

FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

INFORMES TECNICOS FIP

FIP - IT / 97 - 40

INFORME FINAL

: DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y BALANCE DE FOSFORO Y NITRO-

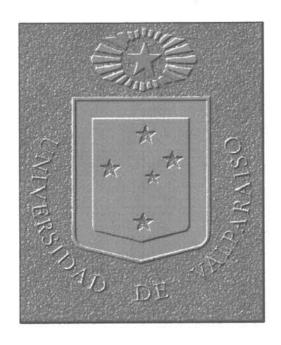
GENO DE LOS LAGOS CHAPO, YELCHO, POPETAN Y LAGUNA SAN ANTONIO EN

LA X REGION

UNIDAD

: UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

EJECUTORA



INFORMES CIENTIFICOS Y TECNICOS del INSTITUTO DE OCEANOLOGIA

INFORME FINAL PROYECTO FIP 97-40

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO DE LOS LAGOS CHAPO, YELCHO, POPETAN Y LAGUNA SAN ANTONIO, EN LA X REGIÓN

Jefe de Proyecto: Dr. Roberto Prado Fiedler

MANDANTE:

FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA (FIP)
SUBSECRETARIA DE PESCA
MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y RECONSTRUCCION

Viña del Mar, septiembre de 1999

EQUIPO EJECUTOR DEL PROYECTO

JEFE DEL PROYECTO

Determinación de balances de masas,
cálculos de ingresos de P y N

Caracterización física y química de la columna de agua
y determinación de capacidades de carga
de lagos Chapo, Popetán y San Antonio.

Levantamientos batimétricos

Cuantificación de producción de salmónidos

Caracterización de distribución de químioterapéuticos

Dr. Roberto Prado Fiedler

Determinación de balance hídrico y de ingresos de P y N al lago Yelcho.
Determinación de balance y capacidad de carga del lago Yelcho

Dr. Gerardo Leighton Sotomayor

Análisis de ecosistemas terrestres y de usos de suelo Levantamiento de carta de vegetación y de cuencas

Dr. Italo Serey Estay

Caracterización química del lago San Antonio. Supervisión de análisis químicos de todos los lagos; control de calidad de la información química de aguas y sedimentos

Nelson Silva Sandoval, M.Sc.

Hidrodinámica de los cuerpos de agua Cálculos de escurrimiento Determinación de volúmenes de lagos Análisis de información meteorológica

Sergio A. Vega Martin, M.Sc.

Catastro de quimioterapéuticos y determinación de aportes y persistencia de quimioterapéuticos

Marcela Escobar, Mag. Cs.

AGRADECIMIENTOS

La materialización de los resultados del presente proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración y ayuda de numerosas personas. El acceso y permanencia en el lago Chapo se hubieran visto enormemente dificultados sin la base de operaciones que nos brindara la Policía de Investigaciones de Chile. Se agradece a su Director General, Sr. Nelson Mery F., por las facilidades brindadas por el personal de esa institución. En particular, se agradece a al Sr. Pedro Sáez, administrador de la Villa Los Nevados de Investigaciones de Chile y a la detective (I) Sra. Berta Pacheco.

Se agradece a las empresas Aguas Claras S.A., Salmoamérica S.A., Salmones Huillinco S.A. y Pesquera Popetán Ltda., por facilitar la información de producción de salmonídeos solicitada. Nuestro especial agradecimiento por vía de su Gerente de Producción, Sr. Mauricio Labra, a la primera de ellas, que contribuyó entusiastamente no sólo con información, sino facilitando aspectos logísticos en los controles mensuales del lago Chapo. En especial agradecemos la desinteresada colaboración brindada por el profesional de Aguas Claras S.A., Sr. Héctor Apablaza. Similarmente, agradecemos por las facilidades logísticas dispensadas en el lago San Antonio al Gerente General de Salmones Huillinco, Sr. Carlos Massad G. y a su Gerente de Operaciones, Sra. Sandra Barría S. De igual modo agradecemos la colaboración dispensada por el profesional de Pesquera Popetán Ltda., Sr. Juan Rivas S.

Se agradece a las empresas Chisal S.A. y Yadrán S.A., por las facilidades de cámara frigorífica brindadas para la preservación de muestras. Se agradece también a la Sra. Ruth Ovando, propietaria de la residencial "La Tranquera" de Quemchi, por las facilidades brindadas para congelar muestras e instalar un laboratorio de campaña. Igualmente, a los señores Iván Martínez N., por las facilidades brindadas y Juan Martínez A., por el apoyo en los controles mensuales y de instrumentos meteorológicos, sin los cuales el trabajo en el lago San Antonio se habría visto considerablemente complicado.

Vaya muy especialmente nuestro agradecimiento por su esmerada labor de muestreo en los lagos Chapo, Popetán y San Antonio a los señores Reinaldo Rehhof D. y Julio Salcedo C. Se agradece también al Sr. Pablo Figueroa N. por su participación en parte de los muestreos de control mensual de esos lagos y por el apoyo brindado en las tareas de edición y compaginado de informes. De igual modo reconocemos con agradecimiento la labor de muestreo realizada en el lago Yelcho por los señores Sergio Zepeda S., Teobaldo Gessel, Héctor Gessel, Enrique Vivanco y Alvaro Morales F. A este último se le agradece además la dedicada colaboración brindada en el procesamiento de la información del lago Yelcho.

Nuestro agradecimiento se extiende a las señoras Viviana Ríos V., Antonieta Jojot Q. y María Angélica Varas S. por su dedicado trabajo de análisis químico de las numerosas muestras de agua y sedimentos provenientes de los cuatro lagos de este estudio. La colaboración y sentido de compromiso sostenidas por las Sras. Ríos y Jojot en las tareas de edición, reproducción y compaginación de los informes emitidos es particularmente agradecida. Nuestro especial agradecimiento se hace extensivo al Sr. René Astudillo C., por su esmerado y prolijo trabajo de confección de figuras y particularmente de mapas digitales.

Se agradece también la colaboración brindada por los señores Mariano Bernal M. y Patricio Rivera D. en la etapa de procesamiento y generación de bases datos magnéticas.

INDICE

INTR	ODUCCION	Pág. 1
METO	DDOLOGIA	5
	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno a las hoyas según uso del suelo Ingreso de Fósforo y Nitrógeno a los lagos por sus afluentes Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por precipitaciones Ingreso de Fósforo y Nitrógeno desde centros de cultivo Caracterización física y química de la columna de agua de cada lago Caracterización física de la columna de agua Caracterización química de la columna de agua Métodos de análisis químicos Aporte de Quimioterapéuticos y persistencia de ellos en el ambiente Determinación del balance hídrico Determinación del balance de Fósforo y Nitrógeno Determinación de la capacidad de carga	6 7 9 10 14 16 17 19 21 22 23 25
LAGO) CHAPO	29
1 1.1. 1.2. 1.3. 1.4. 1.5. 2 2.1. 2.2. 3.1. 3.1.1. 3.1.2. 3.2. 3.3.	Antecedentes del lago Estimación de aportes de Fósforo y Nitrógeno Morfometría del lago y cartografía de la red de drenajes Diagnóstico de uso del suelo Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por los afluentes Ingreso por escurrimiento superficial difuso Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por precipitaciones Ingreso de Fósforo y Nitrógeno desde centros de cultivo Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos Ingreso de Nitrógeno y Fósforo por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonídeos Contenido de Fósforo y Nitrógeno de los sedimentos del fondo Balance de Fósforo y Nitrógeno Caracterización física y química de la columna de agua del lago Chapo Caracterización química de la columna de agua Balance hídrico del lago Chapo Masa total de Fósforo y Nitrógeno contenida en el lago	29 30 30 37 43 61 61 69 69 71 73 74 74 74 79 87 88
3.4. 4 5 6 7 7.1. 7.2. 8	Determinación de los balances de Fósforo y Nitrógeno Cuantificación de la producción de salmonídeos en cultivo Capacidad de carga del lago Chapo Sensibilización del modelo empleado Aporte de quimioterapéuticos desde los centros de cultivo y persistencia en el ambiente Uso de quimioterapéuticos en salmoniculturas Determinación de quimioterapéuticos en las zonas de centros de cultivo del lago Chapo Areas más apropiadas para establecer centros de cultivos de salmonídeos Anexos de figuras Lago Chapo	91 92 95 96 98 98 99 102 105

LAG	O YELCHO	197
	Antecedentes del lago Yelcho	197
1	Estimación de aportes de Fósforo y Nitrógeno	197
1.1.	Morfometría del lago y cartografía de la red de drenajes	197
1.2.	Diagnóstico de uso del suelo	198
1.3.	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por los afluentes	211
1.4.	Ingreso por escurrimiento superficial difuso de laderas	214
1.5.	Aguas residuales	215
1.6.	Ingreso por precipitaciones	215
1.7.	Salidas de Fósforo y Nitrógeno	216
2	Contenido de Fósforo y Nitrógeno de los sedimentos del fondo	217
3	Balance de Fósforo y Nitrógeno	217
3.1.	Caracterización física y química de la columna de agua del lago Yelcho	217
3.1.1.	. Caracterización física de la columna de agua del lago Yelcho	217
3.1.2.	Caracterización química de la columna de agua	222
3.2.	Balance hídrico del lago Yelcho	227
3.3.	Masa total de fósforo y nitrógeno contenida en el lago	228
3.4.	Determinación de los balances de Fósforo y Nitrógeno	229
4	Estimación de la capacidad de carga del lago Yelcho	231
	Anexos de figuras lago Yelcho	233
LAGO	D POPETAN	363
D 100	TO LIAN	303
	Antecedentes del lago	363
1	Estimación de aportes de Fósforo y Nitrógeno	363
1.1.	Morfometría del lago y cartografía de la red de drenajes	363
1.2.	Diagnóstico de uso del suelo	369
1.3.	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por los afluentes	371
1.4.	Ingreso por escurrimiento superficial difuso	374
1.5.	Aguas residuales	374
1.6.	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por precipitaciones	374
2	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno desde centros de cultivo	381
2.1.	Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos	381
2.2.	Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonídeos	381
2.3.	Contenido de Fósforo y Nitrógeno de los sedimentos del fondo	383
3	Balance de Fósforo y Nitrógeno del lago Popetán	384
3.1.	Caracterización física y química de la columna de agua del lago Popetán	384
	Caracterización física de la columna de agua	384
	Caracterización química de la columna de agua	388
3.2.	Balance hídrico del lago Popetán	394
3.3.	Masa total de Fósforo y Nitrógeno contenida en el lago	396
3.4.	Determinación de los balances de Fósforo y Nitrógeno	398
4	Cuantificación de la producción de salmonídeos en cultivos	400
5	Capacidad de carga del lago Popetán	401
6	Sensibilización del modelo empleado	402
7 o	Aportes de quimioterapéuticos desde los centros de cultivo y persistencia en el ambiente Areas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmonídeos	403
8	ricas mas apropiadas para establecer centros de cuitivo de salmonideos	405

	Anexos de figuras del Lago Popetán	407
LAG	O SAN ANTONIO	487
	Antecedentes del lago	487
1	Estimación de aportes de Fósforo y Nitrógeno	488
1.1.	Morfometría del lago y cartografía de la red de drenajes	488
1.2.	Diagnóstico de uso del suelo	493
1.3.	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por los afluentes	495
1.4.	Ingreso por escurrimiento superficial difuso	498
1.5.	Aguas residuales	499
1.6.	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno por precipitaciones	499
2	Ingreso de Fósforo y Nitrógeno desde centros de cultivo	503
2.1.	Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos	503
2.2.	Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimentos no utilizado por salmonídeos	504
2.3.	Contenido de Fósforo y Nitrógeno de los sedimentos del fondo	505
3	Balance de Fósforo y Nitrógeno del lago San Antonio	507
3.1.	Caracterización física y química de la columna de agua del lago San Antonio	507
	Caracterización física de la columna de agua	507
	Caracterización química de la columna de agua	510
3.2.	Balance hídrico del lago San Antonio	518
3.3.	Masa total de Fósforo y Nitrógeno contenida en el lago	520
3.4.	Determinación de los balances de Fósforo y Nitrógeno	521
4	Cuantificación de la producción de salmonídeos en cultivo	523
5	Capacidad de carga del lago San Antonio	524
6	Sensibilización del modelo empleado	525
7	Aporte de quimioterapéuticos desde los centros de cultivo y persistencia en el ambiente	526
8	Areas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmonídeos	527
	Anexo de figuras Lago San Antonio	529
CON	CLUSIONES	607
BIBLI	OGRAFÍA	615

