO	LAGO PUYEHUE	LAGO PUYEHUE	SALMONES	608	30-06-1987	979	21-10-1987	100205
AQUACULTIVOS S.A.	AQUACULTIVOS S.A.	RIO BUENO	LAGO PUYEHUE	RIBERA NORTE LAGO PUYEHUE	SALMONES	957	23-09-1988	804	1989	100578
SALMONES TECMAR S.A.	SALMONES TECMAR S.A.	QUELLON	LAGO SAN ANTONIO	COLINA YUNGAY	SALMONES	389	29-04-1991	115	1994	101746
JARA ITURRA, ANDREA XIMENA	JARA ITURRA, ANDREA XIMENA	CHONCHI	LAGO TEPUHUEICO	LAGO TEPUHUEICO	SALMONES	1126	30-09-1991			101834
CULTIVOS MARINOS CHILOE S.A.	CULTIVOS MARINOS CHILOE S.A.	CHAITÉN	LAGO YELCHO	LAGO YELCHO, SECTOR 1	SALMONES	48	01-02-1990	395	1991	101521
CULTIVOS MARINOS CHILOE S.A.	CULTIVOS MARINOS CHILOE S.A.	CHAITÉN	LAGO YELCHO	YELCHO SECTOR II	SALMONES	48	01-02-1990	395	1991	101522

ANEXO 2 ABASTECIMIENTO Y PRODUCCIÓN NETA DE PECES POR CENTRO DE CULTIVOS

Tabla 245 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Puyehue 1995 – 2012.

	Abastecimiento			Producción bruta			Produccion neta		
Año	**100205**	**100578**	**Total**	**100205**	**100578**	**Total**	**100205**	**100578**	**Total**
1995	0,0	2,6	**3**	0	0	**0**	0	0	**0**
1996	1,0	5,6	**7**	35	283	**319**	34	278	**312**
1997	3,1	4,5	**8**	76	150	**227**	73	146	**219**
1998	1,0	9,7	**11**	164	169	**333**	163	160	**323**
1999	4,9	8,3	**13**	186	138	**324**	181	130	**311**
2000	14,3	8,3	**23**	392	209	**601**	378	200	**578**
2001	10,2	0,0	**10**	596	45	**641**	586	45	**631**
2002	13,0	3,6	**17**	605	0	**605**	592	0	**592**
2003	9,1	3,0	**12**	785	80	**864**	775	77	**852**
2004	42,6	5,8	**48**	544	60	**604**	501	54	**555**
2005	32,3	24,8	**57**	875	82	**957**	842	58	**900**
2006	51,8	13,8	**66**	930	58	**988**	878	44	**922**
2007	95,8	54,0	**150**	788	135	**923**	692	81	**773**
2008	76,9	56,9	**134**	852	720	**1572**	775	663	**1438**
2009	16,0	11,3	**27**	693	836	**1529**	677	825	**1502**
2010	95,4	27,3	**123**	485	605	**1090**	390	578	**967**
2011	42,1	6,2	**48**	829	336	**1165**	787	330	**1116**
2012	80,7	29,8	**111**	420	80	**500**	340	50	**390**
TOTAL	**590**	**276**	**866**	**9255**	**3987**	**13242**	**8665**	**3718**	**12382**

Tabla 246 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012.

Año	100081	100389	101851	100522	100625	101707	101862	Total
1995	309,9	101,6	6,1	15,2	2,3	160,3	0,8	**596**
1996	33,0	6,5	6,8	8,4		12,4	4,5	**72**
1997	5,1	5,4	2,6	51,1	2,1	2,2	0,7	**69**
1998	0,8	16,1	11,0	19,9	1,6	2,3	0,9	**53**
1999	9,6	6,8	64,6	32,1	2,6	9,0	26,6	**151**
2000	21,5	9,6	45,6	28,8	3,5	4,9	3,2	**117**
2001	82,8	33,8	45,9	20,1	6,4	5,9	7,1	**202**
2002	23,4	32,6	49,4	24,6	9,0	4,8	19,7	**163**
2003	37,2	73,0	35,9	43,9	5,7	7,9	17,8	**222**
2004	53,5	59,2	67,1	69,0	7,7	17,3	20,4	**294**
2005	201,8	60,2	55,5	44,5	11,8	7,2	15,4	**396**
2006	229,3	73,5	99,2	144,3	311,6	39,6	31,5	**929**
2007	256,3	141,4	79,4	156,3	3,4	145,3	154,3	**936**
2008	178,8	109,7	90,0	172,5	11,6	110,2	67,0	**740**
2009	71,2	76,5	71,2	75,6	45,1	30,8	0,0	**370**
2010	97,0	19,8	17,3	72,7	28,3	27,8	36,7	**300**
2011	330,8	113,8	12,4	27,2	36,2	186,7	4,0	**711**
2012	143,3	83,1	32,5	0,0	16,8	66,4	26,3	**368**
TOTAL	**2085,2**	**1022,8**	**792,6**	**1006,3**	**505,8**	**841,0**	**436,9**	**6691**

Tabla 247 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012.

Año	100081	100389	101851	100522	100625	101707	101862	Total
1995	1015	128	109	88	127	298	116	**1882**
1996	9	206	36	117	153	69	9	**599**
1997	172	222	143	174	239	137	86	**1173**
1998	32	183	143	163	426	66	212	**1224**
1999	0	466	326	261	558	0	150	**1761**
2000	176	193	460	396	413	20	263	**1921**
2001	891	227	446	330	503	0	155	**2552**
2002	354	371	484	482	513	0	338	**2542**
2003	390	625	308	289	487	0	314	**2412**
2004	487	437	282	608	637	242	166	**2860**
2005	992	500	434	320	449	492	432	**3619**
2006	1192	241	705	345	492	579	307	**3862**
2007	1547	533	995	323	769	328	609	**5104**
2008	1130	517	689	434	573	400	439	**4182**
2009	861	526	41	558	898	1226	20	**4132**
2010	1125	453	1	1161	294	1182	1	**4217**
2011	1839	779	956	1148	331	812	494	**6360**
2012	1882	1023	551	676	228	860	432	**5651**
TOTAL	**14095**	**7630**	**7109**	**7872**	**8091**	**6711**	**4544**	**56052**

Tabla 248 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Rupanco 1995 – 2012.

Año	100081	100389	101851	100522	100625	101707	101862	Total
1995	706	27	103	73	125	138	116	**1286**
1996	9	199	29	109	153	57	5	**560**
1997	167	216	140	123	237	135	86	**1104**
1998	31	167	132	143	424	64	211	**1172**
1999	0	459	262	229	555	0	124	**1628**
2000	155	184	414	367	410	20	260	**1809**
2001	808	194	400	310	496	0	148	**2356**
2002	331	338	434	457	504	0	319	**2383**
2003	353	552	272	245	481	0	296	**2199**
2004	434	378	215	539	629	225	146	**2565**
2005	790	440	379	275	437	485	416	**3223**
2006	963	167	606	201	181	540	276	**2933**
2007	1291	392	915	167	766	183	454	**4168**
2008	951	407	599	261	561	290	372	**3442**
2009	790	450	41	483	853	1195	20	**3832**
2010	1028	433	1	1088	266	1154	1	**3971**
2011	1508	666	944	1121	295	625	490	**5648**
2012	1738	940	519	676	211	794	406	**5283**
TOTAL	**12052**	**6608**	**6405**	**6865**	**7585**	**5903**	**4144**	**49562**

Tabla 249 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012. s.d.: sin datos

Año	100070	100100	100204	100332	100369	100370	100390	100507	100510	100511	100546	100545	100627	100628	101866	Total
1995	22	13	180	42	92	18	5	s.d.	1	0	s.d.	33	27	3	46	**22**
1996	59	3	1	5	55	5	16	s.d.	4	9	s.d.	15	54	22	60	**59**
1997	82	1	12	6	111	7	21	s.d.	5	1	s.d.	27	87	21	31	**82**
1998	62	6	3	38	62	5	16	s.d.	34	15	s.d.	18	266	46	106	**62**
1999	18	11	5	81	90	11	14	s.d.	82	44	s.d.	34	303	14	24	**18**
2000	15	31	4	19	456	13	24	s.d.	67	7	s.d.	20	145	20	15	**15**
2001	12	24	32	2	200	9	39	s.d.	17	0	s.d.	43	279	33	49	**12**
2002	18	28	8	10	151	13	19	s.d.	15	2	s.d.	37	288	57	33	**18**
2003	19	47	28	19	105	4	47	s.d.	8	0	s.d.	50	95	29	4	**19**
2004	9	48	46	9	163	12	63	s.d.	7	0	s.d.	36	222	32	11	**9**
2005	30	102	88	12	91	11	73	s.d.	23	87	s.d.	27	321	255	24	**30**
2006	18	150	132	43	115	28	134	s.d.	13	27	s.d.	45	262	35	106	**18**
2007	42	729	160	141	276	0	209	s.d.	0	9	s.d.	37	320	82	45	**42**
2008	16	55	0	139	187	23	177	s.d.	0	12	s.d.	20	208	141	53	**16**
2009	12	30	13	119	132	20	9	s.d.	6	0	s.d.	17	412	24	18	**12**
2010	0	30	31	155	6	6	4	s.d.	0	0	s.d.	7	264	18	0	**0**
2011	0	38	48	57	426	26	27	s.d.	45	45	s.d.	12	247	57	16	**0**
2012	0	18	100	81	0	42	46	s.d.	21	95	s.d.	0	204	19	19	**0**
TOTAL	**434**	**1365**	**893**	**979**	**2719**	**253**	**945**	**0**	**348**	**353**	**0**	**478**	**4004**	**909**	**661**	**434**

Tabla 250 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012.

Año	100070	100100	100204	100332	100369	100370	100390	100507	100510	100511	100546	100545	100627	100628	101866	Total
1995	7	821	164	28	92	39	137	11	5	0	96	82	27	135	410	**2053**
1996	144	56	1	98	55	58	0	52	5	124	69	118	54	186	883	**1903**
1997	265	665	126	94	111	50	0	38	66	105	74	150	87	96	2254	**4180**
1998	286	36	129	150	62	37	90		172	64	99	189	266	311	3169	**5060**
1999	219	394	281	197	90	61	238		343	296	59	111	303	193	1712	**4497**
2000	298	800	840	16	456	15	444		161	106	0	0	145	175	1789	**5245**
2001	191	850	464	34	200	28	461	361	241	78	31	63	279	176	888	**4346**
2002	184	1301	734	185	151	79	385	297	371	0	0	49	288	258	1271	**5553**
2003	207	1156	600	125	105	85	346	578	391	0	37	33	95	100	1060	**4919**
2004	229	769	635	109	163	114	497	583	433	0	194	225	222	146	703	**5021**
2005	473	1206	1223	135	91	83	614	800	337	284	331	202	321	300	579	**6976**
2006	378	1696	717	155	115	94	663	1149	25	554	450	239	262	220	605	**7323**
2007	480	2018	847	168	276	0	815	804	47	445	1101	203	320	104	1142	**8770**
2008	150	1536	79	616	187	47	706	529	0	8	1047	292	208	119	536	**6061**
2009	358	1063	18	646	132	201	1	764	1	113	124	0	412	374	851	**5058**
2010	166	1136	400	1733	6	238	284	908	545	0	0	39	264	284	887	**6889**
2011	0	1261	922	1179	426	480	421	1280	2	370	0	363	247	2	828	**7780**
2012	0	1503	852	684	0	467	691	541	1255	864	0	454	204	231	0	**7745**
TOTAL	**4035**	**18266**	**9032**	**6350**	**2719**	**2176**	**6792**	**8694**	**4399**	**3411**	**3711**	**2813**	**4004**	**3410**	**19566**	**99378**

Tabla 251 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Llanquihue 1995 – 2012.

Año	100070	100100	100204	100332	100369	100370	100390	100507	100510	100511	100546	100545	100627	100628	101866	Total
1995	0	808	0	0	92	21	132	11	4	0	96	49	27	133	363	**1734**
1996	85	53	0	93	55	53	0	52	1	115	69	103	54	165	823	**1721**
1997	183	664	114	88	111	42	0	38	60	104	74	123	87	75	2223	**3986**
1998	225	30	127	112	62	32	0	0	138	49	99	172	266	264	3062	**4638**
1999	201	383	276	116	90	51	224	0	262	251	59	77	303	179	1688	**4158**
2000	284	768	835	0	456	2	420	0	94	99	0	0	145	155	1774	**5033**
2001	179	826	432	32	200	19	422	361	224	78	31	20	279	144	839	**4086**
2002	165	1274	726	175	151	65	366	297	355	0	0	13	288	200	1238	**5314**
2003	188	1109	572	106	105	82	299	578	382	0	37	0	95	71	1055	**4680**
2004	221	721	589	100	163	102	434	583	426	0	194	189	222	113	692	**4747**
2005	442	1104	1135	123	91	72	540	800	314	197	331	174	321	45	555	**6243**
2006	360	1546	585	112	115	66	530	1149	12	527	450	194	262	185	499	**6592**
2007	438	1290	687	27	276	0	606	804	47	435	1101	166	320	0	1097	**7294**
2008	134	1481	79	476	187	24	529	529	0	0	1047	273	208	0	483	**5450**
2009	346	1033	5	527	132	181	0	764	0	113	124	0	412	349	833	**4819**
2010	166	1106	369	1578	6	232	279	908	545	0	0	31	264	266	887	**6637**
2011	0	1223	874	1122	426	454	393	1280	0	325	0	351	247	0	812	**7507**
2012	0	1485	752	603	0	426	644	541	1234	768	0	454	204	212	0	**7323**
TOTAL	**3617**	**16901**	**8155**	**5389**	**2719**	**1923**	**5818**	**8694**	**4098**	**3064**	**3711**	**2388**	**4004**	**2556**	**18924**	**91961**

Tabla 252 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012.