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Principales parámetros morfométricos del lago Chapo.	33
Tabla 2.	Superficies de las cuencas hidrográficas que terminan en el lago Chapo X Región.	34
Tabla 3.	Tipos de vegetación del lago Chapo, X Región, con sus superficies en	
	hectáreas y el porcentaje dentro de la cuenca hidrográfica del lago	37
Tabla 4.	Establecimiento de la proporción de caudal de aporte de los rios y esteros	
	afluentes del lago Chapo	44
Tabla 5.	Carga fluvial diaria de Fósforo total al lago Chapo (en Kg)	46
Tabla 6.	Carga fluvial diaria de Fosfato al lago Chapo (en Kg)	47
Tabla 7.	Carga fluvial diaria de Nitrógeno total al lago Chapo (en Kg)	48
Tabla 8.	Carga fluvial diaria de Nitrato al lago Chapo (en Kg)	49
Tabla 9.	Carga fluvial diaria de Nitrito al lago Chapo (en Kg)	50
Tabla 10.	Carga fluvial diaria de Amonio al lago Chapo (en Kg)	51
Tabla 11.	Carga fluvial diaria de carbono orgánico particulado al lago Chapo (en Kg)	52
Tabla 12.	Salida diaria de Fósforo total por descarga Canutillar (en Kg)	55
Tabla 13.	Salida diaria de Fosfato por descarga Canutillar (en Kg)	56
Tabla 14.	Salida diaria de Nitrógeno total por descarga Canutillar (en Kg)	57
Tabla 15.	Salida diaria de Nitrato por descarga Canutillar (en Kg)	58
Tabla 16.	Salida diaria de Nitrito por descarga Canutillar (en Kg)	59
Tabla 17.	Salida diaria de Amonio por descarga Canutillar (en Kg)	60
Tabla 18.	Precipitación acumulada mensual en el lago Chapo	65
Tabla 19.	Concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en precipitaciones del lago Chapo	67
Tabla 20.	Cargas mensuales de Amonio, Nitrato, Nitrógeno total y Nitrógeno inorgánico	
	aportados por Iluvias al lago Chapo	67
Tabla 21.	Valores promedios, desviación estandar de concentración de Fósforo total,	
	Nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica presentes en los	
	alimentos de los centros de cultivo del lago Chapo agrupados por fecha	69
Tabla 22.	Sedimento captado por trampas de sedimentación en el lago Chapo	72
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	72
Tabla 24.	Porosidad y contenido total de Fósforo, Nitrógeno y materia orgánica de los	
	sedimentos de fondo del Lago Chapo bajo los diversos centros de cultivo de	
	salmonidos y en áreas de referencia y transición	74
Tabla 25.	Transparencia del lago Chapo como profundidad de disco Secchi en metros	
	durante las campañas intensivas de verano, invierno y primavera	78
Tabla 26.	Contenido total de formas de Fósforo y de Nitrógeno en el lago Chapo	89
Tabla 27.	Balance de Fósforo del lago Chapo durante el año 1998	92
Tabla 28.	Balance de Nitrógeno del lago Chapo durante el año 1998	92
Tabla 29.	Producción de salmónidos en centros de cultivo del lago Chapo	93
Tabla 30.	Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto del aumento de	
	producción total de salmonideos en centros de cultivos del Lago Chapo	97
Tabla 31.	Nomina de quimioterapeuticos utilizados en acuicultura y su uso en Chile	100
Tabla 32.	Limites de detección y de cuantificación de quimioterapéuticos	101
Tabla 33.	Parámetros morfométricos del lago Yelcho.	198
Tabla 34.	Tipos de vegetación, con sus superficies en hectáreas y el porcentaje dentro	
	de la cuenca hidrográfica del lago Yelcho, X Región.	204

Tabla 35.	Análisis de las superficies incluídas en el area de estudio.	210
Tabla 36.	Estimación de caudales mensuales (m³/s) de los afluentes del lago Yelcho.	211
Tabla 37.	Estimación de caudales corregidos mensuales (m³/s) de los afluentes del lago Yelcho.	211
Tabla 38.	Estimación de la concentración mensual de Fósforo total (mg·m ⁻³) de los afluentes del lago Yelcho.	
Tabla 39.	Estimación de la concentración mensual de Nitrógeno total (mg·m ⁻³) de los	212
	afluentes del lago Yelcho.	242
Tabla 40.	Estimación de la carga mensual de Fósforo total (mg·m²·a-¹) de los afluentes	212
	del lago Yelcho.	213
Tabla 41.	Estimación de la carga mensual de Nitrógeno total (mg·m²·a⁻¹) de los	213
	afluentes del lago Yelcho (segundos).	213
Tabla 42.	Estimación de caudales de descarga (km³/año) provenientes de laderas	210
	del lago Yelcho.	214
Tabla 43.	Estimación de concentraciones (mg/m³) y descargas (Ton/año) de Fósforo	2.17
	y Nitrógeno proveniente de laderas.	214
Tabla 44.	Precipitación mensual (mm/mes) en Alto Palena y Futaleufú (Dirección	
	Meteorológica de Chile).	215
Tabla 45.	Descarga mensual de Fósforo total (mg·m²·a⁻¹) del efluente río Yelcho.	216
Tabla 46.	Descarga mensual de Nitrógeno total (mg·m²·a-1) del efluente río Yelcho.	216
Tabla 47.	Contenido de Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica y porosidad	
	en sedimentos del lago Yelcho (promedio ± desviación estándar).	217
Tabla 48.	Transparencia del lago Yelcho medida como profundidad de disco Secchi en metros.	221
Tabla 49.	Balance hídrico del lago Yelcho.	227
Tabla 50.	Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago Yelcho	228
Tabla 51.	Cálculo de Ln (carga de Fósforo de ingreso desde los afluentes y laderas en mg·m²·a⁻¹).	229
Tabla 52.	Concentración de Fósforo total del lago (P tot).	229
Tabla 53.	Balance de fósforo total	229
Tabla 54.	Tiempo de residencia del Fósforo total (Tp).	230
Tabla 55.	Cálculo de L _n (carga de Nitrógeno de ingreso desde los afluentes y laderas	230
	en mg·m²·a-¹).	230
Tabla 56.	Concentración de Nitrógeno total del lago (N tot)	230
Tabla 57.	Balance de Nitrógeno total.	231
Tabla 58.	Concentración actual de Fósforo total y de Nitrógeno total en el lago	
	Yelcho (promedios).	231
Tabla 59.	Cálculo de la carga crítica para el Fósforo total (Lc).	232
Tabla 60.	Parámetros indicadores (1) de estado trófico del lago Yelcho.	232
Tabla 61.	Principales parámetros morfométricos del lago Popetán)	364
Tabla 62.	Superficie de la cuenca hidrográfica del lago Popetán en la isla Chiloé	369
Tabla 63.	Tipos de vegetación presentes en la cuenca del lago Popetán, isla de Chiloé	370
Tabla 64.	Caudal aportado por los esteros afluentes del lago Popetán	372
Tabla 65 a.	Carga fluvial mensual de Fósforo y Nitrógeno ingresada al lago Popetán	373
Tabla 65 b.	o magazina on portago	
	Popetán por su efluente	373
Tabla 66.	Precipitación acumulada mensual, lago Popetán	378
Tabla 67.	Precipitación acumulada mensual normal, periodo 1961-1990, Quellón	378
Tabla 68.	Concentraciones de Nitrógeno en precipitaciones del lago Popetán	380

Tabla 69.	Valores de concentración de Fósforo total, Nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica presente en los alimentos de los centros de cultivo del lago	
	Popetán	381
Tabla 70.	Sedimento captado por trampas de sedimentación en el lago Popetán y contenido	
	promedio de Nitrógeno total, Fósforo total y Materia orgánica de estos sedimentos	382
Tabla 71.	Composición de los sedimentos del fondo del lago Popetán	383
Tabla 72.	Transparencia del lago Popetán medida como profundidad de disco Secchi en metros	387
Tabla 73.	Estimación del balance hídrico del lago Popetán durante 1998	395
Tabla 74.	Contenido total de formas de Fósforos y de Nitrógeno en el lago Popetán	397
Tabla 75.	Balance de Fósforo del lago Popetán durante el año 1998	399
Tabla 76.	Balance de Nitrógeno del lago Popetán durante el año 1998	399
Tabla 77.	Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto de disminución de	
	producción total de salmónidos en centros de cultivo del Lago Popetán	402
Tabla 78.	Límites de detección y de cuantificación de quimioterapéuticos	404
Tabla 79.	Persistencia del Trimetoprim en sedimentos de fondo del lago Popetán	405
Tabla 80.	Principales parámetros morfométricos del lago San Antonio	488
Tabla 81.	Superficie de la cuenca hidrográfica del lago San Antonio en la isla Chiloé	493
Tabla 82.	Tipos de vegetación presentes en la cuenca del lago San Antonio, isla de Chiloé	494
Tabla 83.	Caudal aportado por los esteros afluentes del lago San Antonio	496
Tabla 84.	Carga fluvial mensual de Fósforo y Nitrógeno ingresada al lago San Antonio	497
Tabla 85.	Carga fluvial mensual de Fósforo y Nitrógeno exportada desde el lago San Antonio	
	por su efluente	498
Tabla 86.	Normales de precipitación mensual acumulada, período 1961-1990	500
Tabla 87.	Valores de concentración de Fósforo total, Nitrógeno total, Carbono orgánico y.	
	Materia orgánica presente en los alimentos del centro de cultivo del lago San Antonio	503
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	505
Tabla 89.	Composición de los sedimentos del fondo del lago San Antonio	506
Tabla 90.	Transparencia del lago San Antonio medida como profundidad de disco Secchi en metros	509
Tabla 91.	Estimación del balance hídrico del lago San Antonio durante 1998	520
Tabla 92.	Contenido total de formas de Fósforo y de Nitrógeno en el lago San antonio	521
Tabla 93.	Balance de Fósforo del lago San Antonio durante el año 1998	522
Tabla 94.	Balance de Nitrógeno del lago San Antonio durante el año 1998	522
Tabla 95.	Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto de variación de	
	producción total de salmónidos en el centro de cultivo del lago San Antonio	525

INDICE DE FIGURAS

			Dác
Figura	1.	Mapa tridimensional del lago Chapo	Pág. 31
Figura	2.	Mapa batimétrico del lago Chapo	32
Figura	3.	Cuencas de los ríos y afluentes del lago Chapo	35
Figura	4.	Carta digital de vegetación de la cuenca hidrográfica del lago Chapo	36
Figura	5.	Variación mensual de caudal. Río Negro y Este	45
Figura	6.	Histograma de dirección e intensidad del viento registrado durante 1998 en el lago Chapo	
Figura	7.	Series de tiempo dirección, intensidad y componentes E-VV(u) y N-S(v) del viento	- Call
9	5.5	durante 1998. Estación meteorológica del lago Chapo	63
Figura	8.	Series de tiempo de Temperatura, humedad relativa, intensidad del viento	7.7
3		y pluviosidad diaria durante 1998. Estación meteorológica del lago Chapo	64
Figura	9.	Coeficiente de evaporación estimado para el lago Chapo. Promedios diarios	68
Figura	10.	Tiempo de disolución de alimentos para salmonídeos utilizados en centros de	
3		cultivos del lago Chapo	70
Figura	11.	Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 15 m. Lago Chapo enero 1998	106
Figura	12.	Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 10 m. Lago Chapo junio 1998	107
Figura	13.	Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 10 m. Lago Chapo noviembre 1998	108
Figura	14.	Series de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el lago Chapo	
		registrada en junio y noviembre 1998	109
Figura	15.	Diagrama de ubicación de las estaciones de muestreo del lago Chapo	110
Figura	16.	Perfiles de Temperatura lago Chapo enero 1998. Primer muestreo	111
Figura	17.	Perfiles de Temperatura lago Chapo enero 1998. Segundo muestreo	112
Figura	18.	Distribución vertical de Temperatura lago Chapo, enero 1998	113
Figura	19.	Distribución vertical de Temperatura lago Chapo, enero 1998	114
Figura	20.	Perfiles de Temperatura lago Chapo junio 1998. Primer muestreo	115
Figura	21.	Perfiles de Temperatura lago Chapo junio 1998. Segundo muestreo	116
Figura	22.	Distribución vertical de Temperatura lago Chapo, junio de 1998	117
Figura	23.	Perfiles de Temperatura lago Chapo noviembre 1998. Primer muestreo	118
Figura	24.	Perfiles de Temperatura lago Chapo noviembre 1998. Segundo muestreo	119
Figura	25.	Distribución vertical de Temperatura lago Chapo, noviembre 1998	120
Figura	26.	Variación temporal de Temperatura de corto y largo periodo (anual) en ºC en	
000	12/250	el lago Chapo	121
Figura	27.	Variación temporal de transparencia con disco Secchi y Turbidez en NTU en el lago Chapo	122
Figura	28.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo	123
Figura	29.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	124
Figura	30.	Sección vertical № 2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	124
Figura	31.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo	125
Figura	32.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	126
Figura	33.	Sección vertical № 2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	126
Figura	34.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo	127
Figura	35.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	128
Figura	36.	Sección vertical Nº 2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo	128
Figura	37.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	129
Figura Figura	38.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	130
_	39.	Sección vertical Nº 2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	130
Figura	40.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	131
Figura	41.	Sección vertical № 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	132

Figura	42.	Sección vertical № 2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	132
Figura	43.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	133
Figura	44.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	134
Figura	45.	Sección vertical Nº 2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo	134
Figura	46.	Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en µg/L de P en el lago Chapo	135
Figura	47.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	136
Figura	48.	Sección vertical Nº 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	137
Figura	49.	Sección vertical № 2 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	137
Figura	50.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	138
Figura	51.	Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	139
Figura	52.	Sección vertical № 2 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	139
Figura	53.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo	140
Figura	54.	Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	141
Figura	55.	Sección vertical № 2 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo	141
Figura	56.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	142
Figura	57.	Sección vertical № 1 de Nitrógeno total µg/l. de N en el lago Chapo	143
Figura	58.	Sección vertical № 2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo	143
Figura	59.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	144
Figura	60.	Sección vertical № 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo	145
Figura	61.	Sección vertical № 2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo	145
Figura	62.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	146
Figura	63.	Sección vertical № 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo	147
Figura	64.	Sección vertical № 2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo	147
Figura	65.	Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en µg/L de N en el lago Chapo	148
Figura	66.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	149
Figura	67.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo	150
Figura	68.	Sección vertical № 2 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo	150
Figura	69.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L I de N a nivel superficial en el lago Chapo	151
Figura	70.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo	152
Figura	71.	Sección vertical Nº 2 de Nitrato μg/L de N en el lago Chapo	152
Figura	72.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	153
Figura	73.	Sección vertical Nº 1 de Nitrato μg/L de N en el lago Chapo	154
Figura	74.	Sección vertical Nº 2 de Nitrato μg/L de N en el lago Chapo	154
Figura	75.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	155
Figura	76.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	156
Figura	77.	Sección vertical № 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	156
Figura	78.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	157
Figura	79.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	158
Figura	80.	Sección vertical Nº 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	158
Figura	81.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	159
Figura	82.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	160
Figura	83.	Sección vertical Nº 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo	160
Figura	84.	Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en µg/L de N en el lago Chapo	161
Figura	85.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	162
Figura	86.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo	163
Figura	87.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo	163
Figura	88.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	164
Figura	89.	Sección vertical Nº 1 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo	165
Figura	90.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo	165

Figura	91.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo	166
Figura	92.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo	167
Figura	93.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo	167
Figura	94.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Chapo	168
Figura	95.	Sección vertical № 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo	169
Figura	96.	Sección vertical Nº 2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo	169
Figura	97.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Chapo	170
Figura	98.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo	171
Figura	99.	Sección vertical Nº 2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo	171
Figura	100.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m ³ a nivel superficial en el lago Chapo	172
Figura	101.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg•m³ en el lago Chapo	173
Figura	102.	Sección vertical Nº 2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo	173
Figura	103.	Variación temporal anual de Clorofila en mg·m³ y de Oxígeno en mg/l en el lago Chap	
Figura	104.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Chapo	175
Figura	105.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Chapo	176
Figura	106.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L. a nivel superficial en el lago Chapo	177
Figura	107.	Sección vertical Nº 1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	178
Figura	108.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	178
Figura	109.	Sección vertical Nº 1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	179
Figura	110.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	179
Figura	111.	Sección vertical Nº 1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	180
Figura	112.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo	180
Figura	113.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo	181
Figura	114.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Chapo	182
Figura	115.	Sección vertical № 2 de pH en el lago Chapo	182
Figura	116.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo	183
Figura	117.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Chapo	184
Figura	118.	Sección vertical Nº 2 de pH en el lago Chapo	184
Figura	119.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo	185
Figura	120.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Chapo	186
Figura	121.	Sección vertical Nº 2 de pH en el lago Chapo	186
Figura	122.	Variación temporal anual de pH y Alcalinidad en mg/L de CaCO ₃ en el lago Chapo	187
Figura	123.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ a nivel superficial en el lago Chapo	188
Figura	124.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ a nivel superficial en el lago Chapo	189
Figura	125.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ a nivel superficial en el lago Chapo	
Figura	126.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	191
Figura	127.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	191
Figura	128.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	192
Figura	129.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	192
Figura	130.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	193
Figura	131.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/l de CaCO ₃ en el lago Chapo	193
Figura	132.	Variación de los caudales medios de los afluentes, los caudales de la represa de	
		Canutillar y de la cota del lago	194
Figura	133.	Evolución del volumen acumulado durante 1998 en el lago Chapo	195
Figura	134.	Masa de P contenida en el lago Chapo	90
Figura	135.	Masa de N contenida en el lago Chapo	90
Figura	136.	Masa de N contenida en el lago Chapo	91
Figura	137.	Producción de salmonideos en el lago Chapo	94
Figura	138.	Aporte de quimioterapéuticos al lago Chapo desde cultivos	103

Figura	139.	Mapa tridimensional lago Yelcho	199
Figura	140.	Mapa batimétrico lago Yelcho	200
Figura	141.	Cuenca de los ríos y afluentes del lago Yelcho	201
Figura	142.	Actividades económicas actuales en el lago Yelcho	202
Figura	143.	Carta digital de vegetación de la cuenca hidrografica del lago Yelcho	205
Figura	144.	Histograma de dirección e intensidad de la corriente registrada en el	
		lago Yelcho entre el 3 y el 17 de febrero de 1998	234
Figura	145.	Series de tiempo de dirección, intensidad, componentes a lo ancho (transversal) y a lo largo	
•		(longitudinal) de la corriente y Temperatura del agua. Lago Yelcho, febrero 1998	235
Figura	146.	Diagrama de ubicación de las estaciones de muestreo del lago Yelcho	236
Figura	147.	Variación diaria de Temperatura del agua en el lago Yelcho registradas durante la	
		segunda y tercera fase de mediciones, correspondiente a invierno y primavera de 1998	220
Figura	148.	Distribución horizontal de Temperatura ^o C a nivel superficial en el lago Yelcho	237
Figura	149.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	238
Figura	150.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	239
Figura	151.	Sección vertical № 1 de Temperatura °C en el lago Yelcho	240
Figura	152.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	241
Figura	153.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	242
Figura	154.	Sección vertical № 1 de Temperatura °C en el lago Yelcho.	243
Figura	155.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	244
Figura	156.	Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho	245
Figura	157.	Sección vertical № 1 de Temperatura °C en el lago Yelcho	246
Figura	158.	Visibilidad (m) medida como profundidad de Disco Secchi para los muestreos de	
i igaia	.00.	verano e invierno de 1998 en el lago Yelcho	247
Figura	159.	Visibilidad (m) medida como profundidad de Disco Secchi para los muestreos de	
i iguica	100.	invierno y primavera de 1998 en el lago Yelcho	248
Figura	160.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho	249
Figura	161.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho	250
Figura	162.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho	251
Figura	163.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Yelcho	252
Figura	164.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho	253
Figura	165.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho	254
Figura	166.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Yelcho	255
Figura	167.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	256
Figura	168.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	257
Figura	169.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	258
Figura	170.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Yelcho	259
Figura	171.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	260
Figura	172.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	261
Figura	173.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Yelcho.	262
	174.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	263
Figura	175.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	264
Figura	176.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Yelcho	265
Figura	176.	- 5일(마일) 전에 가장 아이들 아이들 아이들 다른 사람이 얼마나 되었다. 아이들	266
Figura	177.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	267
Figura	178.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	268
Figura	179.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	269
Figura	180.	Sección vertical Nº 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho	270
Figura		Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	271
Figura	181.		272
Figura	182.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	212

X

1	400	• W	
Figura		Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho	273
Figura		Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	274
Figura		Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho	275
Figura		Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho	276
Figura		Variación temporal anual de Fosfato en el lago Yelcho	277
Figura	187.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	278
Figura	188.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	279
Figura	189.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	280
Figura	190.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Yelcho	281
Figura	191.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	282
Figura	192.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	283
Figura	193.	Sección vertical № 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Yelcho	284
Figura	194.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	285
Figura		Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	286
Figura	196.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Yelcho	287
Figura	196 b	Variación temporal anual de Nitrógeno total en el lago Yelcho	288
Figura	197.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	289
Figura	198.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	290
Figura	199.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	291
Figura	200.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho	292
Figura	201.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	293
Figura	202.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	294
Figura	203.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho	295
Figura	204.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	296
Figura	205.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	297
Figura	206.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho	298
Figura	206 b	Variacion temporal anual de Nitrato en el lago Yelcho	299
Figura	207.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	300
Figura	208.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	301
Figura	209.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	302
Figura	210.	Sección vertical Nº 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho.	303
Figura	211.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	304
Figura	212.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	305
Figura	213.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho	306
Figura	214.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	307
Figura	215.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	308
Figura	216.	Sección vertical Nº 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho	309
Figura	217.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	310
Figura	218.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	311
Figura	219.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	312
Figura	220.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Yelcho	313
Figura	221.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho	314
Figura	222.	Political design of the second	315
Figura	223.	Canalia and I am a land	316
-igura		Diabile, alfa la	317
-igura	225.	Distributed to the state of the	318
-igura	226.	Consider and the LAM A. L. A.	319
-igura	227.	Variación temporal anual de Amonio en el lago Yelcho	320
Figura	228 a.	Distribution of the state of th	321

area)	Figure	228 h	Distribución mensual de Clorofila en el lago Yelcho	321
	Figura	229.	Diodibación monte de distribuidad de distribui	322
Approx	Figura			323
	Figura	231.		324
	0	232.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Yelcho	325
	Figura		000001110000111000011	326
	Figura	233.	Dicarbación no esta esta esta esta esta esta esta esta	327
	Figura	234.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Yelcho	328
	Figura	235.	Cooder voidear in the circumstrig	329
	Figura	236.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Yelcho	330
	Figura	237.		331
	Figura	238.	Coodin to account the contract of	332
	Figura	239.	Dioribación no Longa de Congresa de Congre	333
	Figura	240.	Diddibdoloi i i i i i i i i i i i i i i i i i i	
	Figura	241.	Diodibadion no. Zona de Grago	334
370	Figura	242.	Coodell to total transfer or the control of the con	335
	Figura	243.	Distribution and only on the second of the s	336
. 1	Figura	244.	Diodibación no La company de Granda	337
	Figura	245.	Coccion vertical in the engine ing a mineral	338
	Figura	246.	Discribación nor esta de exigene nigene nige	339
	Figura	247.	Distribusion from de oragene mg =	340
	Figura	248.	occordit values it is a oxigorio mgs or a lag-	341
	Figura	249.	Diodibación non Estado de primar de	342
	Figura	250.	Diodibación noraconta de prinarios departes	343
	Figura	251.	Distribution as privative superior	344
	Figura	252.	Occordity Clack 11 1 do pri or or or or or	345
	Figura	253.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho	346
	Figura	254.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho	347
	Figura	255.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Yelcho	348
	Figura	256.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho	349
	Figura	257.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho	350
	Figura	258.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Yelcho	351
	Figura	259.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago Yelcho	352
	Figura	260.		353
	Figura	261.		354
	Figura	262.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Yelcho	355
	Figura	263.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho	356
	Figura	264.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho	357
	Figura	265.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Yelcho	358
	Figura	266.		359
	Figura	267.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho	360
	Figura	268.	Sección vertical Nº 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Yelcho	361
	Figura	269.	Sección vertical Nº 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Yelcho	361
		270.	Mapa tridimensional lago Popetán	365
	Figura		Mapa batimétrico lago Popetán	366
	Figura	271.	Cuencas de los afluentes del lago Popetán	367
	Figura	272.	Carta digital de la vegetación de la cuenca hidrográfica del lago Popetán	368
	Figura	273.	Histogramas de dirección e intensidad del viento registrado durante 1998 en el lago Popetán	
	Figura	274.	Serie de tiempo dirección, intensidad y componentes E - W (u) y N - S (v) del viento	
	Figura	275.		376
			durante 1998. Estación meteorológica del lago Popetán	0,0