Año	100394	100678	101051	101278	101291	101332	Total
1995	3,9	6,1	4,4	125,6	6,6	1,9	**148**
1996	2,4	2,7	4,6	2,9	6,9	1	**21**
1997	1,4	3,9	2,4	0,9	34,7	1,8	**45**
1998	2,0	2,4	5,6	1,1	5,6	83,1	**100**
1999	s.d.	18,9	8,0	0,3	15,4	37,4	**80**
2000	s.d.	18,5	6,6	1,1	22,4	13,4	**62**
2001	21,2	3,0	9,3	1,9	40,5	15,5	**91**
2002	41,4	12,4	12,8	1,7	45,4	17,5	**131**
2003	21,7	23,2	6,8	1,1	117,7	13,2	**184**
2004	0,0	48,7	35,4	6,0	93,8	16,5	**200**
2005	19,2	80,6	5,3	0,0	116,9	11,9	**234**
2006	23,1	54,8	158,5	5,2	133,8	9,2	**385**
2007	72,6	s.d.	91,6	0,0	303,0	0,0	**467**
2008	54,1	s.d.	501,7	50,2	43,0	0,0	**649**
2009	9,2	0,0	57,9	27,1	24,9	23,9	**143**
2010	9,7	0,0	52,2	0,0	65,3	33,3	**161**
2011	11,1	0,0	30,5	0,0	74,9	40,5	**157**
2012	0,0	0,0	42,6	0,0	0,0	0,0	**43**
TOTAL	**293**	**275**	**1036**	**225**	**1151**	**320**	**3300**

Tabla 253 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012. S.d.: sin datos

Año	100394	100678	101051	101278	101291	101332	**Total**
1995	217	120	59	241	105	2	**744**
1996	80	19	59	24	170	0	**352**
1997	70	20	85	110	230	140	**655**
1998	33	26	58	58	137	153	**465**
1999	s.d.	550	62	14	140	91	**857**
2000	s.d.	188	69	18	253	248	**777**
2001	101	34	32	11	442	140	**761**
2002	182	12	50	12	361	65	**682**
2003	84	158	76	11	783	82	**1192**
2004	0	440	151	16	767	135	**1509**
2005	0	567	2	0	535	61	**1165**
2006	0	183	255	0	1265	64	**1768**
2007	405	s.d.	130	0	1232	40	**1807**
2008	1140	s.d.	1293	3	280	0	**2717**
2009	422	45	1368	285	570	293	**2983**
2010	100	0	530	0	616	228	**1474**
2011	122	0	419	0	579	878	**1998**
2012	0	0	625	0	667	357	**1649**
TOTAL	**2957**	**2362**	**5322**	**804**	**9133**	**2977**	**23554**

Tabla 254 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Chapo 1995 – 2012. S.d.: sin datos

Año	100394	100678	101051	101278	101291	101332	Total
1995	213	114	54	115	99	0	**595**
1996	78	17	54	21	163	0	**333**
1997	69	16	82	109	195	138	**609**
1998	31	23	53	57	132	70	**365**
1999	s.d.	531	54	13	125	54	**777**
2000	s.d.	170	63	17	231	235	**715**
2001	80	31	22	10	401	125	**670**
2002	141	0	37	10	316	47	**551**
2003	62	134	69	10	665	69	**1009**
2004	0	392	116	10	673	118	**1309**
2005	0	486	2	0	418	49	**955**
2006	0	128	96	0	1132	55	**1412**
2007	333	s.d.	39	0	929	40	**1340**
2008	1086	s.d.	791	3	237	0	**2118**
2009	413	45	1310	257	545	269	**2840**
2010	90	0	478	0	550	195	**1313**
2011	111	0	388	0	504	837	**1841**
2012	0	0	583	0	667	357	**1607**
TOTAL	**2706**	**2088**	**4291**	**634**	**7982**	**2658**	**20359**

Tabla 255 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Popetán 1995 – 2012.

	Abastecimiento		Producción bruta		Producción neta	
Año	**100600**	**Total**	**100600**	**Total**	**100600**	**Total**
1995	5,4	**5,4**	24,9	**24,9**	19,5	**19,5**
1996	7,1	**7,1**	73	**73**	65,7	**65,7**
1997	17,5	**17,5**	169	**169**	151,8	**151,8**
1998	10,1	**10,1**	152	**152**	141,5	**141,5**
1999	16,6	**16,6**	151	**151**	134,6	**134,6**
2000	7,5	**7,5**	251	**251**	243,9	**243,9**
2001	9,7	**9,7**	53	**53**	43,1	**43,1**
2002	14,8	**14,8**	90	**90**	74,9	**74,9**
2003	0,0	**0,0**	158	**158**	157,8	**157,8**
2004	63,0	**63,0**	165	**165**	102,0	**102,0**
2005	14,1	**14,1**	149	**149**	134,6	**134,6**
2006	7,7	**7,7**	81	**81**	73,5	**73,5**
2007	19,5	**19,5**	158	**158**	139,0	**139,0**
2008	21,7	**21,7**	375	**375**	353,0	**353,0**
2009	21,7	**21,7**	133	**133**	111,3	**111,3**
2010	0,0	**0,0**	0	**0**	0,0	**0,0**
2011	0,0	**0,0**	0	**0**	0,0	**0,0**
2012	0,0	**0,0**	0	**0**	0,0	**0,0**
TOTAL	**236,2**	**236,2**	2182	**2182**	1946	**1946**

Tabla 256 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago San Antonio 1995 – 2012.

	Abastecimiento		Producción bruta		Producción neta	
Año	**101746**	**Total**	**101746**	**Total**	**101746**	**Total**
1995	0,00	**0,00**	0	**0**	0,0	**0,0**
1996	0,00	**0,00**	0	**0**	0,0	**0,0**
1997	0,00	**0,00**	0	**0**	0,0	**0,0**
1998	0,31	**0,31**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
1999	1,81	**1,81**	58,7	**58,7**	56,9	**56,9**
2000	1,28	**1,28**	56,0	**56,0**	54,7	**54,7**
2001	2,00	**2,00**	75,9	**75,9**	73,9	**73,9**
2002	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2003	0,75	**0,75**	0,7	**0,7**	0,7	**0,7**
2004	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2005	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2006	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2007	0,20	**0,20**	0,4	**0,4**	0,0	**0,0**
2008	0,00	**0,00**	0,2	**0,2**	0,2	**0,2**
2009	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2010	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2011	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
2012	0,00	**0,00**	0,0	**0,0**	0,0	**0,0**
TOTAL	**6,35**	**6,35**	**192**	**192**	**186,4**	**186,4**

Tabla 257 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (ton/año) por centro de cultivo en el lago Natri 1995 – 2012. * valor corregido, valor original fue 2890 ton/año.

	Abastecimiento				Producción bruta				Producción neta			
Año	**100427**	**100437**	**100600**	**Total**	**100427**	**100437**	**100600**	**Total**	**100427**	**100437**	**100600**	**Total**
1995	2,6	37,7	2,0	**42**	227*	6	17	**249**	224	6	15	**245**
1996	3,0	25,4	1,2	**30**	46	65	170	**281**	43	40	169	**251**
1997	2,6	2,5	2,9	**8**	111	44	128	**283**	109	42	125	**276**
1998	1,7	1,2	5,7	**9**	125	5	22	**153**	124	4	17	**145**
1999	2,0	16,7	20,9	**40**	113	115	34	**262**	111	98	13	**222**
2000	4,3	20,4	7,5	**32**	129	673	36	**838**	124	653	29	**806**
2001	21,4	10,3	0,5	**32**	210	469	126	**805**	189	458	125	**772**
2002	22,0	29,7	1,4	**53**	51	188	45	**284**	29	158	43	**230**
2003	12,5	0,4	7,2	**20**	644	147	40	**831**	631	146	33	**811**
2004	14,6	7,6	4,6	**27**	287	164	190	**641**	273	156	185	**614**
2005	23,7	16,8	22,4	**63**	301	659	258	**1219**	278	643	236	**1156**
2006	17,1	4,2	26,9	**48**	390	115	263	**767**	373	111	236	**719**
2007	22,5	24,4	22,5	**69**	424	250	333	**1007**	402	225	310	**937**
2008	4,3	17,9	33,1	**55**	94	128	270	**492**	90	110	237	**437**
2009	45,6	12,6	0,0	**58**	176	631	0	**807**	131	618	0	**749**
2010	14,4	15,9	32,5	**63**	386	0	91	**477**	371	0	58	**430**
2011	22,7	111,6	58,8	**193**	415	739	399	**1553**	392	627	341	**1360**
2012	0,0	26,1	133,2	**159**	580	681	797	**2058**	580	655	664	**1898**
TOTAL	**237**	**381**	**383**	**1002**	**4710**	**5078**	**3219**	**13007**	**4473**	**4750**	**2836**	**12059**

Tabla 258 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Cucao 1995 – 2012.

	Abastecimiento		Producción bruta		Producción neta	
Año	**101746**	**Total**	**101746**	**Total**	**101746**	**Total**
1995	69,4	**69,4**	152	**152**	83	**83**
1996	0,3	**0,3**	14	**14**	14	**14**
1997	8,4	**8,4**	376	**376**	368	**368**
1998	27,3	**27,3**	415	**415**	388	**388**
1999	29,2	**29,2**	191	**191**	162	**162**
2000	32,2	**32,2**	626	**626**	594	**594**
2001	16,8	**16,8**	468	**468**	451	**451**
2002	17,7	**17,7**	315	**315**	298	**298**
2003	4,0	**4,0**	330	**330**	326	**326**
2004	0,0	**0,0**	289	**289**	289	**289**
2005	0,0	**0,0**	0	**0**	0	**0**
2006	15,3	**15,3**	57	**57**	42	**42**
2007	24,0	**24,0**	321	**321**	297	**297**
2008	62,5	**62,5**	344	**344**	282	**282**
2009	19,6	**19,6**	466	**466**	447	**447**
2010	0,0	**0,0**	0	**0**	0	**0**
2011	0,0	**0,0**	0	**0**	0	**0**
2012	0,0	**0,0**	0	**0**	0	**0**
TOTAL	**327**	**327**	**4366**	**4366**	**4039**	**4039**

Tabla 259 Abastecimiento de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012. S.d.: sin datos

Año	100520	100616	100617	100968	101212	Total
1995	1,3	16,1	26,4	s.d.	0,0	**44**
1996	154,6	s.d.	s.d.	40,0	19,7	**214**
1997	223,1	10,0	10,3	16,4	14,4	**274**
1998	18,9	7,5	11,2	13,4	53,0	**104**
1999	20,9	8,9	16,8	13,3	21,9	**82**
2000	43,2	49,8	16,3	103,5	22,9	**236**
2001	33,2	0,0	21,4	18,6	143,8	**217**
2002	20,4	0,0	197,4	38,8	10,6	**267**
2003	0,0	14,8	8,6	20,0	1,7	**45**
2004	2,2	0,0	11,1	23,4	0,6	**37**
2005	14,3	0,0	20,1	11,6	0	**46**
2006	17,2	0,0	42,9	11,4	0	**71**
2007	30,7	1,1	62,1	27,7	0	**122**
2008	26,2	0,0	26,1	67,9	0	**120**
2009	8,8	0,0	13,4	45,6	0	**68**
2010	44,5	11,1	1,2	10,7	0	**67**
2011	0,0	11,9	0,0	0,0	0	**12**
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0	**0**
TOTAL	**660**	**131**	**485**	**462**	**288**	**2027**

Tabla 260 Producción bruta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012.

Año	100520	100616	100617	100968	101212	Total
1995	42	30	163	33	0	**268**
1996	315	3	86	93	159	**657**
1997	86	57	82	252	161	**639**
1998	449	101	140	322	75	**1088**
1999	420	91	324	351	84	**1271**
2000	595	321	294	222	346	**1777**
2001	392	40	274	136	680	**1522**
2002	356	0	482	138	147	**1122**
2003	514	32	518	168	0	**1233**
2004	0	0	446	252	0	**698**
2005	197	0	418	92	0	**707**
2006	26	0	397	142	0	**565**
2007	291	0	504	261	0	**1057**
2008	436	0	416	426	0	**1278**
2009	124	0	346	263	0	**733**
2010	396	64	300	473	0	**1234**
2011	0	411	4	0	0	**415**
2012	0	163	0	0	0	**163**
TOTAL	**4641**	**1314**	**5195**	**3627**	**1652**	**16428**

Tabla 261 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Huillinco 1995 – 2012.

Año	100520	100616	100617	100968	101212	Total
1995	41	13	137	33	0	**224**
1996	160	3	86	53	139	**443**
1997	86	47	72	236	146	**587**
1998	430	93	129	309	22	**984**
1999	399	82	307	338	62	**1189**
2000	552	271	278	118	323	**1541**
2001	359	40	253	117	537	**1305**
2002	336	0	284	99	136	**855**
2003	514	17	509	148	0	**1189**
2004	0	0	435	229	0	**664**
2005	183	0	398	80	0	**661**
2006	9	0	354	131	0	**494**
2007	260	0	442	234	0	**936**
2008	410	0	390	359	0	**1158**
2009	115	0	332	217	0	**665**
2010	351	53	299	463	0	**1166**
2011	0	399	4	0	0	**403**
2012	0	163	0	0	0	**163**
TOTAL	**4206**	**1184**	**4709**	**3164**	**1366**	**14630**

Tabla 262 Abastecimiento, producción bruta y neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Tarahuin 1995 – 2012.