Figura	276.	Serie de tiempo de Temperatura del aire, humedad relativa intensidad del viento y	
		pluviosidad diaria durante 1998. Estación meteorológica del lago Popetán	377
Figura	277.	Coeficiente de evaporación estimado para el lago Popetán. Promedios diarios	379
Figura	278	Serie de tiempos en cm/s de la corrientes en el lago Popetán a 3 m de profundidad	384
Figura	279.		8 408
Figura	280.	Serie de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el lago Popetán	
		registrada en junio y noviembre de 1998.	409
Figura	281.	Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago Popetán, noviembre de 1998	410
Figura	282.	Ubicación de estaciones de muestreos en el lago Popetán	411
Figura	283.	Perfiles de Temperatura del lago Popetán en 1998	412
Figura	284.	Variación diaria de Temperatura del agua en el lago Popetán registradas en verano (a),	
		inviemo y primavera (b) durante 1998	413
Figura	285.	Variación temporal anual de Temperatura en °C y Turbidez en el lago Popetán	414
Figura	286.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetán	415
Figura	287.	Sección vertical № 1 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	416
Figura	288.	Sección vertical № 2 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	416
Figura	289.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetán	417
Figura	290.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	418
Figura		Sección vertical Nº 2 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	418
Figura	292.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetán	419
Figura		Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	420
Figura		Sección vertical Nº 2 de Turbidez en NTU en el lago Popetán	420
Figura		Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	421
Figura	296.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetán	422
Figura	297.	Sección vertical Nº 2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetán	422
Figura	298.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	423
Figura	299.	Sección vertical № 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetán	424
Figura	300.	Sección vertical № 2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetán	424
Figura	301.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	425
Figura	302.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total μg/L de P en el lago Popetán	426
Figura	303.	Sección vertical Nº 2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Popetán	426
Figura	304.	Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en μg/L de P en el lago Popetán	427
Figura	305.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	428
Figura	306.	Sección vertical Nº 1 de Fosfato μg/L de P en el lago Popetán	429
Figura	307.	Sección vertical Nº 2 de Fosfato μg/L de P en el lago Popetán	429
Figura	308.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	430
Figura	309.	Sección vertical Nº 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetán	431
Figura	310.	Sección vertical Nº 2 de Fosfato μg/L de P en el lago Popetán	431
Figura	311.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetán	432
Figura	312.	Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetán	433
Figura	313.	Sección vertical № 2 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetán	433
Figura	314.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	434
Figura	315.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetán	435
Figura	316.	Sección vertical № 2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Popetán	435
Figura	317.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	436
Figura	318.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Popetán	437
Figura	319.	Sección vertical Nº 2 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetán	437
Figura	320.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	438
Figura	321.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetán	439
Figura	322.	Sección vertical Nº 2 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetán	439
_			TOO

Figura	323.	Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en μg/L de N en el lago Popetán	440 441			
Figura	324.					
Figura	325.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán				
Figura	326.	Sección vertical № 2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán				
Figura	327.	Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel supreficial en el lago Popetán				
Figura	328.	Sección vertical № 1 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán				
Figura	329.	Sección vertical № 2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán				
Figura	330.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	445			
Figura	331.	Sección vertical Nº 1 de Nitrato μg/L de N en el lago Popetán	446			
Figura	332.	Sección vertical № 2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán	446			
Figura	333.	Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	447			
Figura	334.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	448			
Figura	335.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	449			
Figura	336.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán	450			
Figura	337.	Sección vertical № 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán	450			
Figura	338.	Sección vertical Nº 1 de Nitrito μg/L de N en el lago Popetán	451			
Figura	339.	Sección vertical № 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán	451			
Figura	340.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán	452			
Figura	341.	Sección vertical № 2 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán	452			
Figura	342.	Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en μg/L de N en el lago Popetán	453			
Figura	343.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	454			
Figura	344.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	455			
Figura	345.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	455			
Figura	346.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	456			
Figura	347.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	457			
Figura	348.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	457			
Figura	349.	Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán	458			
Figura	350.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	459			
Figura	351.	Sección vertical № 2 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán	459			
Figura	352.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Popetán	460			
Figura	353.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Popetán	461			
Figura	354.	Sección vertical № 2 de Clorofila mg•m³ en el lago Popetán	461			
Figura	355.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Popetán	462			
Figura	356.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago Popetán	463			
Figura	357.	Sección vertical № 1 de Clorofila mg·m³ en el lago Popetán	464			
Figura	358.	Sección vertical № 2 de Clorofila mg·m³ en el lago Popetán	464			
Figura	359.	Variación temporal anual de Clorofila en mg·m³ y Oxígeno en mg/L en el lago Popetán	465			
Figura	360.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetán	466			
Figura	361.	Sección vertical Nº 1 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	467			
Figura	362.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	467			
Figura	363.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetán	468			
Figura	364.	Sección vertical № 1 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	469			
Figura	365.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	469			
Figura	366.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetán	470			
Figura	367.	Sección vertical Nº 1 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	471			
Figura	368.	Sección vertical № 2 de Oxígeno mg/L en el lago Popetán	471			
Figura	369.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetán	472			
Figura	370.	Sección vertical № 1 de pH en el lago Popetán	473			
Figura	371.	Sección vertical Nº 2 de pH en el lago Popetán	473			
Figura	372.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetán	474			
VIV	BICTIT	CUTO DE OCEANOLOCIA / INIVERSIDAD DE VALBARAISO				

Figura	373.	Sección vertical № 2 de pH en el lago Popetán	475			
Figura	374.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetán				
Figura	375.	Sección vertical Nº 1 de pH en el lago Popetán				
Figura	376.	Sección vertical № 2 de pH en el lago Popetán	477			
Figura	377.	Variación temporal de pH y Alcalinidad en mg/L de CaCO₃ en el lago Popetán	478			
Figura	378.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ a nivel superficial en el lago Popetán	479			
Figura	379.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	480			
Figura	380.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	480			
Figura	381.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago Popetán	481			
Figura	382.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	482			
Figura	383.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	482			
Figura	384.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago Popetán	483			
Figura	385.	Sección vertical № 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	484			
Figura	386.	Sección vertical № 2 de Alcalinidad mg/L de CaCO ₃ en el lago Popetán	484			
Figura	387.	Masa de P contenida en el lago Popetán	397			
Figura	388.	Masa de N contenida en el lago Popetán	398			
Figura	389.	Producción de salmónidos en el lago Popetán	400			
Figura	390.	Distribución horizontal de Trimetoprim a nivel superficial del lago Popetán	485			
Figura	391.	Sección vertical de Trimetoprim en el lago Popetán	486			
Figura	392.	Mapa tridimensional lago San Antonio	489			
Figura	393.	Mapa batimétrico lago San Antonio	490			
Figura	394.	Cuencas de los afluentes del lago San Antonio	491			
Figura	395.	Carta digital de vegetación de la cuenca hidrográfica del lago San Antonio	492			
Figura	396.	Temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa medidas en el lago				
		San Antonio durante noviembre y diciembre de 1998	501			
Figura	397.	Pluviosidad semanal acumulada registrada en el lago San Antonio durante noviembre				
		y diciembre de 1998	502			
Figura	398.	Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago San Antonio, 11 a 17 horas del 2				
		de febrero de 1998	530			
Figura	399.	Series de tiempo de magnitud (cm/s) de la corriente en el lago San Antonio a 3 m de				
		profundidad	530			
Figura	400.	Series de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el, lago San Antonio				
		registrada en junio y noviembre de 1998	531			
Figura	401.	Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago San Antonio, noviembre de 1998	532			
Figura	402.	Ubicación de estaciones de muestreos en el lago San Antonio	533			
Figura	403.	Perfiles de Temperatura del lago San Antonio en 1998	534			
Figura	404.	Variación diaria de temperatura del agua en el lago San Antonio registradas durante				
		las fases de mediciones, verano, invierno y primavera de 1998	535			
Figura	405.	Variación temporal anual de temperatura en °C y Turbidez en NTU en el lago San Antonio	536			
Figura	406.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio	537			
Figura	407.	Sección vertical № 1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio	538			
Figura	408.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio	539			
Figura	409.	Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio	540			
Figura	410.	Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio	541			
Figura	411.	Sección vertical № 1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio	542			
Figura	412.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio	543			
Figura	413.	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total μg/L de P en el lago San Antonio	544			
Figura	414.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio	545			
Figura	415.	Sección vertical № 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago San Antonio	546			
Figura	416.	Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio	547			

Figure	417	Sección vertical Nº 1 de Fósforo total µg/L de P en el lago San Antonio	548
Figura	417. 418.	- 첫번 하는데 계약 이번 10년 10년 전에 10년 전 기계에 1년 기계에 10년 1일 10년 1년 1월 10년 10년 11년 11년 11년 11년 11년 11년 11년 11년	
Figura	419.	Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en µg/L de P en el lago San Antonio Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio	
Figura	420.		550
Figura	421.	Sección vertical Nº 1 de Fosfato en μg/L de P en el lago San Antonio	551 552
Figura		Distribución horizontal de Fosfato μg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio Sección vertical Nº 1 de Fosfato μg/L de P en el lago San Antonio	553
Figura	422.		554
Figura	423.	Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio	
Figura	424.	Sección vertical № 1 de Fosfato µg/L de P en el lago San Antonio	555
Figura	425.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	
Figura	426.	Sección vertical Nº 1 de Nitrogeno total μg/L de N en el lago San Antonio	557
Figura	427.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	
Figura	428.	Sección vertical № 1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago San Antonio	559
Figura	429.	Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	
Figura	430.	Sección vertical Nº 1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago San Antonio	561
Figura	431.	Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en μg/L de N en el lago San Antonio	562
Figura	432.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	563
Figura	433.	Sección vertical № 1 de Nitrato μg/L de N en el lago San Antonio	564
Figura	434.	Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel supreficial en el lago San Antonio	565
Figura	435.	Sección vertical Nº 1 de Nitrato μg/L de N en el lago San Antonio	566
Figura	436.	Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	567
Figura	437.	Sección vertical Nº 1 de Nitrato μg/L de N en el lago San Antonio	568
Figura	438.	Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	569
Figura	439.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago San Antonio	570
Figura	440.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	571
Figura	441.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago San Antonio	572
Figura	442.	Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	573
Figura	443.	Sección vertical № 1 de Nitrito µg/L de N en el lago San Antonio	574
Figura	444.	Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en μg/L de N en el lago San Antonio	575
Figura	445.	Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	576
Figura	446.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago San Antonio	577
Figura	447.	Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	578
Figura	448.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago San Antonio	579
Figura	449.	Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio	580
Figura	450.	Sección vertical № 1 de Amonio µg/L de N en el lago San Antonio	581
Figura	451.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago San Antonio	582
Figura	452.	Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg•m³ en el lago San Antonio	583
Figura	453.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago San Antonio	584
Figura	454.	Distribución horizontal de Clorofila mg·m³ a nivel superficial en el lago San Antonio	585
Figura	455.	Sección vertical № 1 de Clorofila mg•m³ en el lago San Antonio	586
Figura	456.	Variación temporal anual de Clorofila en mg·m³ y Oxígeno en mg/L en el lago San Antonio	587
Figura	457.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio	588
Figura	458.	Sección vertical № 1 de Oxígeno mg/L en el lago San Antonio	589
Figura	459.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio	590
Figura	460.	Sección vertical № 1 de Oxígeno mg/L en el lago San Antonio	591
Figura	461.	Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio	592
Figura	462.	Sección vertical № 1 de Oxígeno mg/L en el lago San Antonio	593
Figura	463.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago San Antonio	594
Figura	464.	Sección vertical № 1 de pH en el lago San Antonio	595
Figura	465.	Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago San Antonio	596
Figura	466.	Sección vertical № 1 de pH en el lago San Antonio	597
VVI	NICTIT	LITO DE OCEANOLOCIA / LINIVERSIDAD DE VALBABAISO	

Figura	467.	Variación temporal de pH y Alcalinidad en mg/L de CaCO₃ en el lago San Antonio	598
Figura	468.	Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago San Antonio	599
Figura	469.		600
Figura	470.		601
Figura	471.	- 바로맞이 이렇게 있는데 이어 없었다. 이렇게 하면 없는데 이렇듯이 이렇듯 없는데 없었다. 이렇게 하다면 이렇게 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 하는데 하는데 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 하는데 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 이렇게 이렇게 하는데 이렇게 이렇게 이렇게 하는데 이렇게	602
Figura	472.		603
Figura	473.	Sección vertical Nº 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ en el lago San Antonio	604
		Variación del nivel del espejo de agua del lago San Antonio	519
		Cultivo de salmónidos. Lago San Antonio	523
Figura	476.		605
Figura	477.	Sección vertical de trimetoprim en el lago San Antonio	606

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto tuvo por objetivo general determinar la capacidad de carga de los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y San Antonio en la X Región en términos de stock cultivable de especies salmonídeas considerando, principalmente, el balance de fósforo y nitrógeno. Los objetivos específicos propuestos para lograr el propósito señalado fueron:

- Estimar, para cada lago, los aportes de fósforo y nitrógeno aportados por las diferentes actividades desarrolladas en sus cuencas (silvoagropecuaria, pesquera, turística, centros urbanos, etc.), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de ríos y de aguas lluvia.
- Determinar, en el caso de lagos donde se realice operación de cultivo de especies salmonídeas, los aportes de fósforo y nitrógeno totales provenientes de actividades acuícolas localizadas tanto en el lago como en los ríos y esteros tributarios.
- 3. Determinar para cada lago, el balance másico de fósforo y nitrógeno totales considerando los flujos de entrada y salida.
- Cuantificar, cuando corresponda, la producción de salmonídeos actualmente en cultivo en los lagos señalados, considerando la especie y la identificación del centro de cultivo.
- Estimar, a través de un modelo de simulación, la capacidad de carga en términos de máximo stock cultivable de especies salmonídeas, en cada cuerpo lacustre.
- Estimar el aporte de quimioterapéuticos y su persistencia en el medio ambiente, por parte de los centros de cultivo que están operando en los lagos Chapo y Popetán.
- Determinar en los lagos Chapo y Popetán y en un lago sin operación (lago Yelcho o laguna San Antonio), las áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmónidos.
- 8. Sensibilizar el modelo aplicado en función de las eventuales operaciones (lago Yelcho y Laguna San Antonio) o la incorporación de nuevos centros de cultivo a los ya autorizados (lagos Chapo y Popetán), considerando diferentes niveles de producción y localización en los lagos señalados. Asimismo, para cada nivel de producción se deberá estimar el período de tiempo que esta actividad económica se desarrollará sin que se alcance la carga crítica, que induzca cambio en la trofia del lago.

Al momento de plantearse el proyecto, solo los lagos Chapo en el continente y Popetán en la isla de Chiloé registraban operación de cultivo de especies salmonídeas, por lo que el FIP esperaba que los resultados del desarrollo del presente proyecto permitirían comparar la situación entre lagos similares con y sin cultivo de salmonídeos, junto con proporcionar información actualizada referida a la proporción de fósforo, nitrógeno y materia orgánica aportada por los centros de cultivos respecto de las restantes vías de ingreso de las cuencas donde se localizan. Sin embargo, uno

de los primeros resultados obtenidos al comenzar las tareas de terreno fue constatar que en todos los lagos sin excepción estaban instalados y en operación centros de cultivo, aun cuando, a muy poco andar aquel instalado en el lago Yelcho hizoabandono completo de las actividades. La situación señalada dejó sin efecto la comparación pretendida.

Para dar cumplimiento al objetivo de estimación de los aportes de fósforo y nitrógeno a los cuerpos lacustres, tanto de origen natural como por actividades desarrolladas en sus cuencas, se estableció una metodología destinada a establecer los ingresos a cada lago de sales nutrientes que contienen estos elementos por vía de sus afluentes, de precipitaciones de aguas lluvias, de escurrimientos difusos, de centros de cultivo de salmónidos y por los sedimentos del fondo.

Los ingresos de fósforo y nitrógeno desde centros de cultivo, consideraron análisis de alimentos suministrados a salmonídeos, ademas de estimación del transporte por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por los salmonídeos.

Los ingresos de fósforo y nitrógeno por afluentes fueron estimados mediante muestreos mensuales de sus caudales y concentraciones, que en el caso del lago Chapo fue extendido a determinación diaria de los caudales de afluentes empleando los registros obtenidos de Endesa, que emplea el lago como embalse alimentador de la central hidroeléctrica de Canutillar. La variabilidad de corto período en las concentraciones fue establecida mediante muestreos intensivos repetitivos de larga duración en los períodos de máximos y mínimos aportes, considerando para ello condiciones de verano, invierno y primavera (período de deshielos para los lagos cordilleranos).

Para establecer el contenido y aporte de fósforo y nitrógeno de los sedimentos de fondo, se caracterizaron los mismos mediante el estudio de su porosidad y sus contenidos totales de fósforo nitrógeno y materia orgánica.

Para determinar el contenido másico de fósforo y nitrógeno de cada lago investigado, se los caracterizó desde el punto de vista físico y químico, determinando su morfometría, estableciendo la dinámica de circulación de sus aguas y su estructura térmica y condiciones de transparencia y turbidez, así como sus contenidos, a distintos niveles de profundidad de fósforo total, fosfato, nitrógeno total, nitrato, nitrito, amonio, clorofila, oxigeno disuelto, pH y alcalinidad.

El ingreso de fósforo y nitrógeno por precipitaciones, se estableció instalando en los lagos principales una estacion meteorológica de registro automático que incluyó registro pluviométrico y por medio de la caracterización del contenido de nitrógeno y fósforo presentes en muestras acumuladas de las aguas lluvias.

Para el establecimiento de los aportes difusos y el ingreso de fósforo y nitrógeno a las hoyas según uso del suelo, se configuraron mapas base y trazado cartográfico digital, se definieron las cuencas y sub cuencas estableciendo sus áreas y redes hídricas de drenaje y se realizó un catastro y evaluación de los recursos vegetacionales de las áreas en estudio.

Con los resultados obtenidos de las variables analizadas en la forma descrita se determino el balance de fósforo y nitrógeno y la capacidad de carga de todos los cuerpos lacustres en estudio. Se utilizó el modelo de Volleweider modificado por Dillo y Rigler para establecer la carga crítica de fósforo y calcular su capacidad de carga para cada lago y el método de Bachmann para establecer la correspondiente carga crítica de nitrógeno.

El aporte de quimioterapéuticos por las actividades de acuicultura y la persistencia de ellos en el ambiente fueron analizados a partir de la caracterización química de muestras de aguas y de sedimentos de fondo bajo cada conjunto de sistema de balsas-jaulas y en estaciones situadas en la dirección de la corriente predominante, destinadas a establecer la dispersión en el ambiente. El tipo de quimioterapéuticos a determinar fue establecido tras confeccionar un catastro de uso de los mismos.

Los cuatro lagos estudiados son temperados. Los lagos chilotes (Popetaán y especialmente San Antonio presentan un color parduzco que reduce su transparencia, limitando el espesor de la capa eufótica y consecuentemente la productividad primaria. Los lagos continentales son transparentes y carentes de turbidez, en particular el lago Chapo.

El lago Chapo, con un área de 45,4 km², un volumen de 6,86 km³ y una hoya de drenaje de 310 km² posee un contenido másico de fósforo que asciende 49,6 toneladas y recibió en el año un total de 7,4 toneladas de fósforo aportadas por sus afluentes, 1,4 toneladas aportadas por precipitaciones y 21 toneladas suministradas desde centros de cultivo. En el año salieron por su única vía efluente (descarga hacia la central Canutillar) 15,0 toneladas de fósforo y por incorporación a los sedimentos 14,8 toneladas de fósforo. En cuanto al nitrógeno, su contenido másico asciende a 970,5 toneladas y recibió en el año un total de 130 toneladas aportadas por sus afluentes, 41 toneladas aportadas por precipitaciones y 12,4 toneladas suministradas desde centros de cultivo. En el año salieron por su única vía efluente 294 toneladas de nitrógeno.

La central Canutillar es la reguladora del volumen y tasa de recambio del lago. La carga de P total promedio anual actual es con 659 mg·m⁻² menor que la carga crítica calculada de 1241 mg·m⁻² y la carga promedio anual actual de N es de 4054 mg·m⁻², también menor que la carga de Bachmann de 79702 mg·m⁻². Esto permite mantener y ampliar ligeramente la actividad de cultivo en el lago Chapo sin perjudicar su actual estado de oligotrofia.

El lago Yelcho, con un área de 120,9 km², un volumen de 13,3 km³ y una hoya de drenaje de 2101 km² recibió en el año un total de 2694 mg·m² por año de fósforo aportadas por sus afluentes, y 24,6 mg·m² por año suministradas desde sus laderas, totalizando un ingreso de 329 toneladas. En el año salieron por su efluente 240 toneladas de fósforo y por incorporación a los sedimentos 89,2 toneladas de fósforo. En cuanto al nitrógeno, el lago Yelcho recibió en el año un total de 33467 mg·m² desde sus afluentes, y 140 mg·m² por año suministradas desde las laderas, lo que totalizó un aporte de 4046 toneladas. En el año salieron por su única vía efluente 2355 toneladas de nitrógeno y adicionalmente 1720 toneladas por incorporación a los sedimentos. La carga promedio anual actual, de 2722 mg·m² de P total, es similar a la

carga crítica calculada para el lago Yelcho (2719 mg·m⁻²), por lo que no es recomendable autorizar nuevas operaciones de cultivo de salmónidos en sus aguas.

El lago Popetán, con un área de 1,6 km², un volumen de 1,3·10-² km³ y una hoya de drenaje de 13,28 km² posee un contenido másico de fósforo que asciende 170 kg y recibió en el año un total de 160 kg de fósforo aportadas por sus afluentes, 21 kg aportadas por precipitaciones, 0,9 kg por arrastres difusos desde sus laderas y 7976 kg suministrados desde centros de cultivo. En el año salieron por su efluente 1748 kg de fósforo y por incorporación a los sedimentos 6229 kg adicionales. En cuanto al nitrógeno, su contenido másico asciende a 7,0 toneladas y recibió en el año un total de 4,5 toneladas aportadas por sus afluentes, 0,8 toneladas aportadas por precipitaciones, 9,4 toneladas suministradas desde centros de cultivo y 17 toneladas suministradas por los sedimentos del fondo. En el año salieron por su efluente 31,7 toneladas de nitrógeno.

La carga de P total promedio anual actual del lago Popetán es con 4995 mg·m⁻² considerablemente mayor que la carga crítica calculada de 320 mg·m⁻² y la carga promedio anual actual de N es de 9200 mg·m⁻², menor que la carga de Bachmann de 301550 mg·m⁻². En las condiciones actuales y de acuerdo a los resultados de los restantes parámetros de referencia (concentración media de fósforo, concentración de clorofila, transparencia), el lago Popetán se encuentra en el límite de paso de la oligotrofía a mesotrofía. Se recomienda no ampliar y por el contrario disminuir su actual volumen de piscicultura si se desea mantener la condición actual de trofía del lago.

El lago San Antonio, con un área de 3,03 km², un volumen de 1,75·10⁻² km³ y una hoya de drenaje de 24,85 km² posee un contenido másico de fósforo que asciende a 138 kg y recibió en el año un total de 343 kg de fósforo aportadas por sus afluentes, 40 kg aportadas por precipitaciones, 2,6 kg por arrastres difusos desde sus laderas y 501 kg suministrados desde centros de cultivo. En el año salieron por su efluente 650 kg de fósforo y por incorporación a los sedimentos 236 kg adicionales. En cuanto al nitrógeno, su contenido másico asciende a 3669 kg y recibió en el año un total de 5085 kg aportadas por sus afluentes, 2334 kg aportadas por precipitaciones, 5,48 kg aportados por escurrimiento desde sus laderas, 375 kg suministrados desde un centro de cultivo y 4461 kg suministrados por los sedimentos del fondo. En el año salieron por su efluente 12,3 toneladas de nitrógeno.