	Abastecimiento			Producción bruta			Producción neta		
Año	**100436**	**100521**	**Total**	**100436**	**100521**	**Total**	**100436**	**100521**	**Total**
1995	9,7	11,2	**21**	35	6	**41**	26	6	**31**
1996	0,3	2,5	**3**	44	236	**281**	44	234	**278**
1997	7,6	0,5	**8**	99	310	**408**	91	309	**400**
1998	s.d.	3,8	**4**	65	37	**102**	65	33	**98**
1999	3,0	18,8	**22**	184	153	**337**	181	134	**315**
2000	11,9	30,3	**42**	422	502	**924**	410	472	**882**
2001	15,3	26,0	**41**	567	178	**745**	551	152	**704**
2002	38,8	0,0	**39**	766	16	**782**	727	16	**743**
2003	1,3	65,0	**66**	432	302	**734**	431	237	**668**
2004	0,1	47,0	**47**	0	587	**587**	0	540	**540**
2005	0,0	121,5	**122**	0	553	**553**	0	431	**431**
2006	1,0	97,8	**99**	0	578	**578**	0	480	**480**
2007	122,9	92,1	**215**	162	799	**961**	39	707	**746**
2008	57,7	102,5	**160**	303	605	**909**	245	503	**748**
2009	0,0	101,5	**101**	0	746	**746**	0	645	**645**
2010	0,0	192,7	**193**	0	750	**750**	0	557	**557**
2011	0,0	132,4	**132**	0	612	**612**	0	480	**480**
2012	0	180,6	**181**	0	747	**747**	0	567	**567**
TOTAL	**269**	**1226**	**1496**	**3079**	**7717**	**10796**	**2811**	**6502**	**9313**

Tabla 263 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Tepuheico 1995 – 2012.

	Abastecimiento		Producción bruta		Producción neta	
Año	**101746**	**Total**	**101746**	**Total**	101834	**Total**
1995	3,8	**4**	18,5	**18,5**	14,8	**15**
1996	3,1	**3**	0,0	**0,0**	0,0	**0**
1997	9,6	**10**	151,4	**151,4**	141,8	**142**
1998	9,8	**10**	78,5	**78,5**	68,7	**69**
1999	1,6	**2**	76,2	**76,2**	74,6	**75**
2000	5,9	**6**	44,1	**44,1**	38,2	**38**
2001	25,2	**25**	104,2	**104,2**	79,0	**79**
2002	30,5	**31**	121,0	**121,0**	90,5	**90**
2003	18,4	**18**	388,7	**388,7**	370,3	**370**
2004	18,7	**19**	250,8	**250,8**	241,7	**242**
2005	31,0	**31**	213,1	**213,1**	194,3	**194**
2006	25,4	**25**	105,6	**105,6**	280,1	**280**
2007	17,7	**18**	138,7	**138,7**	414,7	**415**
2008	28,5	**28**	132,4	**132,4**	466,2	**466**
2009	0,0	**0**	0,0	**0,0**	0,0	**0**
2010	0,0	**0**	0,0	**0,0**	0,0	**0**
2011	0,0	**0**	0,0	**0,0**	0,0	**0**
2012	0,0	**0**	0,0	**0,0**	0,0	**0**
TOTAL	**229**	**229**	**1823**	**1823**	**2475**	**2475**

Tabla 264 Producción neta de peces (Ton/año) por centro de cultivo en el lago Yelcho 1995 – 2012.

	Abastecimiento			**Producción bruta**			**Producción neta**		
Año	101521	101522	TOTAL	101521	101522	**TOTAL**	101521	101522	**TOTAL**
1995	2,8	0,0	**2,8**	0	0	**0**	0,0	0,0	**0**
1996	0,5	1,5	**2,1**	17	0	**17**	16,5	0,0	**17**
1997	41,4	0,6	**42,0**	36	0	**36**	0,0	0,0	**0**
1998	0,2	0,0	**0,2**	43	0	**43**	42,4	0,0	**42**
1999	1,2	0,0	**1,2**	0	0	**0**	0,0	0,0	**0**
2000	4,6	17,9	**22,5**	147	18	**165**	142,4	0,0	**142**
2001	1,0	0,0	**1,0**	123	16	**139**	122,2	15,7	**138**
2002	7,3	1,4	**8,7**	272	0	**272**	264,6	0,0	**265**
2003	0,9	0,7	**1,6**	102	1	**104**	101,5	0,5	**102**
2004	0,7	0,0	**0,7**	11	0	**11**	10,4	0,0	**10**
2005	0,3	0,3	**0,6**	0	0	**0**	0,0	0,1	**0**
2006	0,0	0,0	**0,0**	0	1	**1**	0,2	0,8	**1**
2007	0,0	0,0	**0,0**	0	0	**0**	0,0	0,0	**0**
2008	0,1	0,1	**0,2**	0	0	**0**	0,0	0,0	**0**
2009	158,2	0,0	**158,2**	802	0	**802**	643,7	0,0	**644**
2010	152,6	1,3	**154,0**	609	40	**648**	456,1	38,2	**494**
2011	88,4	0,0	**88,4**	1011	0	**1011**	922,2	0,0	**922**
2012	0,5	0,0	**0,5**	1286	0	**1286**	1285,5	0,0	**1286**
TOTAL	**461**	**24**	**485**	**4459**	**76**	**4534**	**4008**	**55**	**4063**

ANEXO 3 DATOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL MONITOREO DE 6 LAGOS

Tabla 265 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Rupanco durante primavera 2012. DS = desviación estándar.

Prof.	Temp.	Cond.		Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm	pH	mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
Centro < 270 m												
0	10,22	52	7,50	11,62	104	< 0,002	< 0,002	0,0057	0,0495	0,0032	0,0063	1,4
10	10,18	52	7,74	11,46	102	< 0,002	< 0,002	0,0062	0,0618	0,0036	0,0052	1,8
20	10,18	52	7,78	11,40	102	< 0,002	< 0,002	0,0078	0,0544	0,0036	0,0057	1,0
30	10,06	52	7,83	11,40	101	< 0,002	< 0,002	0,0071	0,0513	0,0028	0,0054	1,3
40	10,02	52	7,89	11,31	101	< 0,002	< 0,002	0,0068	0,0516	< 0,002	0,0054	
50	9,99	52	7,93	11,23	100	< 0,002	< 0,002	0,0094	0,0639	0,0030	0,0046	
80	9,92	52	7,99	10,96	97	< 0,002	< 0,002	0,0125	0,0618	0,0026	0,0071	
120	9,85	52	8,00	10,66	94	< 0,002	< 0,002	0,0176	0,0522	0,0036	0,0063	
160	9,83	52	7,98	10,51	93	< 0,002	< 0,002	0,0204	0,0565	0,0022	0,0063	
200	9,82	53	7,95	10,28	91	< 0,002	< 0,002	0,0222	0,0559	0,0032	0,0069	
260	9,83	53	7,92	10,24	91	< 0,002	< 0,002	0,0207	0,0646	0,0030	0,0046	
promedio	9,99	52	7,86	11,01	98	< 0,002	< 0,002	0,0124	0,0567	0,0031	0,0058	1,4
DS	0,2	0,4	0,15	0,50	5			0,0066	0,0055	0,0005	0,0008	0,4

Continuación tabla 265

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
BAHIA < 100 m												
0	10,66	52	8,29	11,31	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0513	0,0036	0,0049	0,7
10	10,38	52	8,00	11,45	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0862	0,0038	0,0060	1,4
20	10,32	52	8,12	11,36	102	0,0041	< 0,002	< 0,002	0,0590	0,0049	0,0049	1,7
30	10,27	52	8,21	11,16	100	0,0029	< 0,002	0,0024	0,0689	0,0038	0,0052	1,5
40	10,16	52	8,27	10,97	98	< 0,002	< 0,002	0,0045	0,0602	0,0041	0,0062	1,8
50	10,09	52	8,32	10,87	97	< 0,002	< 0,002	0,0053	0,0522	0,0034	0,0055	
80	9,84	52	8,39	10,52	93	< 0,002	< 0,002	0,0104	0,0553	0,0036	0,0060	
100	9,81	52	8,43	10,28	91	0,0024	< 0,002	0,0128	0,0670	0,0032	0,0066	
promedio	10,19	52	8,25	10,99	98	< 0,002	< 0,002	0,0071	0,0625	0,0038	0,0056	1,4
DS	0,28	0	0,14	0,42	4			0,0044	0,0115	0,0005	0,0006	0,4
100081 - Punta Adolfo												
0	11,24	52	7,25	11,41	104	< 0,002	< 0,002	0,0042	0,0602	< 0,002	0,0077	0,6
20	10,28	52	7,22	11,38	102	< 0,002	< 0,002	0,0056	0,0559	< 0,002	0,0063	0,8
40	10,15	52	7,23	11,12	99	< 0,002	< 0,002	0,0054	0,0588	0,0022	0,0054	1,1
promedio	10,56	52	7,23	11,30	102	< 0,002	< 0,002	0,0051	0,0583	< 0,002	0,0065	0,8
DS	0,60	0,0	0,02	0,16	3			0,0008	0,0022		0,0011	0,3

Continuación tabla 265

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
101707 - Noreste Punta Negra												
0	11,21	52	7,15	11,31	103	< 0,002	< 0,002	0,0037	0,0575	0,0026	0,0057	0,6
70	10,08	52	7,36	11,19	100	< 0,002	< 0,002	0,0058	0,0513	0,0036	0,0063	1,8
140	9,89	52	7,37	10,63	94	< 0,002	< 0,002	0,0139	0,0544	0,0030	0,0071	0,6
promedio	10,39	52	7,29	11,04	99	< 0,002	< 0,002	0,0078	0,0544	0,0031	0,0064	1,0
DS	0,71	0,0	0,12	0,36	5			0,0053	0,0031	0,0005	0,0007	0,7
100389 - Bahia El Encanto												
0	10,93	52	7,25	11,33	103	< 0,002	< 0,002	0,0052	0,0627	0,0026	0,0071	1,0
10	10,34	52	7,16	11,33	101	< 0,002	< 0,002	0,0068	0,0582	0,0032	0,0071	1,1
20	10,06	52	7,24	11,09	99	< 0,002	< 0,002	0,0062	0,0630	0,0026	0,0074	0,9
promedio	10,44	52	7,22	11,25	101	< 0,002	< 0,002	0,0060	0,0613	0,0028	0,0072	1,0
DS	0,44	0,0	0,05	0,14	2			0,0008	0,0027	0,0004	0,0002	0,1
100522 - Puerto Rico												
0	10,98	52	7,72	11,42	104	< 0,002	< 0,002	0,0021	0,0559	0,0030	0,0069	0,6
50	10,03	53	7,61	11,02	98	< 0,002	< 0,002	0,0062	0,0584	0,0028	0,0071	1,1
100	9,85	53	7,74	10,64	94	< 0,002	< 0,002	0,0131	0,0682	0,0026	0,0063	2,2
promedio	10,29	53	7,69	11,03	99	< 0,002	< 0,002	0,0071	0,0609	0,0028	0,0068	1,3
DS	0,61	0,6	0,07	0,39	5			0,0056	0,0065	0,0002	0,0004	0,8

Continuación tabla 265

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
101862 - Rio Bonito												
0	10,56	52	7,74	11,23	101	< 0,002	< 0,002	0,0115	0,0621	0,0030	0,0060	0,6
30	9,91	52	7,5	10,75	95	< 0,002	< 0,002	0,0117	0,0590	0,0034	0,0054	1,3
60	9,77	52	7,74	10,51	93	< 0,002	< 0,002	0,0146	0,0582	0,0034	0,0115	1,3
promedio	10,08	50	7,66	10,83	96	< 0,002	< 0,002	0,0126	0,0598	0,0033	0,0077	1,0
DS	0,42	0,0	0,14	0,37	4			0,0017	0,0021	0,0002	0,0033	0,4
101851 - Peninsula Islote												
0	11,11	52	6,82	11,37	104	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0572	0,0022	0,0046	1,0
50	10,17	52	7,06	11,08	99	< 0,002	< 0,002	0,0071	0,0582	0,0022	0,0052	1,6
100	10,02	52	7,1	11,02	98	< 0,002	< 0,002	0,0143	0,0582	0,0030	0,0054	1,7
promedio	10,43	52	6,99	11,16	100	< 0,002	< 0,002	0,0107	0,0578	0,0025	0,0051	1,4
DS	0,59	0,0	0,15	0,19	3			0,0051	0,0006	0,0005	0,0004	0,3
100625												
0	10,53	52	7,92	11,56	104	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0602	0,0024	0,0052	1,5
30	10,04	52	7,2	11,19	100	< 0,002	< 0,002	0,0060	0,0713	< 0,002	0,0052	1,7
60	10	52	7,36	10,82	96	< 0,002	< 0,002	0,0108	0,0590	0,0022	0,0062	1,6
promedio	10,19	52	7,49	11,19	100	< 0,002	< 0,002	0,0084	0,0635	< 0,002	0,0055	1,6
DS	0,30	0,0	0,38	0,37	4			0,0034	0,0068	0,0001	0,0006	0,1

Tabla 266 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Llanquihue durante primavera 2012.
DS = desviación estándar.

Prof.	Temp.	Cond.		Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm	pH	mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
Centro 1												
0	11,31	91	7,25	11,43	105	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0310	< 0,002	0,0049	0,6
10	10,83	92	7,53	11,59	105	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0344	< 0,002	0,0046	0,6
20	10,77	92	7,64	11,75	106	< 0,002	< 0,002	0,0104	0,0315	< 0,002	0,0056	0,7
30	10,74	92	7,7	11,87	107	0,0024	< 0,002	< 0,002	0,0378	< 0,002	0,0063	0,5
40	10,72	92	7,73	11,19	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0438	< 0,002	0,0083	0,8
50	10,72	92	7,75	11,22	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0347	< 0,002	0,0055	
80	10,57	92	7,75	11,09	100	0,0032	< 0,002	0,0027	0,0315	< 0,002	0,0066	
120	10,5	92	7,74	10,90	98	< 0,002	< 0,002	0,0076	0,0327	< 0,002	0,0055	
160	10,48	92	7,7	10,73	96	0,0045	< 0,002	0,0093	0,0338	< 0,002	0,0063	
200	10,45	92	7,69	10,55	95	0,0034	< 0,002	0,0135	0,0416	< 0,002	0,0060	
250	10,41	93	7,67	10,08	90	0,0034	< 0,002	0,0160	0,0422	< 0,002	0,0069	
300	10,4	94	7,65	9,69	87	0,0020	< 0,002	0,0230	0,0395	< 0,002	0,0055	
promedio	10,66	92	7,65	11,01	99	0,0025	< 0,002	0,0118	0,0362	< 0,002	0,0060	0,67
DS	0,26	1	0,14	0,66	6	0,0012		0,0065	0,0046		0,0010	0,10

Continuación tabla 266

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
Centro 2												
0	11,09	89	7,14	11,31	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0321	< 0,002	0,0052	1,0
10	10,95	91	7,25	11,34	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0430	< 0,002	0,0053	0,9
20	10,83	92	7,22	11,36	103	0,0024	< 0,002	< 0,002	0,0511	< 0,002	0,0055	1,0
30	10,79	92	7,18	11,37	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0444	< 0,002	0,0056	0,9
40	10,75	92	7,13	11,33	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0413	< 0,002	0,0052	0,7
50	10,73	92	7,08	11,16	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0375	< 0,002	0,0066	
80	10,65	92	7,04	11,15	101	< 0,002	< 0,002	0,0066	0,0424	< 0,002	0,0066	
120	10,51	92	6,97	10,89	98	< 0,002	< 0,002	0,0144	0,050	< 0,002	0,0060	
160	10,46	92	6,96	10,65	96	< 0,002	< 0,002	0,0160	0,0481	< 0,002	0,0086	
200	10,45	93	7,02	10,41	93	0,0023	< 0,002	0,0176	0,0484	0,0027	0,0074	
250						< 0,002	< 0,002	0,0191	0,050	0,0024	0,0139	
promedio	10,72	92	7,10	11,10	100	0,0020	< 0,002	0,0148	0,0437	0,0026	0,0069	0,91
DS	0,21	1	0,10	0,34	3	0,0007		0,0049	0,0143	0,0002	0,0025	0,11

Continuación tabla 266

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
100370 Bahia Ensenada												
0	11,64	92	7,25	10,83	100	0,0023	< 0,002	< 0,002	0,0330	< 0,002	0,0046	0,7
25	10,89	92	7,31	11,27	102	0,0022	< 0,002	< 0,002	0,0338	< 0,002	0,0063	1,3
50	10,67	92	7,26	10,88	98	< 0,002	< 0,002	0,0040	0,0315	< 0,002	0,0070	0,9
promedio	11,07	92	7,27	10,99	100	0,0022	< 0,002		0,0328	< 0,002	0,0060	0,9
DS	0,51	0	0,03	0,24	2	0,0001			0,0012		0,0012	0,3
100390 Bahia Volcan												
0	11,5	90	6,93	11,22	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0258	< 0,002	0,0052	0,9
35	10,76	92	7,28	11,22	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0395	< 0,002	0,0052	0,9
70	10,71	92	7,39	10,83	98	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0327	< 0,002	0,0066	1,3
promedio	10,99	91	7,20	11,09	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0327	< 0,002	0,0057	1,0
DS	0,44	1	0,24	0,23	3				0,0069		0,0008	0,3
100100 Philippi												
0	11,9	91	7,13	11,09	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0280	< 0,002	0,0055	0,6
20	11,23	92	7,16	11,01	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0275	< 0,002	0,0052	0,5
40	10,98	92	7,2	11,01	100	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0258	< 0,002	0,0055	0,6
promedio	11,37	92	7,16	11,04	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0271	< 0,002	0,0054	0,6
DS	0,48	1	0,04	0,05	2				0,0012		0,0002	0,1

Continuación tabla 266

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
100332 Maiten												
0	12,11	92	7,07	11,26	105	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0387	< 0,002	0,0046	1,2
30	11,17	92	7,04	11,32	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0410	< 0,002	0,0046	0,7
50	10,53	92	7,22	11,01	99	< 0,002	< 0,002	0,0029	0,0630	< 0,002	0,0077	1,3
promedio	11,27	92	7,11	11,20	102	< 0,002	< 0,002		0,0476	< 0,002	0,0057	1,1
DS	0,79	0	0,10	0,16	3				0,0134		0,0018	0,3
100510 Maiten A												
0	12,28	92	7,45	11,17	105	0,0040	< 0,002	< 0,002	0,0375	< 0,002	0,0060	0,9
30	11,14	92	7,13	11,21	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0281	< 0,002	0,0049	1,0
60	10,8	92	7,22	11,10	100	0,0022	< 0,002	< 0,002	0,0490	< 0,002	0,0066	0,6
promedio	11,41	92	7,27	11,16	102	0,0031	< 0,002	< 0,002	0,0382	< 0,002	0,0058	0,8
DS	0,78	0	0,17	0,06	2	0,0013			0,0105		0,0009	0,2
101866 Philippi 2												
0	11,91	92	7,26	10,90	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0685	< 0,002	0,0058	0,6
20	11,23	92	7,41	10,84	99	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0690	< 0,002	0,0049	0,6
45	10,9	92	7,46	10,71	97	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0373	< 0,002	0,0046	0,7
promedio	11,35	92	7,38	10,82	99	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0583	< 0,002	0,0051	0,6
DS	0,52	0	0,10	0,10	2				0,0182		0,0006	0,0

Continuación tabla 266

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
100070 Rosales												
0	12,74	91	7,19	11,29	107	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0899	0,0024	0,0122	1,3
5	12,68	91	7,23	11,22	106	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0791	0,0022	0,0108	1,8
10	12,19	92	7,27	11,25	105	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0667	0,0038	0,0147	0,0
promedio	12,54	91	7,23	11,25	106	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0786	0,0028	0,0126	1,0
DS	0,30	1	0,04	0,04	1				0,0116	0,0009	0,0020	0,9
100507 Playa Maqui												
0	12,12	92	7,58	11,08	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0633	0,0041	0,0069	1,0
25	11,28	92	7,15	11,13	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0373	< 0,002	0,0060	1,0
50	10,69	92	7,22	10,90	98	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0495	< 0,002	0,0088	0,7
promedio	11,36	92	7,32	11,04	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0500	0,0041	0,0072	0,9
DS	0,72	0	0,23	0,12	3				0,0130		0,0014	0,2
100204 Bahia Rincones												
0	12,27	91	7,34	10,89	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0274	< 0,002	0,0048	1,0
30	11,32	92	7,54	11,14	102	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0319	< 0,002	0,0050	1,0
60	10,72	92	7,58	10,99	99	< 0,002	< 0,002	0,0053	0,0417	0,0026	0,0073	0,6
promedio	11,44	92	7,49	11,01	101	< 0,002	< 0,002		0,0336	0,0026	0,0057	0,8
DS	0,78	1	0,13	0,13	2				0,0073		0,0014	0,2

Continuación tabla 266

Prof.	Temp.	Cond.	pH	Oxígeno	Sat. O_2	N-NH_4	N-NO_2	N-NO_3	N-Tot.	P-PO_4	P Tot.	Clorofila a µg/L
m	ºC	µS/cm		mg/L	%	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L	
100545 Puerto Octay												
0	11,99	92	7,35	11,08	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0306	< 0,002	0,0053	0,6
10	11,52	92	7,51	11,26	104	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0391	< 0,002	0,0060	0,8
20	11,36	92	7,38	11,32	104	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0385	< 0,002	0,0053	0,7
promedio	11,62	92	7,41	11,22	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0361	< 0,002	0,0055	0,7
DS	0,33	0	0,09	0,12	0				0,0048		0,0004	0,1
100627 Montealegre												
0	12,64	91	7,48	11,01	104	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0700	0,0030	0,0078	1,3
15	11,66	92	7,59	11,19	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0312	< 0,002	0,0055	0,8
30	11,62	112	7,53	11,19	103	< 0,002	< 0,002	0,0041	0,0375	0,0021	0,0058	0,9
promedio	11,97	98	7,53	11,13	103	< 0,002	< 0,002		0,0462	0,0026	0,0064	1,0
DS	0,58	12	0,06	0,10	0				0,0207	0,0007	0,0013	0,2
100628 Bahia Cox												
0	11,93	93	7,16	10,93	102	< 0,002	< 0,002	0,0088	0,0740	0,0030	0,0073	0,4
15	11,33	91	7,82	11,06	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0510	< 0,002	0,0063	0,5
30	11,21	92	7,8	11,10	101	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0319	< 0,002	0,0050	0,9
promedio	11,49	92	7,59	11,03	101	< 0,002	< 0,002		0,0526	0,0030	0,0062	0,6
DS	0,39	1	0,38	0,09	0				0,0211		0,0011	0,2

Tabla 267 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Chapo durante primavera 2012.
DS = desviación estándar.

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
Centro 1												
0	8,85	27	7,56	11,82	102	0,0024	< 0,002	0,0065	0,0716	< 0,002	0,0055	6,0
10	8,82	27	6,94	11,69	101	< 0,002	< 0,002	0,0095	0,0766	< 0,002	0,0049	5,7
20	8,74	27	6,8	11,69	101	< 0,002	< 0,002	0,0108	0,0795	< 0,002	0,0057	5,4
30	8,61	27	6,76	11,45	98	< 0,002	< 0,002	0,0142	0,0775	< 0,002	0,0052	5,0
40	8,38	27	6,75	11,33	97	0,0041	< 0,002	0,0171	0,0687	< 0,002	0,0046	4,4
50	8,26	27	6,76	10,96	93	0,0033	< 0,002	0,0237	0,0713	< 0,002	0,0046	
80	8,04	27	6,78	10,08	85	0,0029	< 0,002	0,0415	0,0883	< 0,002	0,0057	
120	8,01	27	6,77	9,55	81	0,0033	< 0,002	0,0471	0,0792	< 0,002	0,0060	
160	8,00	27	6,76	9,3	79	< 0,002	< 0,002	0,0468	0,0813	< 0,002	0,0066	
200	7,99	27	6,75	9,19	78	0,0020	< 0,002	0,0451	0,0781	< 0,002	0,0066	
250	7,99	27	6,77	9,11	77	0,0037	< 0,002	0,0469	0,0763	< 0,002	0,0066	
promedio		27				0,0031	< 0,002	0,0281	0,0771	< 0,002	0,0056	5,3
DS		0				0,0007		0,0173	0,0054		0,0008	0,6

Continuación tabla 267

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
Centro 2												
0	9,54	26	7,18	11,76	103	< 0,002	< 0,002	0,0026	0,0722	< 0,002	0,0077	6,7
10	9,00	27	6,69	11,73	102	0,0029	< 0,002	0,0032	0,0728	< 0,002	0,0066	4,1
20	8,95	27	6,6	11,53	100	0,0047	< 0,002	0,0036	0,0716	< 0,002	0,0057	6,9
30	8,87	27	6,59	11,35	98	0,0033	< 0,002	0,0059	0,0640	< 0,002	0,0052	3,0
40	8,53	27	6,58	11,18	96	0,0042	< 0,002	0,0051	0,0669	< 0,002	0,0052	4,6
50	8,22	27	6,6	10,78	92	0,0026	< 0,002	0,0101	0,0713	< 0,002	0,0046	
80	8,06	27	6,59	9,9	84	< 0,002	< 0,002	0,0385	0,0611	< 0,002	0,0054	
120	8,02	27	6,62	9,43	80	< 0,002	< 0,002	0,0418	0,0716	< 0,002	0,0060	
160	8,00	27	6,64	9,17	78	0,0020	< 0,002	0,0437	0,0822	< 0,002	0,0052	
200	7,99	27	6,64	9,09	77	< 0,002	< 0,002	0,0395	0,0851	< 0,002	0,0046	
250	7,99	27	6,59	8,9	75	0,0030	< 0,002	0,0434	0,0763	< 0,002	0,0058	
290	7,99	27	6,62	8,89	75	0,0022	< 0,002	0,0436	0,0700	< 0,002	0,0054	
promedio						0,0031	< 0,002	0,0234	0,0721	< 0,002	0,0056	5,1
DS						0,0009		0,0193	0,0068		0,0009	1,7