La carga de P total promedio anual actual del lago San Antonio es con 293 mg·m⁻² mayor que la carga crítica calculada de 149 mg·m⁻² y la carga promedio anual actual de N es de 2576 mg·m⁻², menor que la carga de Bachmann de 28175 mg·m⁻². En las condiciones actuales y de acuerdo a los resultados de los restantes parámetros de referencia (concentración media de fósforo, concentración de clorofila, transparencia), el lago San Antonio se encuentra todavía en una condición de oligotrofía, si bien acercándose a la mesotrofía. Se recomienda no ampliar actual volumen de piscicultura si se desea mantener la condición actual de trofía del lago.

OBJETIVOS Y METODOLOGIA DE TRABAJO

INTRODUCCION

La salmonicultura demanda para su desarrollo sustentable aguas naturales libres de procesos que contribuyan a su degradación. Su desarrollo en cuerpos lénticos exige por lo tanto evitar la ocurrencia de procesos de eutrofización. Los principales agentes causantes de tales procesos son los aportes de fósforo (P) y nitrógeno (N), lo que establece la necesidad de evitar una carga excesiva de ellos sobre el cuerpo receptor. Con la finalidad última de diseño de medidas administrativas necesarias para el control del aporte de nutrientes provenientes de los centros de cultivos de peces en resguardo del funcionamiento y utilización sustentable de los lagos del sur de Chile, el Consejo de Investigación Pesquera adjudicó a la Universidad de Valparaíso, para su ejecución mediante la propuesta elaborada por su Instituto de Oceanología, el proyecto denominado '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". El objetivo general del proyecto consiste en determinar la capacidad de carga de los cuerpos lacustres indicados en términos de stock cultivable de especies salmonídeas considerando, principalmente, el balance de fósforo y nitrógeno.

Los lagos Chapo y Yelcho se localizan en la parte continental de la X Región y al momento de plantearse el proyecto, sólo el primero de ellos registraba operación de cultivo de especies salmonídeas. Por su parte, los otros dos cuerpos lacustres (Popetán y San Antonio), de menor tamaño que los primeros, se localizan en la isla de Chiloé, estimándose que sólo en el lago Popetán se realizaba operación de cultivo de especies salmonídeas. Por lo tanto se esperaba que los resultados del desarrollo del presente proyecto permitirían comparar la situación entre lagos con y sin cultivo de salmonídeos, junto con proporcionar información actualizada referida a la proporción de fósforo, nitrógeno y materia orgánica aportada por los centros de cultivos respecto de las restantes vías de ingreso de las cuencas donde se localizan.

Con el propósito señalado, el proyecto contempló ocho objetivos específicos, a saber:

 Estimar, para cada lago, los aportes de fósforo y nitrógeno aportados por las diferentes actividades desarrolladas en sus cuencas (silvoagropecuaria, pesquera, turística, centros urbanos, etc.), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de ríos y de aguas lluvia.

- Determinar, en el caso de lagos donde se realice operación de cultivo de especies salmonídeas, los aportes de fósforo y nitrógeno totales provenientes de actividades acuícolas localizadas tanto en el lago como en los ríos y esteros tributarios.
- Determinar para cada lago, el balance másico de fósforo y nitrógeno totales considerando los flujos de entrada y salida.
- Cuantificar, cuando corresponda, la producción de salmonídeos actualmente en cultivo en los lagos señalados, considerando la especie y la identificación del centro de cultivo.
- Estimar, a través de un modelo de simulación, la capacidad de carga en términos de máximo stock cultivable de especies salmonídeas, en cada cuerpo lacustre.
- Estimar el aporte de quimioterapéuticos y su persistencia en el medio ambiente, por parte de los centros de cultivo que están operando en los lagos Chapo y Popetán.
- Determinar en los lagos Chapo y Popetán y en un lago sin operación (lago Yelcho o laguna San Antonio), las áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmónidos.
- 8. Sensibilizar el modelo aplicado en función de las eventuales operaciones (lago Yelcho y Laguna San Antonio) o la incorporación de nuevos centros de cultivo a los ya autorizados (lagos Chapo y Popetán), considerando diferentes niveles de producción y localización en los lagos señalados. Asimismo, para cada nivel de producción se deberá estimar el período de tiempo que esta actividad económica se desarrollará sin que se alcance la carga crítica, que induzca cambio en la trofia del lago.

Para dar cumplimiento a los objetivos señalados, se entregan en el presente informe los siguientes resultados, correspondientes a los indicados como esperados por las bases especiales de licitación del presente proyecto y complementados por la propia propuesta técnica en la forma señalada por contrato de investigación aprobado mediante decreto exento Nº 142 del Ministro de Economía, Fomento y Reconstrucción, de fecha 6 de febrero de 1998:

- Mapas base de cada área lacustre configurados y dibujados digitalmente a partir de cartografía del Instituto Geográfico Militar, mosaico aerofotogramétrico y fotogramas estereoscópicos.
- Cartografía digital de la localización de la red de drenajes.

- Levantamiento batimétrico y morfométrico de cada lago.
- Diagnóstico del uso de suelo de cada área de la cuenca de cada lago y Estimación de los aportes de fósforo y nitrógeno totales provenientes de las siguientes actividades: silvoagropecuaria, pesquera, turística, centros urbanos, y de aquellas provenientes del aporte por lluvias y arrastre de sedimentos de ríos.
- Cuantificación de los aportes de fósforo y nitrógeno totales.
- Cuantificación del nivel de aporte de fósforo y nitrógeno por concepto de los alimentos suministrados a las especies salmonídeas, cultivadas en los lagos.
- Determinación de la carga de fósforo y nitrógeno totales provenientes de centros de cultivo de salmonídeos como de pisciculturas instaladas en alguno de los afluentes.
- Determinación de la cantidad total de fósforo y nitrógeno presente en cada uno de los lagos.
- Determinación del balance de fósforo y nitrógeno totales de cada lago.
- Cuantificación de la producción de salmonídeos actualmente en cultivos en los lagos.
- Estimación de la capacidad de carga actual, en términos de máximo stock cultivable de especies salmonídeas, en cada cuerpo lacustre.
- Estimación de la carga crítica en cada cuerpo lacustre.
- Estimación del aporte de quimioterapéuticos al medio ambiente, por parte de los centros de cultivo.
- Criterios de selección de áreas de cultivo bajo la perspectiva de uso sustentable.
- Determinación de niveles de producción de salmónidos y períodos de tiempo en que la actividad económica se desarrollará hasta que se alcance la carga crítica del lago.
- Estudio de circulación de las aguas del lago en período estival, de invierno y primaveral.

- Determinación de las zonas de mayor y menor velocidad de corriente relativa.
- Proposición para cada lago considerando las zonas más favorables, desde el punto de vista ambiental (acumulación de sedimento), para la futura disposición de centros de cultivo de salmonídeos.

El presente informe se estructura en cinco capítulos, destinado el primero a detallar la metodología y diseños experimentales utilizados para la obtención de los resultados del proyecto. Los restantes cuatro capítulos consignan, respectivamente, los antecedentes y resultados obtenidos para cada uno de los cuatro cuerpos lacustres investigados en este proyecto (lagos Chapo, Yelcho, Popetán y San Antonio). Los resultados se entregan separados por lago siguiendo una secuencia lógica destinada a dar respuesta a cada uno de los objetivos específicos enumerados precedentemente.

De este modo, en cada lago, la secuencia de organización es: Antecedentes; Estimación de aportes de fósforo y nitrógeno (objetivo específico 1): morfometría del lago y cartografía de su red de drenaje, diagnóstico del uso del suelo, ingreso de fósforo y nitrógeno por los afluentes, ingreso por escurrimiento superficial difuso, ingreso de fósforo y nitrógeno por precipitaciones; lngreso de fósforo y nitrógeno desde centros de cultivo (objetivo específico 2): análisis de alimentos suministrados a salmonídeos, sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonídeos, contenido de fósforo y nitrógeno en sedimentos del fondo; Balance de fósforo y nitrógeno (objetivo específico 3): caracterización física y química de la columna de agua del lago, masa total de fósforo y nitrógeno contenida, determinación de los balances; Estimación de capacidad de carga y sensibilización del modelo empleado (objetivos específicos 5 y 8).

En los lagos que correspondía: cuantificación de la producción de salmonídeos en cultivo (objetivo específico 4); Aporte de quimioterapéuticos y persistencia (objetivo específico 6). Finalmente, determinación de áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo (objetivo específico 7).

METODOLOGIA

El diseño experimental general tomó en cuenta el hecho de que la sensibilidad de diferentes lagos a las cargas de P y N es distinta, siendo función de su morfometría y tamaño de su hoya hidrográfica, de su recambio de aguas y de la dinámica del fondo, influyendo todos estos factores sobre la dispersión, sedimentación y recirculación de los nutrientes en el lago. Asimismo, el diseño consideró la importancia relativa del uso del suelo para el balance de fósforo y nitrógeno. Para el establecimiento de capacidades de carga robustas, basadas en una apropiada estimación de las concentraciones medias para cada cuerpo de agua, la estrategia general de muestreo privilegió la caracterización intensiva de las situaciones extremas de cada sistema lacustre (máximos y mínimos aportes de P y N) en cuanto a la obtención de la variabilidad esperada de sus correspondientes valores promedio, combinando este esquema con el tradicional, de toma de muestras instantáneas con una frecuencia mensual en algunos puntos representativos. En esencia el procedimiento de proyección a un período anual de los tres muestreos intensivos consistió en la combinación de los resultados de los mismos con muestreos mensuales complementarios a efectuar en tres zonas de cada lago (efluente, afluente principal y zona central del lago) en los nueve restantes meses del año. La variabilidad de corto plazo esperable en cada uno de estos tres puntos característicos quedó establecida durante los muestreos intensivos, la que fue utilizada para acotar la variabilidad de los resultados discretos de cada uno de los nueve muestreos restantes.

Ciñéndose al esquema indicado se efectuaron tres muestreos intensivos, recorriendo en cada uno dos veces consecutivas la totalidad de cada cuerpo de agua y sus afluentes; el primero de ellos se efectuó en verano (condición de mínimos aportes de aguas, mínimas concentraciones esperadas de nutrientes y máxima estratificación de la columna de agua), el segundo en inviemo (condiciones de máximos aportes de aguas, máxima concentración esperada de nutrientes y máxima homogeneidad vertical de la columna de agua), y el tercero en primavera (máximo secundario esperado en aportes fluviales por deshielos en lagos cordilleranos, disminución en las concentraciones de nutrientes por 'bloom' de fitoplancton y transición por formación de termoclina). Los detalles de las metodologías específicas utilizadas para la obtención de los resultados de esta investigación se entregan a continuación.

INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO A LAS HOYAS SEGUN USO DEL SUELO

Configuración de mapas base y trazado cartográfico digital

Los mapas base de cada área lacustre estudiada (lagos Chapo, Yelcho, Popetán y San Antonio) se confeccionaron utilizando cartografía escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar (IGM) y mosaicos aerofotogramétricos construidos a partir de fotos aéreas escala 1:20.000 adquiridas al Servicio Aerofotogramétrico (SAF). La generación de mapas base consistió en la digitalización de la información cartográfica y aerofotogramétrica, de modo tal que permitiese una posterior incorporación automatizada de información georeferenciada. El trabajo de digitalización se realizó en el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso, empleando para ello el software Didger® acoplado a una tabla digitalizadora Summasketch III con puntero magnético. La información digital georeferenciada generada para cada lago y sus cuencas asociadas (168.858 datos para el lago Chapo, 3232 datos para el lago Yelcho, 28.364 datos para el lago Popetán y 50.548 datos para el lago San Antonio) fue procesada con el software Surfer® 6.0 para generar los mapas virtuales base y maquetas tridimensionales digitales, asociando a cada punto de la cuenca una altura restituida digitalmente a partir de las curvas de nivel.

Definición de cuencas y establecimiento de sus áreas y redes hídricas de drenaje

Para la definición de las cuencas de drenaje de los cuatro cuerpos lacustres sujetos a estudio se utilizó la información topográfica de las cartas escala 1: 50.000 del IGM. La delimitación entre las cuencas e identificación de las divisorias de aguas se efectuó a través de la información de inflexión de las curvas de nivel de las cartas IGM, asistida por el análisis fotogramétrico de fotografías aéreas del SAF. Para determinar el orden de los tributarios se siguió el método de Horton Strahler. Una vez definidos los límites cada una de las cuencas, se midió en forma digital las superficies de cada una de ellas. El valor expresado representa un promedio de tres mediciones. La red de drenajes fluviales fue localizada digitalmente sobre los mapas base, empleando para ello la combinación de los software Didger® y Surfer® 6.0.