Continuación tabla 267

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
100394 Desague I												
0	8,96	28	7,45	11,84	103	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,0625	< 0,002	0,0060	4,8
10	8,72	27	7,21	11,86	102	< 0,002	< 0,002	0,0041	0,0675	< 0,002	0,0049	7,1
20	8,68	28	7,22	11,62	100	< 0,002	< 0,002	0,0061	0,0669	< 0,002	0,0055	6,2
promedio						< 0,002	< 0,002	0,0051	0,0656	< 0,002	0,0055	6,1
DS								0,0014	0,0027		0,0006	1,2
101291 Desague II												
0	8,72	27	7,68	11,56	100	< 0,002	< 0,002	0,0072	0,0745	< 0,002	0,0069	5,9
20	8,42	27	6,92	11,41	98	< 0,002	< 0,002	0,0160	0,0699	< 0,002	0,0052	5,8
40	8,22	27	6,82	10,86	92	< 0,002	< 0,002	0,0256	0,0660	< 0,002	0,0057	3,5
80	8,04	28	6,89	9,66	82	< 0,002	< 0,002	0,0408	0,0778	< 0,002	0,0112	
promedio						< 0,002	< 0,002	0,0224	0,0721	< 0,002	0,0073	5,1
DS								0,0144	0,0052		0,0027	1,3
101332 Rio Sur												
0	8,61	27	7,74	11,45	98	< 0,002	< 0,002	0,0099	0,0734	< 0,002	0,0057	4,8
20	8,29	27	6,9	10,71	91	< 0,002	< 0,002	0,0225	0,0696	< 0,002	0,0060	2,9
40	8,16	27	6,91	10,35	88	< 0,002	< 0,002	0,0305	0,0816	< 0,002	0,0074	3,7
80	8,07	27	6,94	9,91	84	< 0,002	< 0,002	0,0399	0,0792	< 0,002	0,0052	
promedio						< 0,002	< 0,002	0,0257	0,0759	< 0,002	0,0061	3,8
DS								0,0127	0,0055		0,0010	1,0

Continuación tabla 267

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
101051 Pitote												
0	9,17	27	7,76	11,89	104	0,0049	< 0,002	0,0055	0,0687	< 0,002	0,0059	5,5
100	8,03	27	6,65	9,83	83	0,0029	< 0,002	0,0432	0,0704	< 0,002	0,0063	
250	7,99	27	6,71	9,2	78	0,0029	< 0,002	0,0451	0,0998	< 0,002	0,0060	
promedio						0,0036	< 0,002	0,0313	0,0796	< 0,002	0,0061	
DS						0,0012		0,0224	0,0175		0,0002	
100678 Culiculi												
0	9,68	27	7,74	12,02	106	0,0030	< 0,002	0,0020	0,0939	< 0,002	0,0055	5,2
100	8,03	27	6,57	9,78	83	< 0,002	< 0,002	0,0434	0,0765	< 0,002	0,0059	
190	8	27	6,61	9,27	78	< 0,002	< 0,002	0,0470	0,0822	< 0,002	0,0057	
promedio						< 0,002	< 0,002	0,0308	0,0842	< 0,002	0,0057	
DS								0,0250	0,0089		0,0002	

Tabla 268 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Natri durante primavera 2012.
DS = desviación estándar.

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
Centro												
0	13,02	50	7,84	11,32	108	0,0190	0,0129	0,2086	0,4846	0,0042	0,0204	9,8
10	12,23	52	7,57	11,07	104	0,0232	0,0138	0,2054	0,4747	0,0057	0,0204	6,6
20	10,34	52	7,41	11,09	99	0,0093	0,0091	0,2530	0,4468	0,0086	0,0207	2,5
30	9,46	52	7,37	10,04	88	< 0,002	0,0020	0,3425	0,5121	0,0189	0,0274	1,6
40	9,09	53	7,34	9,44	82	0,0051	0,0033	0,3145	0,5075	0,0175	0,0279	1,8
50	9,01	53	7,37	8,76	76	< 0,002	< 0,002	0,3548	0,5155	0,0224	0,0287	
55	9,01	53	7,37	8,76	76	0,0032	0,0019	0,3553	0,5189	0,0224	0,0308	
promedio	10,31	52	7,47	10,07	90	0,0120	0,0072	0,2906	0,4943	0,0142	0,0252	4,5
DS	1,66	1	0,18	1,11	13	0,0088	0,0055	0,0671	0,0267	0,0078	0,0045	3,6
100427 Centro Pitote												
0	12,67	52	8,08	10,77	102	0,0320	0,0108	0,1794	0,4812	0,0040	0,0252	7,6
15	11,53	52	7,71	10,43	96	0,0200	0,0089	0,2230	0,4892	0,0074	0,0228	4,6
25	10,3	52	7,42	9,29	83	0,0046	< 0,002	0,3049	0,4983	0,0148	0,0252	2,0
promedio	11,50	52	7,74	10,16	94	0,0189	0,0098	0,2358	0,4896	0,0087	0,0244	4,7
DS	1,19	0	0,33	0,78	10	0,0137	0,0013	0,0637	0,0086	0,0055	0,0014	2,8

Continuación tabla 268

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
100437 Sector Miraflores												
0	12,94	51	7,78	10,53	100	0,0223	0,0154	0,2072	0,4548	0,0067	0,0217	3,4
15	11,74	52	7,51	10,44	97	0,0134	0,0115	0,2390	0,4388	0,0091	0,0241	4,1
30	9,22	53	7,6	10,08	88	0,0069	< 0,002	0,3476	0,5155	0,0214	0,0335	2,5
promedio	11,30	52	7,63	10,35	95	0,0142	0,0135	0,2646	0,4697	0,0124	0,0265	3,3
DS	1,90	1	0,14	0,24	6	0,0077	0,0027	0,0736	0,0405	0,0079	0,0062	0,8
100600 Noroeste Puente Natri												
0	13,77	51	7,4	11,04	107	0,0348	0,0105	0,1645	0,4846	0,0045	0,0225	6,8
15	12,4	52	7,21	10,43	98	0,0418	0,0118	0,1819	0,4915	0,0047	0,0244	6,6
30	9,23	53	7,32	9,26	81	0,0060	< 0,002	0,3256	0,4972	0,0192	0,0274	6,3
promedio	11,80	52	7,31	10,24	95	0,0275	0,0112	0,2240	0,4911	0,0095	0,0248	6,6
DS	2,33	1	0,10	0,90	13	0,0190	0,0009	0,0884	0,0063	0,0084	0,0024	0,3

Tabla 269 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Huillinco durante primavera 2012.
DS = desviación estándar.s.d. Nitrato no se pudo medir por interferencias desconocidas.

Prof. m	Temp. °C	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
Centro												
0	14,31	1250	7,52	9,91	97	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,4015	< 0,002	0,0145	2,0
10	11,6	2093	9,71	4,62	43	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,5561	0,0049	0,0139	0,3
20	13,26	2002	10,64	0	0	0,9438	< 0,002	s.d.	1,7587	0,0257	0,0354	0,0
30	13,36	1997	11,04	0	0	0,3886	< 0,002	s.d.	5,5499	0,1703	0,2627	0,3
40	13,37	1996	11,2	0	0	0,3511	0,0031	s.d.	7,5923	0,2944	0,3701	0,2
45						0,4862	0,0036	s.d.	7,1628	0,3492	0,3754	
promedio	13,18	1868	10,02	2,91	28	0,5424	0,0033		3,8369	0,1689	0,1787	0,6
DS	0,98	348	1,51	4,40	43	0,2736	0,0004		3,3161	0,1547	0,1772	0,8
100520 Ensenada Contento												
0	14,07	1471	7,36	10,87	106	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,4387	0,0024	0,0099	2,16
20	13,26	2002	9,94	2,78	27	0,8463	< 0,002	s.d.	1,9018	0,0066	0,0856	4,73
40	13,37	1996	10,46	0,56	5	0,6887	< 0,002	s.d.	8,9857	0,2853	0,3271	4,71
promedio	10,97	1537	7,86	4,30	42	0,7675	< 0,002		3,7754	0,0981	0,1409	3,9
DS	5,60	699	3,75	3,92	38	0,1114			4,5712	0,1621	0,1657	1,5
100616 Ensenada Notué												
0	14,56	1167	7,37	10,46	103	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,4473	0,0024	0,0121	2,41
5	14,53	1182	8,09	10,34	102	0,0033	< 0,002	s.d.	0,5189	0,0031	0,0118	2,51
promedio	11,81	1316	7,51	5,92	58	0,0033	< 0,002		0,4831	0,0027	0,0119	2,1
DS	3,77	483	2,41	4,34	43				0,0506	0,0005	0,0002	0,4

Continuación tabla 269

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
100617 Pta. Contento												
0	14,09	1483	7,36	10,69	104	0,0025	< 0,002	s.d.	0,6277	0,0031	0,0107	1,85
15	13,74	1501	8,28	10,69	103	0,0183	< 0,002	s.d.	0,9541	0,0076	0,0172	2,41
30	13,31	1999	10,43	2,14	21	0,0224	0,0031	s.d.	7,3823	0,1847	0,2574	4,48
promedio	13,71	1661	8,69	7,84	76	0,0144			2,9881	0,0652	0,0951	2,9
DS	0,39	293	1,58	4,94	48	0,0105			3,8091	0,1036	0,1406	1,4
101212 Ensenada Leuquetreo												
0	14,47	0,876	7,31	10,21	100	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,5418	< 0,002	0,0121	2,18
10	11,64	2.091	8,07	4,60	42	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,7623	0,0054	0,0137	1,25
20	13,28	2.001	8,48	0,10	1	< 0,002	< 0,002	s.d.	1,2265	0,0047	0,1125	0,65
promedio	10,70	1209	6,83	5,54	54	< 0,002	< 0,002		0,8435	0,0050	0,0461	1,4
DS	5,85	988	2,98	3,81	37				0,3495	0,0005	0,0575	0,8
100968 Rio Bravo Rio Coipo												
0	13,21	0,44	7,17	9,90	95	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,3996	< 0,002	0,0113	2,04
5	14,23	1.203	8,03	9,80	96	< 0,002	< 0,002	s.d.	0,4101	< 0,002	0,0121	2,64
promedio	11,45	1080	6,70	5,83	56	< 0,002	< 0,002		0,4049	< 0,002	0,0117	2,3
DS	3,39	717	2,18	4,16	40				0,0074		0,0006	0,4

Tabla 270 Parámetros físicos y químicos medido en el Lago Tarahuin durante primavera 2012.
DS = desviación estándar.

Prof. m	Temp. ºC	Cond. µS/cm	pH	Oxígeno mg/L	Sat. O_2 %	N-NH_4 mgN/L	N-NO_2 mgN/L	N-NO_3 mgN/L	N-Tot. mgN/L	P-PO_4 mgP/L	P Tot. mgP/L	Clorofila a µg/L
Centro												
0	13,05	60	7,98	10,57	101	0,0111	< 0,002	0,0739	0,3460	0,0037	0,0247	5,1
10	12,25	60	7,88	10,73	100	0,0079	< 0,002	0,0720	0,3044	0,0032	0,0223	6,4
20	10,5	61	7,87	10,9	98	0,0060	< 0,002	0,1170	0,2994	0,0084	0,0244	3,1
30	9,61	62	7,83	10,56	93	0,0065	< 0,002	0,2069	0,3395	0,0216	0,0370	2,1
promedio	11,35	61	7,89	10,69	98	0,0079	< 0,002	0,1174	0,3223	0,0093	0,0271	4,2
DS	1,58	1	0,06	0,16	4	0,0023		0,0631	0,0238	0,0086	0,0067	1,9
100436 Este Rio Tarahuin												
0	12,83	60	7,93	11,2	106	0,0046	< 0,002	0,0766	0,4048	0,0035	0,0252	6,0
5	11,91	60	7,86	11,28	105	0,0079	< 0,002	0,0913	0,3617	0,0045	0,0252	6,8
10	11,47	61	7,67	11,31	104	0,0097	< 0,002	0,1338	0,3494	0,0116	0,0274	4,7
promedio	12,07	60	7,82			0,0074	< 0,002	0,1006	0,3720	0,0065	0,0259	5,8
DS	0,69	1	0,13			0,0026		0,0297	0,0291	0,0044	0,0012	1,1
100521 Centro Norte Tarahuin												
0	12,64	60	7,32	11,45	108	0,0069	< 0,002	0,0682	0,3403	0,0020	0,0244	5,9
15	11,94	60	7,82	11,28	105	0,0074	< 0,002	0,0943	0,3048	0,0035	0,0215	4,9
30	9,87	61	7,94	10,51	93	0,0055	< 0,002	0,2003	0,4113	0,0214	0,0354	2,0
promedio	11,48	60	7,69			0,0066	< 0,002	0,1209	0,3521	0,0090	0,0271	4,3
DS	1,44	1	0,33			0,0010		0,0700	0,0542	0,0108	0,0074	2,1

ANEXO 4 RESULTADOS DEL CONTEO DE FITOPLANCTON

Tabla 271 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Rupanco. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**Bahía**		**Centro**		**100081**		**100389**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	105052		292468		215457		332460	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	4200	4,0	0	0,0	1280	0,6	12358	3,7
Binuclearia sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	240	0,2	160	0,1	1	0,0	40	0,0
Botryococcus sp.	0	0,0	0	0,0	60	0,0	0	0,0
Chlamydomonas spp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	4119	1,2
Chlorella spp.	0	0,0	16478	5,6	0	0,0	16478	5,0
Cosmarium af. phaseolum	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Desmidium sp	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	4800	4,6	80	0,0	140	0,1	1	0,0
Elakatothrix gelatinosa Willie	960	0,9	240	0,1	120	0,1	0	0,0
Eudorina sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Euglena sp.	0	0,0	400	0,1	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Mougeotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Pandorina sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Trachelomonas spp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Tribonema af. bombycina	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOFICEAS								
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	160	0,2	80	0,0	10	0,0	160	0,0
Gymnodinium af. paradoxum	880	0,8	560	0,2	160	0,1	140	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	640	0,6	400	0,1	560	0,3	160	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0	1400	0,6	0	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	1	0,0	1	0,0	20	0,0	40	0,0

Continuación tabla 271

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**Bahía**		**Centro**		**100081**		**100389**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	105052		292468		215457		332460	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	1	0,0	16478	5,6	1	0,0	17851	5,4
Asterionella formosa Hassall	19440	18,5	33040	11,3	34500	16,0	16680	5,0
Aulacoaseira granulata var angustisima	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	32120	30,6	43120	14,7	48300	22,4	16760	5,0
Cocconeis spp.	40	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	640	0,6	0	0,0	13731	6,4	8239	2,5
Cyclotella af. atomus	0	0,0	16478	5,6	2746	1,3	4119	1,2
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	960	0,3	0	0,0	0	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	20	0,0
Cymbella sp.	40	0,0	160	0,1	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1373	0,4
Fragilaria af. tenera	1	0,0	32955	11,3	5493	2,5	1	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	320	0,3	5600	1,9	16800	7,8	5120	1,5
Fragilaria pinnata	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1373	0,4
Fragilaria sp1.	40	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	1	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Melosira varians Agardh	640	0,6	1	0,0	1	0,0	60	0,0
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	80	0,0	20	0,0	1373	0,4
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	60	0,0	40	0,0
Nitzschia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0	20	0,0	20	0,0
Rhizosolenia eriensis H.L. Smith	1360	1,3	27463	9,4	5493	2,5	45313	13,6
Rhizosolenia longiseta O. Zacharias	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Surirella spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	43940	15,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. ulna	1	0,0	1	0,0	50806	23,6	48059	14,5
Synedra sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	12358	3,7
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	720	0,7	960	0,3	0	0,0	0	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1	0,0	1	0,0	240	0,1	40	0,0
Urosolenia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	34328	10,3
CRISOFICEAS								
Chromulina spp.	0	0,0	5493	1,9	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	21600	20,6	2720	0,9	14080	6,5	1380	0,4
Dinobryon sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Uroglena sp.	960	0,9	5493	1,9	0	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS								
Cryptomonas af. erosa	8640	8,2	5920	2,0	12420	5,8	31582	9,5
Rhodomonas spp.	6591	6,3	32955	11,3	6866	3,2	52179	15,7
CIANOBACTERIAS								
Anabaena af. spiroides	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Gomphosphaerea sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	687	0,2

Continuación tabla 271

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**100522**		**100625**		**101707**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	241007		262945		540071	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS						
Ankistrodesmus falcatus (Corda)	5493	2,3	8239	3,1	5120	0,9
Binuclearia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	20	0,0	40	0,0	1	0,0
Botryococcus sp.	0	0,0	0	0,0	120	0,0
Chlamydomonas spp.	0	0,0	0	0,0	26880	5,0
Chlorella spp.	8239	3,4	13731	5,2	13731	2,5
Cosmarium af. Phaseolum	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmer.	0	0,0	0	0,0	1985	0,4
Desmidium sp	0	0,0	0	0,0	640	0,1
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	8000	3,3	1	0,0	2720	0,5
Elakatothrix gelatinosa Willie	0	0,0	0	0,0	160	0,0
Eudorina sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Euglena sp.	0	0,0	2746	1,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	0	0,0	2746	1,0	0	0,0
Mougeotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Pandorina sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Trachelomonas spp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Tribonema af. bombycina	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOFICEAS						
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	400	0,2	320	0,1	200	0,0
Gymnodinium af. paradoxum	580	0,2	520	0,2	720	0,1
Gymnodinium helveticum Penard	60	0,0	480	0,2	480	0,1
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	40	0,0	1	0,0	160	0,0

Continuación Tabla 271

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**100522**		**100625**		**101707**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	241007		262945		540071	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS						
Achnanthes spp.	1	0,0	1985	0,8	41194	7,6
Asterionella formosa Hassall	13731	5,7	11920	4,5	23000	4,3
Aulacoaseira granulata var angustisima (O.F.Müller)	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	41194	17,1	47840	18,2	46240	8,6
Cocconeis spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	2746	1,1	8239	3,1	8239	1,5
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	32955	6,1
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	180	0,0
Diatoma sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria af. tenera	6866	2,8	16478	6,3	1	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	17851	7,4	7040	2,7	4480	0,8
Fragilaria pinnata	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp1.	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	1	0,0	480	0,2	320	0,1
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	240	0,1	20	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow	2746	1,1	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0	20	0,0
Rhizosolenia eriensis H.L. Smith	9612	4,0	41194	15,7	68656	12,7
Rhizosolenia longiseta O. Zacharias	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Surirella spp.	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	16478	6,3	8239	1,5
Synedra af. ulna	1	0,0	1	0,0	16478	3,1
Synedra sp.	0	0,0	1	0,0	21970	4,1
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	0	0,0	440	0,2	120	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Urosolenia sp.	0	0,0	8239	3,1	137313	25,4
CRISOFICEAS						
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	1900	0,8	13120	5,0	1480	0,3
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	6866	2,8	0	0,0	0	0,0
Uroglena sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS						
Cryptomonas af. erosa	75522	31,3	21970	8,4	4760	0,9
Rhodomonas spp.	38448	16,0	38448	14,6	71403	13,2
CIANOBACTERIAS						
Anabaena af. spiroides	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gomphosphaerea sp.	687	0,3	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 271

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**101862**		**101851**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	351695		246252	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS				
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	2746	0,8	1985	0,8
Binuclearia sp.	0	0,0	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	1	0,0	240	0,1
Botryococcus sp.	0	0,0	0	0,0
Chlamydomonas spp.	28160	8,0	0	0,0
Chlorella spp.	49433	14,1	16478	6,7
Cosmarium af. phaseolum	1	0,0	0	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0
Desmidium sp	1200	0,3	0	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	1	0,0	1140	0,5
Elakatothrix gelatinosa Willie	0	0,0	320	0,1
Eudorina sp.	1	0,0	1	0,0
Euglena sp.	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	1	0,0	80	0,0
Mougeotia sp.	0	0,0	80	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	0	0,0	1	0,0
Pandorina sp.	0	0,0	0	0,0
Trachelomonas spp.	0	0,0	0	0,0
Tribonema af. bombycina	0	0,0	0	0,0
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	1	0,0
DINOFICEAS				
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	40	0,0	80	0,0
Gymnodinium af. paradoxum	560	0,2	560	0,2
Gymnodinium helveticum Penard	160	0,0	320	0,1
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	200	0,1	160	0,1

Continuación Tabla 271

Lago	**RUPANCO**		**RUPANCO**	
Estación /Código	**101862**		**101851**	
Fecha	27-09-2012		27-09-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	351695		246252	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS				
Achnanthes spp.	8239	2,3	21970	8,9
Asterionella formosa Hassall	6000	1,7	12240	5,0
Aulacoaseira granulata var angustisima (O.F.Müller)	1	0,0	1	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	30400	8,6	37440	15,2
Cocconeis spp.	0	0,0	5493	2,2
Cyclotella ocellata Pantocsek	1985	0,6	5493	2,2
Cyclotella af. atomus	2746	0,8	0	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	0	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0
Diatoma sp.	1	0,0	1	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0
Fragilaria af. tenera	1	0,0	5493	2,2
Fragilaria crotonensis Kitton	6200	1,8	3520	1,4
Fragilaria pinnata	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp1.	2560	0,7	5493	2,2
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	20	0,0	80	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	1	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	360	0,1	1920	0,8
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	80	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0
Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0
Nitzschia sp.	0	0,0	5493	2,2
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0
Rhizosolenia eriensis H.L. Smith	30209	8,6	43940	17,8
Rhizosolenia longiseta O. Zacharias	1	0,0	0	0,0
Surirella spp.	0	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	0	0,0
Synedra af. ulna	24716	7,0	1	0,0
Synedra sp.	2746	0,8	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	0	0,0	0	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	0	0,0	80	0,0
Urosolenia sp.	85134	24,2	21970	8,9
CRISOFICEAS				
Chromulina spp.	0	0,0	5493	2,2
Dinobryon divergens	1960	0,6	5600	2,3
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	0	0,0
Uroglena sp.	0	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS				
Cryptomonas af. erosa	5493	1,6	4560	1,9
Rhodomonas spp.	60418	17,2	38448	15,6
CIANOBACTERIAS				
Anabaena af. spiroides	0	0,0	0	0,0
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0
Gomphosphaerea sp.	0	0,0	0	0,0

Tabla 272 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Llanquihue.
Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**C1**		**C2**		**100070**		**100100**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	405525		488995		737587		496873	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Actinastrum sp.	1373	0,3	0	0,0	0	0,0	5493	1,1
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	0	0,0	0	0,0	160	0,0	0	0,0
Asterococcus sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Binuclearia sp.	1	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	2360	0,6	4240	0,9	1600	0,2	2120	0,4
Chlamydomonas spp.	133191	32,8	163402	33,4	137313	18,6	152417	30,7
Chlorella spp.	78267	19,3	118089	24,1	74149	10,1	156536	31,5
Closterium aciculare	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Coelastrum sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cosmarium punctatum Nordstedt	0	0,0	0	0,0	120	0,0	0	0,0
Cosmarium sp.	0	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0	687	0,1
Desmidium sp.	1	0,0	1	0,0	2120	0,3	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	1920	0,5	15360	3,1	181840	24,7	4880	1,0
Elakatothrix gelatinosa Willie	5492	1,4	1373	0,3	1	0,0	80	0,0
Eudorina sp.	1	0,0	0	0,0	5280	0,7	0	0,0
Euglena sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	0	0,0	80	0,0	80	0,0	200	0,0
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Schmidle	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mougeotia sp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0	200	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	0	0,0	0	0,0	320	0,0	0	0,0
Pediastrum duplex Meyen	0	0,0	0	0,0	80	0,0	0	0,0
Planktonema sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Scenedesmus sp.	0	0,0	0	0,0	5493	0,7	0	0,0
Sphaerocystis schroeteri Chordat	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Sphaerocystis sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum af. Planctonicum	1	0,0	40	0,0	20	0,0	20	0,0
Staurastrum sp.	1	0,0	1	0,0	160	0,0	1	0,0
Staurodesmus sp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0	1	0,0
Trachelomona spp.	275	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Tribonema af. bombycina	1	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	26240	6,5	15560	3,2	880	0,1	9600	1,9
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	1200	0,2	100	0,0
DINOFICEAS								
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	0	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	0	0,0	120	0,0	120	0,0	0	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	1373	0,3	640	0,1	4119	0,8