Uso actual del suelo

Las cartas de uso actual del suelo se basaron en su realización en los mapas topográficos escala 1: 50000 del IGM y en las cartas escala 1:50.000 entregada por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile" (Conaf-Conama-Birf) de 1997. Las cartas fueron elaboradas realizando un análisis por tipo fisionómico propuesto por el trabajo antes mencionado.

Las superficies de las unidades de vegetación que estaban completamente incluidos en la cuenca definida de un lago, fueron indicadas con la superficie indicada por la información de la carta. En cambio, cuando las unidades o polígonos eran cortados por los límites de la cuenca, se hicieron tres mediciones, indicándose el promedio. Las cartas de uso de suelo obtenidas fueron verificadas en terreno y digitalizadas sobre los mapas base, empleando para ello la combinación de los software Didger® y Surfer®.

La nomenclatura de las cartas está basada en la propuesta por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile". El seguir esta nomenclatura tiene la ventaja de que la vegetación puede ser interpretada en relación al uso potencial desde el punto de vista forestal y permite evaluar el impacto de futuros proyectos forestales y/o agrícolas. La nomenclatura considera cobertura (denso (> 75%), semidenso (50-74 %), abierto (50-20 %), y altura de la vegetación. De este modo, la interpretación en términos de efectos sobre la escorrentía o bien en términos de limitaciones a procesos erosivos se hace más directa.

Con el objeto de dilucidar la importancia del aporte difuso proveniente de escurrimientos superficiales temporales desde laderas, pequeñas cuencas y áreas del subsistema terrestre que presentan exposición y vecindad con las orillas del lago, se establecieron pequeñas parcelas donde se instalaron captadores de escurrimiento superficial de modo de conocer los aportes al lago por esta vía para éstas áreas seleccionadas. El monto total de nutrientes suministrados al lago a través del escurrimiento ha sido calculado como la suma del área de cada cuenca de drenaje multiplicada por su coeficiente de exportación.

INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO A LOS LAGOS POR SUS AFLUENTES

La estimación del ingreso de fósforo y nitrógeno aportados a cada lago por sus afluentes se realizó a partir de muestreos mensuales realizados en un período anual comprendido entre enero y diciembre de 1998 para el lago Chapo y entre febrero de 1998 y enero de 1999 para los lagos Popetán, San Antonio y Yelcho. El diseño del muestreo de la carga de fósforo y nitrógeno aportado por los afluentes de la red hídrica de drenaje de cada lago consideró la medición en una oportunidad del aporte efectuado tanto por los ríos y esteros principales, como aquel de todos los afluentes menores observados en terreno, y la medición exclusivamente en ríos y esteros principales en las restantes ocasiones. Para este efecto en la primera campaña de muestreo intensivo, ejecutada entre enero y febrero de 1998, se midieron los caudales y se tomaron

muestras de todos los afluentes para estimar su correspondiente carga de aporte. Estas informaciones de cargas de N y de P fueron llevadas a un análisis de componentes principales, con el cual se establecieron los principales contribuyentes, por selección de los que explicaron el 90% o más del aporte total de ambos nutrientes. Los afluentes individuales comprendidos dentro de estos contribuyentes fueron considerados "principales afluentes". La contribución total del aporte de los afluentes menores para el resto del período anual se efectuó sobre la base de las mediciones directas realizadas en cada uno de ellos durante la primera campaña y la proyección para el resto del período anual de la fracción que representó la medición directa de cada uno. En los meses de junio y noviembre, al igual que en la primera campaña descrita, los muestreos de aguas de los afluentes y efluentes se llevaron a cabo en dos oportunidades para cada río, separados por un intervalo de tres a cinco días entre el término de uno y el comienzo del otro.

Consecuentemente, en la primera campaña intensiva se muestrearon un total de 30 afluentes en el lago Chapo, 15 en el lago Yelcho, 2 en el Popetán y 3 en el San Antonio. Atendiendo el resultado del análisis señalado precedentemente, que indicó 11 principales afluentes para el lago Chapo, 2 para el lago Yelcho (dominado por el aporte del río Futaleufú), 1 para el lago Popetán y 1 para el San Antonio, los muestreos posteriores se realizaron exclusivamente en este último número de afluentes. En el caso de los lagos Popetán y San Antonio, por su menor tamaño, el muestreo de los afluentes se amplio al número total inicial durante la ejecución de las campañas intensivas de invierno (junio) y primavera (noviembre).

Adicionalmente y en forma simultánea al muestro de afluentes se muestrearon los efluentes de los lagos Popetán, San Antonio y Yelcho (uno por lago). En el caso del lago Chapo, la medición directa fue imposible de realizar, por cuanto se constató en terreno que la construcción de la central hidroeléctrica de Canutillar cambió la fisonomía y topografía del sector del desagüe natural del lago, segando la salida que anteriormente daba origen al río Chamiza con una presa y desaguando el lago sólo por los ductos de alimentación de las turbinas de la central, cuyas bocatomas se encuentran ubicadas en el margen SW del mismo, a unos 30 m de profundidad bajo el espejo natural de aguas. La información de la carga de N y P evacuada por las aguas salientes del lago Chapo se estimó a partir de los caudales medios diarios de salida generados por la central hidroeléctrica Canutillar (datos adquiridos a ENDESA) y las concentraciones de P y N medidas a 25 m de profundidad en el lago.

Los caudales de agua de los afluentes y del efluente de cada uno de los lagos se calculó empleando las medidas del área de la correspondiente sección de descarga y de su velocidad de corriente, siguiendo las normas hidrométricas de la D.G.A. para los aforos. La velocidad de la corriente del agua fue medida en cada oportunidad usando un flujómetro portátil calibrado marca Kahlsico. Para establecer las correspondientes áreas de descarga de cada curso de agua, se midió en una sección su ancho con huincha y se efectuó un perfil batimétrico midiendo la profundidad a intervalos variables con una vara graduada.

En cada uno de los cursos de agua afluentes y efluentes se tomó una muestra compuesta en su parte central, extrayendo muestras puntuales proporcionales al caudal durante un intervalo de tiempo (máximo una hora), dividiendo posteriormente la muestra en los correspondientes volúmenes para determinar la turbidez y las concentraciones de fosfato inorgánico disuelto, fósforo total, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total, alcalinidad y carbono orgánico particulado. En el caso de las determinaciones de oxígeno disuelto y pH, se midió directamente con electrodo específico o se tomaron muestras simples puntuales para este efecto. Los métodos de análisis se especifican en la sección de caracterización química de la columna de agua (pág. 16)

INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR PRECIPITACIONES

Para estimar los aportes de agua por pluviometría y la pérdida por evaporación en los lagos sujetos a estudio, se instalaron tres estaciones meteorológicas Davis Instruments mod. Wizard III, de registro automático de presión atmosférica, temperatura, viento, humedad relativa y pluviosidad en los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y San Antonio. Esta instalación se verificó a mediados de enero en el lago Chapo y a comienzos de febrero en los lagos Popetán y Yelcho. Las estaciones fueron situados inmediatos a la orilla en cada lago, en una ubicación expuesta sin cubierta arbórea. Cada estación registró los parámetros indicados a intervalos de 2 horas. El control de operación se realizó mensualmente, recuperando la información por medio del software Weatherlink 3.01. La instalación de las estaciones automáticas quedó limitada a los tres lagos indicados por razones de costos y disponibilidad.

El procesamiento de la información se realizó graficando con software Grapher 1.25 las series de tiempo completas de dirección, intensidad, componente norte-sur y componente esteoeste del viento para cada lago, así como las series de temperatura humedad relativa y pluviosidad. Además, se graficaron los histogramas de intensidad y dirección del viento para los lagos Chapo y Popetán. La cantidad total de agua mensual ingresada directamente por

precipitación a cada lago fue estimada a partir de la suma de la precipitación registrada y del área de la superficie del lago correspondiente.

En el lago San Antonio el registro de ingreso de aguas lluvias se llevó a cabo por medición directa de la variación en altura del espejo de agua del lago, efectuada día por medio sobre una regla de referencia adosada a los pilotes externos de un muelle. Estas mediciones en el lago San Antonio fueron complementadas a partir de octubre con la instalación de un pluviógrafo analógico y de un barógrafo y registrador analógico de humedad relativa y temperatura. Adicionalmente, se recurrió a los registros de pluviosidad obtenidos por la Dirección Meteorológica de Chile en el aeródromo de Quellón.

Para el análisis químico del contenido de N y P presente en las lluvias, las precipitaciones fueron muestreadas sobre una base mensual en los lagos Chapo y Popetán. En el caso del lago San Antonio se emplearon los resultados de una muestra de lluvia, ponderando las concentraciones determinadas por la precipitación acumulada para estimar el flujo total anual de ambos nutrientes. Las muestras pluviométricas de cada lago, consistentes en precipitación total (seca+húmeda) fueron analizadas en cuanto a su contenido de nitrógeno total, de nitrato, de amonio y de fósforo total.

En el caso del lago Yelcho, para calcular el aporte pluviométrico de N se empleó una concentración estimada a partir de las mediciones directas efectuadas durante el presente proyecto en los restantes lagos y de la única información de literatura disponible para la región austral (Galloway et al., 1996).

INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO DESDE CENTROS DE CULTIVO

El balance de ingreso de P y N por aporte alimentario en cada lago se efectuó considerando la correspondiente fracción del total de alimento suministrado por los centros de cultivo que es: a) incorporada a peces, b) liberada a la columna de agua durante la sedimentación y c) enterrada al alcanzar el fondo. Para obtener la información necesaria para establecer este balance, se utilizaron las metodologías de los acápites descritos bajo los subtítulos a continuación. Por su parte, la producción total de peces de cada lago fue obtenida directamente por consulta a las empresas productoras.

Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos

El análisis de los alimentos suministrados a los peces en los distintos centros de cultivo instalados en cada lago se efectuó mediante muestras tomadas directamente desde los recipientes de alimentación de las balsas jaulas. Los tamaños muestreales fueron determinados a partir de criterios de muestreo por volumen, con el propósito de obtener una apropiada caracterización del contenido promedio de cada elemento en un batch de alimento. El muestreo se efectuó estacionalmente, coincidiendo con los muestreos intensivos. Conjuntamente con la toma de muestra, se recabó directamente en cada centro de cultivo la información comercial correspondiente a cada tipo de alimento muestreado.

Las muestras de alimentos fueron conservadas en seco en frascos de polietileno de baja densidad para su traslado a los laboratorios de análisis. En ellos se procedió a analizar el contenido de nitrógeno total, fósforo total, carbono orgánico y de materia orgánica total. Adicionalmente, se estimó su liberación de formas nutrientes a partir de los tiempos de disolución en medio acuoso. Esta última determinación se realizó en el Laboratorio de Tecnología Farmacéutica de la Universidad de Valparaíso. El análisis de los contenidos de nitrógeno y fósforo fue efectuado en laboratorios de *Tecnolab* y los resultados cotejados mediante envío simultáneo de algunas muestras ciegas replicadas para análisis de nitrógeno total a laboratorios de la Universidad Católica de Valparaíso. La determinación de materia orgánica total y de carbono orgánico se realizó en laboratorios de la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso.

La determinación del tiempo de disolución en medio acuoso se realizó a 17 °C empleando equipo de disolución Hanson Research, específico para este tipo de análisis y por determinación, a intervalos de 15 minutos, del contenido de P liberado al medio acuoso. La determinación de los contenidos totales de fósforo, nitrógeno, materia orgánica y carbono orgánico se realizó tras homogeneización en mortero de ágata. El fósforo total fue determinado fotocolorimétricamente como fosfomolibdato reducido previa oxidación ácida con persulfato. El contenido de nitrógeno fue determinado con el método micro Kjeldahl. La materia orgánica total fue determinada por calcinación a 450 °C y gravimetría. El carbono orgánico fue determinado por oxidación mediante equipo analizador de carbono LECO CR-12, en modo carbono orgánico.

Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonideos

En los lagos con operación declarada de piscicultura se captaron con trampas muestras de los sedimentos que, generados por la operación de las balsas jaulas, caen desde la superficie. El muestreo de trampa de sedimentos se efectuó con periodicidad estacional, representativo de las condiciones de verano, invierno y primavera, ejecutándose en cada una de las campañas intensivas (enero-febrero, junio y noviembre), excepto por el lago Popetán, donde en verano sólo se ejecutó el muestreo correspondiente a las áreas de control por carecer todavía de autorización para el acceso a los sistemas de balsas jaula.