Continuación Tabla 272

Lago	LLANQUIHUE		LLANQUIHUE		LLANQUIHUE		LLANQUIHUE	
Estación /Código	C1		C2		100070		100100	
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	1373	0,3	0	0,0	5493	0,7	5493	1,1
Amphora sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	20	0,0	320	0,1	1960	0,3	1	0,0
Aulacoaseira granulata var angustisima (O.F.Müller) Simonsen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira af. distance	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	1180	0,3	1760	0,4	2800	0,4	1180	0,2
Cocconeis spp.	0	0,0	0	0,0	960	0,1	687	0,1
Cyclotella ocellata Pantocsek	23343	5,8	17851	3,7	24716	3,4	16478	3,3
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	1373	0,2	2746	0,6
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	1	0,0	0	0,0	1	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0	687	0,1	0	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Diatoma af. tenuis	40	0,0	40	0,0	0	0,0	80	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	120	0,0	800	0,2
Diploneis spp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Fragilaria af. tenera	0	0,0	80	0,0	360	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	100	0,0	1	0,0	9600	1,3	1	0,0
Fragilaria sp1.	1	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	20	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	160	0,0	1	0,0	1	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0	200	0,0	687	0,1
Navicula sp1.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula sp2.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Neidium sp	0	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Nitzchia af. fonticola	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	0	0,0	20	0,0
Nitzschia sp1.	0	0,0	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Stephanodiscus sp.	160	0,0	2746	0,6	0	0,0	0	0,0
Surirella sp.	0	0,0	0	0,0	20	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. Ulna	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	0	0,0	8239	1,1	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	180	0,0	720	0,1	2840	0,4	320	0,1
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	240	0,1	0	0,0	80	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	LLANQUIHUE		LLANQUIHUE		LLANQUIHUE		LLANQUIHUE	
Estación /Código	C1		C2		100070		100100	
Urosolenia sp.	0	0,0	0	0,0	4119	0,6	0	0,0
CRISOFICEAS								
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0	19224	2,6	0	0,0
Mallomonas sp.	687	0,2	0	0,0	13731	1,9	0	0,0
CRIPTOFICEAS								
Cryptomona sp.	0	0,0	40	0,0	2746	0,4	0	0,0
Cryptomonas af. erosa	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Rhodomona spp.	129072	31,8	145551	29,8	226566	30,7	131820	26,5
CIANOBACTERIAS								
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100332**		**100370**		**100390**		**100507**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	884172		584833		430531		359010	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Actinastrum sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Asterococcus sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	1	0,0
Binuclearia sp.	1	0,0	0	0,0	400	0,1	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	320	0,0	3360	0,6	600	0,1	360	0,1
Chlamydomonas spp.	324058	36,7	145551	24,9	127920	29,7	98400	27,4
Chlorella spp.	153790	17,4	68656	11,7	29520	6,9	63960	17,8
Closterium aciculare	1	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Coelastrum sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Cosmarium punctatum Nordstedt	240	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cosmarium sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Desmidium sp.	1	0,0	4160	0,7	1	0,0	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	8720	1,0	33520	5,7	27680	6,4	19200	5,3
Elakatothrix gelatinosa Willie	440	0,0	880	0,2	640	0,1	80	0,0
Eudorina sp.	1080	0,1	1280	0,2	0	0,0	320	0,1
Euglena sp.	0	0,0	0	0,0	160	0,0	40	0,0
Gonatozygon sp.	80	0,0	1	0,0	80	0,0	0	0,0
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Schmidle	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mougeotia sp.	1	0,0	0	0,0	7120	1,7	40	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pediastrum duplex Meyen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Planktonema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Scenedesmus sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sphaerocystis schroeteri Chordat	63000	7,1	55680	9,5	1	0,0	1	0,0
Sphaerocystis sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Staurastrum af. Planctonicum	40	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum sp.	40	0,0	40	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurodesmus sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Trachelomona spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Tribonema af. bombycina	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	22240	2,5	28080	4,8	1240	0,3	1100	0,3
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3600	1,0
DINOFICEAS								
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	0	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	0	0,0	40	0,0	80	0,0	0	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100332**		**100370**		**100390**		**100507**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	884172		584833		430531		359010	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Amphora sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	0	0,0	5280	0,9	160	0,0	0	0,0
Aulacoaseira granulata var angustisima	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira af. distance	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	800	0,1	3080	0,5	9520	2,2	720	0,2
Cocconeis spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	4119	0,5	23343	4,0	1360	0,3	680	0,2
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma af. tenuis	0	0,0	680	0,1	0	0,0	0	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	40	0,0	0	0,0	0	0,0	280	0,1
Diploneis spp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria af. tenera	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	240	0,0	15240	2,6	2160	0,5	120	0,0
Fragilaria sp1.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	720	0,1	1	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	80	0,0	160	0,0	0	0,0
Navicula af. cryptotenella	20	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula sp1.	40	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Navicula sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Neidium sp	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Nitzchia af. fonticola	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia sp1.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
Stephanodiscus sp.	1373	0,2	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Surirella sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. Ulna	0	0,0	0	0,0	80	0,0	40	0,0
Synedra sp.	1373	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	1	0,0	2800	0,5	160	0,0	0	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	20	0,0	2520	0,4	0	0,0	40	0,0
Urosolenia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100332**		**100370**		**100390**		**100507**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012		09-10-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	884172		584833		430531		359010	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS								
Chromulina spp.	4119	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	1	0,0	80	0,0	0	0,0	1	0,0
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	0	0,0	80	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS								
Cryptomona sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Cryptomonas af. erosa	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Rhodomona spp.	297968	33,7	189491	32,4	221400	51,4	169740	47,3
CIANOBACTERIAS								
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100510**		**101866**		**100545**		**100627**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		18-10-2012		18-10-2020	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	330125		583127		664954		153784	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Actinastrum sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Asterococcus sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Binuclearia sp.	1	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	640	0,2	2200	0,4	1920	0,3	400	0,3
Chlamydomonas spp.	78720	23,8	163402	28,0	255840	38,5	50900	33,1
Chlorella spp.	36900	11,2	90626	15,5	191880	28,9	25876	16,8
Closterium aciculare	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Coelastrum sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cosmarium punctatum Nordstedt	0	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
Cosmarium sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Desmidium sp.	3120	0,9	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	0	0,0	1440	0,2	30720	4,6	1	0,0
Elakatothrix gelatinosa Willie	1200	0,4	80	0,0	1	0,0	1	0,0
Eudorina sp.	320	0,1	8560	1,5	6080	0,9	1	0,0
Euglena sp.	80	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	1	0,0	40	0,0	1	0,0	1	0,0
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Schmidle	560	0,2	0	0,0	2460	0,4	1	0,0
Mougeotia sp.	200	0,1	160	0,0	1	0,0	1	0,0
Nephrocytium sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	80	0,0	160	0,0	0	0,0	0	0,0
Pediastrum duplex Meyen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Planktonema sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Scenedesmus sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sphaerocystis schroeteri Chordat	26320	8,0	20480	3,5	20480	3,1	1	0,0
Sphaerocystis sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum af. Planctonicum	40	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Staurodesmus sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Trachelomona spp.	0	0,0	0	0,0	480	0,1	230	0,1
Tribonema af. bombycina	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	5760	1,7	21360	3,7	21440	3,2	22800	14,8
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0
DINOFICEAS								
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	120	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	80	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100510**		**101866**		**100545**		**100627**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		18-10-2012		18-10-2020	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	330125		583127		664954		153784	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Amphora sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	40	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoaseira granulata var angustisima (O.F.Müller) Simonsen	0	0,0	20	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira af. distance	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	180	0,1	7600	1,3	800	0,1	620	0,4
Cocconeis spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	100	0,0	1514	0,3	4920	0,7	0	0,0
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma af. tenuis	120	0,0	440	0,1	1	0,0	0	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diploneis spp.	80	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria af. tenera	1	0,0	120	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	1	0,0	120	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp1.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	1	0,0	200	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula sp1.	80	0,0	40	0,0	1	0,0	1	0,0
Navicula sp2.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Neidium sp	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzchia af. fonticola	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Nitzschia sp1.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Stephanodiscus sp.	0	0,0	687	0,1	0	0,0	0	0,0
Surirella sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. Ulna	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	960	0,3	960	0,2	0	0,0	1	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	2040	0,6	480	0,1	0	0,0	0	0,0
Urosolenia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100510**		**101866**		**100545**		**100627**	
Fecha	09-10-2012		09-10-2012		18-10-2012		18-10-2020	
Volumen sedimentado (mL)	100		100		100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	330125		583127		664954		153784	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS								
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	1	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Dinobryon sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	120	0,0	32955	5,7	0	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS								
Cryptomona sp.	40	0,0	2746	0,5	0	0,0	0	0,0
Cryptomonas af. erosa	0	0,0	0	0,0	0	0,0	80	0,1
Rhodomona spp.	172200	52,2	226566	38,9	127920	19,2	52862	34,4
CIANOBACTERIAS								
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100628**		**100204**	
Fecha	18/10/202012		09-10-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	**365532**		**229900**	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS				
Actinastrum sp.	0	0,0	0	0,0
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	0	0,0	0	0,0
Asterococcus sp.	0	0,0	0	0,0
Binuclearia sp.	0	0,0	1	0,0
Botryococcus braunii Kuetzing	2080	0,6	1520	0,7
Chlamydomonas spp.	88560	24,2	88560	38,5
Chlorella spp.	51660	14,1	29520	12,8
Closterium aciculare	0	0,0	0	0,0
Coelastrum sp.	0	0,0	0	0,0
Cosmarium punctatum Nordstedt	0	0,0	0	0,0
Cosmarium sp.	1	0,0	40	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0
Desmidium sp.	1	0,0	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	16960	4,6	12800	5,6
Elakatothrix gelatinosa Willie	1360	0,4	2720	1,2
Eudorina sp.	6720	1,8	1	0,0
Euglena sp.	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	1	0,0	1	0,0
Kirchneriella lunaris (Kirchner) Schmidle	4920	1,3	1	0,0
Mougeotia sp.	1	0,0	0	0,0
Nephrocytium sp.	0	0,0	0	0,0
Oocystis lacustris Chodat	1	0,0	0	0,0
Pediastrum duplex Meyen	0	0,0	0	0,0
Planktonema sp.	0	0,0	0	0,0
Scenedesmus sp.	0	0,0	0	0,0
Sphaerocystis schroeteri Chordat	33280	9,1	14080	6,1
Sphaerocystis sp.	1	0,0	1	0,0
Staurastrum af. Planctonicum	1	0,0	40	0,0
Staurastrum sp.	1	0,0	0	0,0
Staurodesmus sp.	0	0,0	0	0,0
Trachelomona spp.	960	0,3	0	0,0
Tribonema af. bombycina	0	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	25280	6,9	21280	9,3
Volvox aureus Ehrenberg	1	0,0	1	0,0
DINOFICEAS				
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	0	0,0	0	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	80	0,0	0	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100628**		**100204**	
Fecha	18/10/202012		09-10-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	**365532**		**229900**	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
DIATOMEAS				
Achnanthes spp.	0	0,0	0	0,0
Amphora sp.	1	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	0	0,0	0	0,0
Aulacoaseira granulata var angustisima	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira af. distance	0	0,0	0	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	1280	0,4	1440	0,6
Cocconeis spp.	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	7380	2,0	1	0,0
Cyclotella af. atomus	4920	1,3	0	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	0	0,0
Cymbella affinis Kützing	0	0,0	0	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	0	0,0
Denticula sp.	0	0,0	0	0,0
Diatoma af. tenuis	80	0,0	0	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0
Diploneis spp.	0	0,0	0	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	0	0,0
Eunotia sp.	0	0,0	1	0,0
Fragilaria af. tenera	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp1.	80	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	1	0,0
Melosira granulata (Ehrenberg) Ralfs	0	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	0	0,0
Navicula af. cryptotenella	0	0,0	0	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0
Navicula sp1.	80	0,0	0	0,0
Navicula sp2.	0	0,0	0	0,0
Neidium sp	0	0,0	0	0,0
Nitzchia af. fonticola	0	0,0	0	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0
Nitzschia sp1.	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0
Stephanodiscus sp.	0	0,0	0	0,0
Surirella sp.	1	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	1230	0,5
Synedra af. Ulna	0	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	0	0,0	0	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1	0,0	0	0,0
Urosolenia sp.	0	0,0	0	0,0

Continuación Tabla 272

Lago	**LLANQUIHUE**		**LLANQUIHUE**	
Estación /Código	**100628**		**100204**	
Fecha	18/10/202012		09-10-2012	
Volumen sedimentado (mL)	100		100	
Abundancia Total (cel L^{-1})	**365532**		**229900**	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS				
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0
Dinobryon divergens	0	0,0	0	0,0
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	0	0,0
CRIPTOFICEAS				
Cryptomona sp.	0	0,0	0	0,0
Cryptomonas af. erosa	160	0,0	80	0,0
Rhodomona spp.	118080	32,3	56580	24,6
CIANOBACTERIAS				
Aphanothece sp.	1600	0,4	0	0,0

Tabla 273 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Chapo. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**CHAPO**		**CHAPO**		**CHAPO**		**CHAPO**	
Estación /Código	**C1**		**C2**		**100394**		**100678**	
Fecha	03-10-2012		03-10-2012		03-10-2012		03-10-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	**1813608**		**2006948**		**1040363**		**2422073**	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Botryococcus braunii Kuetzing	320	0,0	360	0,0	687	0,1	230	0,0
Chlamydomonas spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	27000	1,1
Chlorella spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1300	0,1
Cosmarium sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	1	0,0	360	0,0	1	0,0	0	0,0
Desmidium sp.	41480	2,3	34680	1,7	92820	8,9	33280	1,4
Elakatothrix gelatinosa Willie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Eudorina sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	380	0,0
Oocystis lacustris Chodat	0	0,0	0	0,0	0	0,0	690	0,0
Oocystis sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Sphaerocystis sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Staurodesmus sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
DINOFICEAS								
Gymnodinium af. paradoxum	12040	0,7	9800	0,5	4700	0,5	9920	0,4
Peridinium inconspicuum Lemmermann	320	0,0	160	0,0	0	0,0	1200	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	0	0,0	1	0,0	0	0,0	400	0,0
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	1	0,0	1	0,0	2760	0,3	10	0,0
Asterionella formosa Hassall	91020	5,0	179580	8,9	67620	6,5	37760	1,6
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0,0	0	0,0	0	0,0	13800	0,6
Fragilaria pinnata	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	320	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Navicula af. gregaria	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula sp1.	1	0,0	1	0,0	3450	0,3	460	0,0
Navicula sp2.	1	0,0	1	0,0	690	0,1	1400	0,1
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Rhizosolenia eriensis H.L. Smith	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5440	0,2
Synedra af. ulna	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	531360	29,3	644520	32,1	171810	16,5	354720	14,6
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	400980	22,1	95940	4,8	182160	17,5	90080	3,7
CRIPTOFICEAS								
Cryptomonas af. erosa	3000	0,2	960	0,0	6900	0,7	19320	0,8
Cryptomonas sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Rhodomonas spp.	733080	40,4	1040580	51,8	506760	48,7	1824360	75,3

Continuación Tabla 273

Lago	**CHAPO**		**CHAPO**		**CHAPO**	
Estación /Código	**101051**		**101291**		**101332**	
Fecha	03-10-2012		03-10-2012		03-10-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	**1048166**		**1174772**		**1477948**	
CIANOBACTERIAS						
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0	1	0
CLOROFICEAS						
Botryococcus braunii Kuetzing	30	0,0	1373	0,1	240	0,0
Chlamydomonas spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Chlorella spp.	4140	0,4	0	0,0	0	0,0
Cosmarium sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Crucigeniella tetrapedia Lemmermann	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Desmidium sp.	44320	4,2	940	0,1	21760	1,5
Elakatothrix gelatinosa Willie	0	0,0	1373	0,1	0	0,0
Eudorina sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Oocystis lacustris Chodat	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Oocystis sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Sphaerocystis sp.	40	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum sp.	2760	0,3	0	0,0	0	0,0
Staurodesmus sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
DINOFICEAS						
Gymnodinium af. paradoxum	16320	1,6	1140	0,1	2520	0,2
Peridinium inconspicuum Lemmermann	0	0,0	0	0,0	240	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	1	0,0	1370	0,1	0	0,0
DIATOMEAS						
Achnanthes spp.	1400	0,1	2746	0,2	1	0,0
Asterionella formosa Hassall	54510	5,2	82388	7,0	70710	4,8
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	560	0,1	0	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	9660	0,9	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria pinnata	690	0,1	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp.	6900	0,7	0	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Navicula af. gregaria	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Navicula sp1.	0	0,0	1373	0,1	1	0,0
Navicula sp2.	1	0,0	1373	0,1	1	0,0
Nitzschia af. linearis	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Pinnularia sp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Rhizosolenia eriensis H.L. Smith	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. ulna	0	0,0	8239	0,7	0	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	355350	33,9	372117	31,7	568260	38,4
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	108330	10,3	174387	14,8	167280	11,3
CRIPTOFICEAS						
Cryptomonas af. erosa	2240	0,2	1	0,0	2400	0,2
Cryptomonas sp.	1	0,0	1	0,0	10	0,0
Rhodomonas spp.	440910	42,1	525907	44,8	644520	43,6
CIANOBACTERIAS						
Aphanothece sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Tabla 274 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Huillinco. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**HUILLINCO**		**HUILLINCO**		**HUILLINCO**	
Estación /Código	**C1**		**100520**		**100616**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	100231		170130		131561	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS						
Actinastrum sp.	0	0,0	0	0,0	960	0,7
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	49433	49,3	82388	48,4	75522	57,4
Binuclearia sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Botryococcus sp.	1040	1,0	480	0,3	1400	1,1
Chlamydomonas spp.	0	0,0	16478	9,7	0	0,0
Chlorella spp.	0	0,0	46686	27,4	8239	6,3
Closterium af. acutum	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	0	0,0	1	0,0	80	0,1
Staurastrum sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Ulothrix sp.	0	0,0	120	0,1	0	0,0
Zygnema sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOFICEAS						
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	80	0,1	0	0,0	0	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	1	0,0	0	0,0	0	0,0
DIATOMEAS						
Achnanthes spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Cocconeis sp.	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	160	0,2	120	0,1	640	0,5
Cyclotella meneghiniana Kützing	0	0,0	1	0,0	320	0,2
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	160	0,1
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	240	0,1	0	0,0
Diploneis sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Fragilaria sp1.	0	0,0	0	0,0	40	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	1600	0,9	0	0,0
Gyrosigma sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Navicula sp1.	80	0,1	1	0,0	80	0,1
Navicula sp2.	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Nitzschia linearis (Agardh) Wm. Smith	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Stephanodiscus sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	40	0,0	40	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1	0,0	1	0,0	320	0,2

Continuación Tabla 274

Lago	**HUILLINCO**		**HUILLINCO**		**HUILLINCO**	
Estación /Código	**C1**		**100520**		**100616**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	100231		170130		131561	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS						
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	0	0,0	840	0,6
CRIPTOFICEAS						
Cryptomonas af. erosa	0	0,0	0	0,0	640	0,5
Rhodomonas af. lacustris	49433	49,3	21970	12,9	41194	31,3
CIANOBACTERIAS						
Oscillatoria sp.	0	0,0	0	0,0	1000	0,8

Continuación Tabla 274

Lago	**HUILLINCO**		**HUILLINCO**		**HUILLINCO**	
Estación /Código	**100617**		**100968**		**101212**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	268072		459081		503790	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS						
Actinastrum sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	123581	46,1	137313	29,9	68656	13,6
Binuclearia sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Botryococcus sp.	1280	0,5	1920	0,4	1600	0,3
Chlamydomonas spp.	0	0,0	0	0,0	49433	9,8
Chlorella spp.	27463	10,2	0	0,0	288356	57,2
Closterium af. acutum	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gonatozygon sp.	160	0,1	0	0,0	0	0,0
Staurastrum sp.	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Zygnema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DINOFICEAS						
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Peridinium willei Huit-Kass	0	0,0	0	0,0	0	0,0
DIATOMEAS						
Achnanthes spp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	0	0,0	0	0,0	1200	0,2
Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsem	1	0,0	10985	2,4	0	0,0
Cocconeis sp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0
Cyclotella ocellata Pantocsek	0	0,0	0	0,0	16478	3,3
Cyclotella af. atomus	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	0	0,0	0	0,0	160	0,0
Cyclotella meneghiniana Kützing	160	0,1	640	0,1	1	0,0
Diatoma sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	2	0,0
Diploneis sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Ephitemia sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	0	0,0	0	0,0	400	0,1
Fragilaria sp1.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Gyrosigma sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Navicula sp1.	0	0,0	80	0,0	1	0,0
Navicula sp2.	80	0,0	80	0,0	0	0,0
Nitzschia linearis (Agardh) Wm. Smith	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Stephanodiscus sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye) Kützing	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1	0,0	1	0,0	320	0,1

Continuación Tabla 274

Lago	**HUILLINCO**		**HUILLINCO**		**HUILLINCO**	
Estación /Código	**100617**		**100968**		**101212**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	268072		459081		503790	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS						
Chromulina spp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	80	0,0	1	0,0
CRIPTOFICEAS						
Cryptomonas af. erosa	0	0,0	240	0,1	200	0,0
Rhodomonas af. lacustris	115343	43,0	307580	67,0	76895	15,3
CIANOBACTERIAS						
Oscillatoria sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Tabla 275 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Natri. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**NATRI**		**NATRI**		**NATRI**		**NATRI**	
Estación /Código	**C1**		**100427**		**100437**		**100600**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	7369467		13703104		1423828		11956622	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS								
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	2746	0,0	80	0,0	0	0,0	480	0,0
Binuclearia sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Botryococcus sp.	2040	0,0	4800	0,0	400	0,0	2000	0,0
Chlamydomonas spp.	359759	4,9	230685	1,7	480594	33,8	428415	3,6
Closterium af. acutum	0	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Coelastrum sp.	1	0,0	80	0,0	0	0,0	0	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	1	0,0	29600	0,2	16000	1,1	2560	0,0
Gonatozygon sp.	1	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Mougeotia sp.	240	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Scenedesmus sp.	0	0,0	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Sphaerocystis sp.	1	0,0	3840	0,0	0	0,0	0	0,0
Staurastrum sp.	320	0,0	720	0,0	2400	0,2	640	0,0
Trachelomonas sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Ulothrix sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	2080	0,0
Volvox aureus Ehrenberg	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Zygnema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1440	0,0
DINOFICEAS								
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	40	0,0	80	0,0	160	0,0	80	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	480	0,0	1520	0,0	0	0,0	400	0,0
Peridinium inconspicuum Lemmermann	2746	0,0	80	0,0	0	0,0	80	0,0
DIATOMEAS								
Achnanthes spp.	40	0,0	2746	0,0	5493	0,4	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	80	0,0	1120	0,0	2560	0,2	1120	0,0
Aulacoseira distance (Ehrenberg)	960	0,0	480	0,0	1280	0,1	880	0,0
Aulacoseira granulata (Ehrenberg)	1840	0,0	160	0,0	3200	0,2	160	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	2413954	32,8	2010255	14,7	746980	52,5	2364521	19,8
Diatoma vulgare Bory	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	480	0,0	80	0,0	1040	0,1	1	0,0
Fragilaria sp1.	40	0,0	320	0,0	0	0,0	80	0,0
Fragilaria sp2.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2746	0,0
Melosira varians Agardh	1	0,0	640	0,0	640	0,0	240	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Navicula sp1.	0	0,0	80	0,0	0	0,0	80	0,0
navicula sp2.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Nitzschia sp1.	0	0,0	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Pinnularia sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Synedra af. acus	0	0,0	80	0,0	80	0,0	0	0,0
Synedra sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	320	0,0
Tabellaria fenestrata (Lyngbye)	0	0,0	0	0,0	1	0,0	1	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1	0,0	1600	0,0	1	0,0	480	0,0

Continuación Tabla 275

Lago	**NATRI**		**NATRI**		**NATRI**		**NATRI**	
Estación /Código	**C1**		**100427**		**100437**		**100600**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	7369467		13703104		1423828		11956622	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS								
Chromulina spp.	348774	4,7	785428	5,7	0	0,0	447639	3,7
Dinobryon sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Mallomonas sp.	0	0,0	160	0,0	320	0,0	320	0,0
CRIPTOFICEAS								
Cryptomonas af. erosa	200	0,0	400	0,0	2746	0,2	640	0,0
Rhodomonas af. lacustris	4234718	57,5	10627988	77,6	159283	11,2	8697374	72,7
CIANOBACTERIAS								
Anabaena af. circinalis	0	0,0	0	0,0	640	0,0	0	0,0
Anabaena af. solitaria	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Anabaena sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Microcystis sp.	1	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Oscillatoria sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0	1600	0,0
Pseudoanabaena sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,0

Tabla 276 Matriz de especies de fitoplancton encontradas en el lago Tarahuin. Se reportan valores de densidad celular (cel/L) y abundancia relativa (%) de las especies.

Lago	**TARAHUIN**		**TARAHUIN**		**TARAHUIN**	
Estación /Código	**C1**		**100436**		**100521**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	11057630		412029		8742075	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CLOROFICEAS						
Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Binuclearia sp.	0	0,0	1040	0,3	0	0,0
Botryococcus sp.	2400	0,0	120	0,0	1000	0,0
Chlamydomonas spp.	137313	1,2	142805	34,7	79641	0,9
Chlorella spp.	86507	0,8	0	0,0	32955	0,4
Closterium af. acutum	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Desmidium sp.	3200	0,0	0	0,0	1	0,0
Dictyosphaerium pulchellum Naegeli	0	0,0	1280	0,3	0	0,0
Eudorina sp.	1600	0,0	1	0,0	1	0,0
Gonatozygon sp.	0	0,0	80	0,0	0	0,0
Mougeotia sp.	0	0,0	1	0,0	0	0,0
Pandorina sp.	1	0,0	1	0,0	1	0,0
Staurastrum sp.	40	0,0	1	0,0	40	0,0
Ulothrix sp.	1920	0,0	0	0,0	1560	0,0
Volvox aureus Ehrenberg	12000	0,1	4360	1,1	1	0,0
Zygnema sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
DINOFICEAS						
Ceratium hirundinella (Müller) Schrank	280	0,0	40	0,0	240	0,0
Gymnodinium helveticum Penard	0	0,0	0	0,0	40	0,0
DIATOMEAS						
Achnanthes spp.	0	0,0	20	0,0	0	0,0
Asterionella formosa Hassall	3120	0,0	2560	0,6	1600	0,0
Aulacoseira distance (Ehrenberg) Ralfs	7120	0,1	8080	2,0	12080	0,1
Aulacoseira granulata (Ehrenberg)	4960	0,0	5600	1,4	3240	0,0
Cyclotella glomerata Bachmann	9975753	90,2	112860	27,4	8465316	96,8
Cyclotella meneghiniana Kützing	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Cymbella sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Diatoma vulgare Bory	1	0,0	0	0,0	1	0,0
Fragilaria crotonensis Kitton	33400	0,3	60720	14,7	22600	0,3
Fragilaria sp1.	19600	0,2	1600	0,4	20680	0,2
Fragilaria sp2.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Gomphonema sp.	0	0,0	40	0,0	0	0,0
Melosira varians Agardh	0	0,0	560	0,1	0	0,0
Navicula radiosa Kützing	0	0,0	0	0,0	80	0,0
Nitzschia linearis (Agardh) Wm. Smith	0	0,0	40	0,0	40	0,0
Synedra af. ulna	120	0,0	0	0,0	60	0,0
Synedra sp.	1373	0,0	160	0,0	0	0,0
Synedra sp2.	1	0,0	1	0,0	0	0,0
Tabellaria floculosa (Roth) Kützing	1300	0,0	3480	0,8	3800	0,0

Continuación Tabla 276

Lago	**TARAHUIN**		**TARAHUIN**		**TARAHUIN**	
Estación /Código	**C1**		**100436**		**100521**	
Fecha	09-11-2012		09-11-2012		09-11-2012	
Abundancia Total (cel L^{-1})	11057630		412029		8742075	
	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%	cel L^{-1}	%
CRISOFICEAS						
Chromulina spp.	0	0,0	20597	5,0	8239	0,1
Mallomonas sp.	560	0,0	760	0,2	1400	0,0
CRIPTOFICEAS						
Cryptomonas af. erosa	1200	0,0	0	0,0	5493	0,1
Rhodomonas af. lacustris	763458	6,9	1	0,0	75522	0,9
CIANOBACTERIAS						
Anabaena af. circinalis	400	0,0	1200	0,3	6360	0,1
Anabaena af. spiroides	1	0,0	0	0,0	0	0,0
Anabaena sp.	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Aphanothece sp.	0	0,0	43940	10,7	0	0,0
Microcystis sp.	0	0,0	0	0,0	1	0,0
Oscillatoria sp.	1	0,0	0	0,0	1	0,0

ANEXO 5 DIFICULTADES, PROBLEMAS, OBSERVACIONES Y/O RECOMENDACIONES DURANTE LA EJECUSIÓN DEL PROYECTO

1. **De la duración del proyecto**: El proyecto tenía una duración de solamente 5 meses, se estima que es un tiempo muy corto en relación a la complejidad del trabajo. Se recomienda ampliar para este tipo de estudio en plazo a mínimo 12-15 meses de duración.
2. **De las administración:** Durante la ejecución se presentaron demoras en los trámites administrativos, p.e. pago de cuotas, ratificación de contrato entre otros. Se recomienda acelerar los trámites administrativos, especialmente la cancelación del anticipo, esto debido a de este depende el inició real del proyecto.
3. **De los objetivos**: El proyecto en general fue demasiado heterogéneo dado la complejidad del tema, el estrecho tiempo de ejecución y las dificultades en el monitoreo de los lagos (mal tiempo, imprevistos, etc.). Hubiera sido mejor subdividir el proyecto p.e. en una fase de recopilación y evaluación de datos históricos y en una segunda parte de monitoreo de ojala solamente un o dos lagos (p.e. lago Llanquihue), pero con mayor resolución en tiempo y espacio. Los resultados y conclusiones hubieran sido mas robustos.
4. **De la recopilación de datos**: Se produjeron demoras en la entrega de información, p.e. de las INFAS y de los datos sobre la producción (mensual) de peces, información crucial para la evaluación ambiental. Una dificultad importante fue la detección de problemas y/o errores en las bases de datos sobre la producción de peces, que se detectaron durante la fase final del informe, en junio - agosto 2013. Hasta el fin de este proyecto no fue posible identificar y resolver todos los problemas de estos datos suministrados por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se recomienda verificar las bases de datos antes de entregarlas a los consultores o en su defecto indicar las posibles falencias que presentan.