Las trampas de captación de sedimentos consistieron en conos plásticos de 25 cm de apertura de boca con frascos de vidrio de 500 mL como colectores adosados a su extremo inferior. Con el propósito de lograr una medida no disminuida por dispersión de la pérdida de material sólido suspendido de las balsas jaula, las trampas se dispusieron suspendidas directamente bajo el copo de la red de cada jaula muestreada (5 m bajo el espejo de agua). En cada centro de cultivo se instalaron tres de estas trampas colectoras. Además, en cada lago se instalaron tres trampas de control, ancladas verticalmente por medio de un peso suspendido bajo el cono captador y en contacto con el fondo. La boca de cada captador control se mantuvo suspendida verticalmente a 5 m bajo la superficie por medio un flotador plástico de media agua. La posición de cada trampa de control se estableció fijándola por medio de GPS. Cada trampa de balsa jaula permaneció suspendida por un mínimo de 48 horas y cada trampa de control por un mínimo de 48 horas en los lagos Popetán y San Antonio y de 210 horas en el lago Chapo.

Las trampas fueron recuperadas izándolas lentamente para evitar la resuspensión del material particulado colectado y al llegar a la superficie se decantó cuidadosamente el liquido sobrenadante del respectivo cono, desprendiendo a continuación el frasco colector y cerrándolo con tapa hermética para su despacho a laboratorio de análisis.

La velocidad de sedimentación del alimento fue determinada en el Laboratorio de Química del Mar de la Universidad de Valparaíso, midiéndola directamente sobre alicuotas de las muestras de alimento tomadas en los centros de Cultivo y puestas a sedimentar en un cilindro de 50 cm lleno con agua de cada lago.

A su vez, el análisis químico de los sedimentos colectados en las trampas se efectuó en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad Católica de Valparaíso. Las determinaciones efectuadas fueron peso seco de sedimento (mediante estufa de vacío a 105 °C),

nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica total. Los métodos de análisis empleados fueron respectivamente, micro Kjeldahl, fotocolorimetría como fosfomolibdato reducido previa oxidación ácida con persulfato y gravimetría tras calcinación a 450 °C.

Contenido de fósforo y nitrógeno de los sedimentos del fondo

En cada uno de los lagos sujetos a estudio se caracterizarán los sedimentos de fondo en cuanto a su porosidad y a sus contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica. El muestreo de sedimentos contempló un diseño estadístico estratificado con tres estratos, a saber: una zona de margen de lago sin influencia antrópica evidente (control), una zona de margen de lago con influencia antrópica por aporte desde centro de cultivo y una zona intermedia entre esta última y las dos primeras (zona de transición). En cada una de estas tres zonas se tomaron tres réplicas de sedimento. En el lago San Antonio, por la presencia de un aserradero con una considerable acumulación de aserrín junto a la orilla se añadió una cuarta zona, de influencia antrópica por aserradero.

Las muestras de sedimentos del fondo, fueron tomadas en los lagos Popetán y San Antonio con una draga Lenz de 20 x 20 cm de mascada. Para la toma de la muestra, la draga se bajó lentamente hasta tocar el fondo, subiéndola a continuación un metro y dejándola caer libremente para que penetre en el fango, para posteriormente lanzar un mensajero por el cable que gatillaba el cierre, permitiendo así obtener las muestras del sedimento. En los lagos Yelcho y Chapo, por la granulometría más gruesa de los sedimentos, se empleó una draga Petersen en vez de la Lenz. Los sedimentos obtenidos fueron congelados (excepto una parte destinada a determinación de la porosidad, que sólo fue refrigerada) y trasladados en esta forma a Valparaíso para su posterior análisis.

Los análisis efectuados a las muestras de sedimentos de fondo consistieron en: porosidad por razón volumen de sólido a volumen total tras pérdida de peso a 80°C, materia orgánica total por calcinación a 450°C (los tres efectuados en el Laboratorio de Química del Mar de la Universidad de Valparaíso), nitrógeno total por micro Kjeldahl y fósforo total por digestión ácida con persulfato y colorimetría como fosfomolibdato reducido (ambos efectuados en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad Católica de Valparaíso).

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DE CADA LAGO

El muestreo de aguas destinado a establecer las características físicas y la composición química de las aguas de los lagos para cada uno de las tres campañas de muestreo intensivo (enero-febrero, junio y noviembre) se realizó en dos oportunidades consecutivas durante el correspondiente mes, separadas por un intervalo de cinco días entre el término de uno y el comienzo del otro en los lagos mayores (Chapo y Yelcho) y de dos días los menores (Popetán y San Antonio). Para los lagos mayores, cada uno de los dos muestreos consecutivos tuvo una duración de dos días, efectuándose en una mitad del lago en un día y en la otra al siguiente; por su menor extensión los lagos más pequeños fueron cubiertos en un solo día. El muestreo se realizó en un número total de estaciones distribuidas de modo de cubrir toda el área del lago y permitir un apropiado cálculo de isolineas para cada uno de los parámetros medidos (14 estaciones en el lago Chapo, 5 estaciones en el lago Popetán, 6 estaciones en el lago San Antonio y 24 estaciones en el lago Yelcho). El posicionamiento en terreno se llevó a cabo mediante GPS, con un error máximo estimado de 30 metros.

Para la ejecución de los muestreos intensivos en los lagos Chapo, Popetán y San Antonio se empleó una embarcación de goma con motor fuera de borda. La embarcación empleada para los muestreos intensivos fue seleccionada debido a las características de limitada accesibilidad de dos de los lagos y en particular de la gran mayoría de sus tributarios, que obligaban a navegar en áreas rocosas someras y a desembarcar en lugares inaccesibles por tierra. La embarcación fue equipada con un huinche manual con tambor de 100 m de cable. En cada estación se obtuvieron muestras de agua en tres profundidades distintas (superficie, zona de termoclina e hipolimnion) empleando botellas oceanográficas Niskin de 5 litros. En el lago Chapo, la profundidad nominal de muestreo correspondiente a la zona de termoclina (metalimnion) se situó de 20 a 25 m y aquella de hipolimnion se situó usualmente a 90 m, llegando a 200 y 230 m en las estaciones más profundas. En los lagos someros (Popetán y San Antonio), los niveles de muestreo se redujeron en la mayoría de las estaciones a dos niveles por el escaso fondo. Las profundidades de muestreo efectivas correspondientes a cada uno de los niveles indicados para cada estación de cada lago se identifican mediante puntos en las secciones verticales de cada constituyente analizado. En el lago Yelcho las embarcaciones utilizadas fueron arrendadas a lugareños que las pilotaron, siendo equipadas transitoriamente con un huinche bencinero con tambor de 300 m de cable. Similarmente a lo ejecutado en los otros lagos, en cada estación del lago Yelcho se obtuvieron muestras de agua en tres profundidades distintas: superficie, zona de termoclina (40 m) e hipolimnion (200 m) empleando botellas oceanográficas Hydro-Bios de 1,9 litros.

En los muestreos mensuales complementarios, la toma de muestras se redujo a los tres niveles de profundidad de una estación representativa del centro del cuerpo de agua para los lagos Chapo (0, 20 y 90 m), Popetán (0, 5 y 10 m) y San Antonio (0 y 6 m), empleándose un bote de apoyo de las empresas salmonicultoras presentes en el correspondiente lago (lancha de fibra de vidrio en el caso del lago Chapo). En el lago Yelcho, durante los muestreos mensuales se obtuvieron muestras superficiales de tres estaciones.

Morfometria

Para establecer el volumen de cada lago, se generó la información batimétrica a partir de perfiles longitudinales a lo largo del eje mayor y perfiles transversales ejecutados de modo de cubrir toda la superficie. El número de perfiles realizados fue variable, dependiendo del tamaño de cada lago investigado. Los perfiles batimétricos se efectuaron empleando un ecosonda Furuno modelo FE-6300 de 200 Khz de frecuencia, con registro en pantalla digital y registro analógico en papel. Cada sondaje fue posicionado con 2 GPS Garmin 45XL de 15 m de precisión, uno de ellos llevado a bordo y otro dejado fijo en un punto notable en tierra, determinándose la posición diferencial (aumento de precisión de posicionamiento a rango entre 5 y 10 m).

Los registros analógicos de sondajes del ecosonda fueron posteriormente digitalizados en el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso, empleando para ello el software Didger® acoplado a una tabla digitalizadora Summasketch III con puntero magnético. Los registros digitales así obtenidos fueron pareados con las posiciones geográficas en UTM transferidas desde los GPS y combinados con puntos de sondaje georeferenciados ingresados en terreno a planillas de calculo electrónicas Excel, importando el conjunto con el software Surfer®6.0, para configurar con este último una grilla batimétrica y generar los mapas batimétricos e imágenes tridimensionales de batimetría. Los datos batimétricos fueron interpolados y graficados mediante el software Surfer® usando como método Kriging con un variograma lineal. Los volúmenes se estimaron con tres métodos: trapezoidal, Simpson y Simpson 3/8 usando la grilla generada con Surfer®6.0.

Caracterización física de la columna de agua

Circulación de las aguas

Para conocer las corrientes del cuerpo de agua se emplearon derivadores complementados con un registro continuo por medio de un correntómetro. Los derivadores, utilizados para estimar las corrientes lagrangianas, fueron liberados a 0, 5 y 10 m de profundidad, posicionándolos con GPS. Los desplazamientos de los derivadores se plotearon en las cartas digitalizadas de cada lago, calculándose la distancia recorrida e intensidad media de la corriente para cada profundidad.

El uso de correntómetros estuvo destinado a obtener series horarias de dirección e intensidad de la corriente en cada lago. Para esto se fondeó a 2 m de profundidad en cada lago un correntómetro Sensordata SD6000 con memoria sólida durante el desarrollo de los muestreos intensivos (enero-febrero, junio y noviembre para los lagos Chapo, Popetán y San Antonio; febrero, agosto y diciembre para el lago Yelcho). Las series de dirección e intensidad de la corriente para cada registro obtenido fueron graficadas empleando software Grapher 1.25. Atendiendo la precisión de los correntómetros Sensordata, las velocidades inferiores a 1 cm/s se interpretaron como ausencia de corriente. Para cada zona se corrigió la desviación magnética, presentándose la dirección de las corrientes respecto al norte geográfico.

Estructura térmica

Para la caracterización de la estructura térmica se realizaron perfiles de temperatura entre superficie y una profundidad máxima 200 m en el lago Chapo, de 100 m en el lago Yelcho y cercano al fondo en los lagos Popetán y San Antonio. Los perfiles de temperatura se realizaron usando un CTD Seabird SBE 19, complementados con mediciones discretas a profundidades específicas empleando termómetros oceanográficos de inversión de alta precisión. Estos perfiles se efectuaron en todas las estaciones establecidas para el lago Chapo (14), para 3 estaciones en el lago Popetán y para 2 estaciones en el lago San Antonio. Los perfiles de temperatura fueron graficados individualmente para cada lago empleando el software Grapher 1.25, tras importar la información digital entregada por el software específico del CTD. Para el lago Chapo se graficaron las distribuciones verticales de temperatura a lo largo de una sección comprendida entre las estaciones 1 a 12 usando el método de interpolación Kriging con un variograma lineal en una grilla de 0,5 km por 2m con el software Surfer®6.0.

En el lago Yelcho, la ejecución de la medición de perfiles verticales de temperatura se realizó entre superficie y una profundidad máxima 100 m con un perfilador WTW LF equipado con sensor LT-1/T, siendo también complementados con mediciones discretas a profundidades específicas hasta un máximo de 200 m empleando termómetros oceanográficos de inversión de alta precisión. Estos perfiles se efectuaron en todas las estaciones establecidas para el lago Yelcho (24). Para el lago Yelcho la información de temperatura fue graficada en una sección vertical a lo largo de su eje mayor, usando el método de interpolación Kriging con un variograma lineal en una grilla de 0,5 km por 2m con el software Surfer®6.0.

Adicionalmente, para cada uno de los lagos se graficaron las series de variación diaria de la temperatura del agua correspondiente a los períodos de fondeo de correntómetros, registrados por el sensor de temperatura de estos equipos.

Transparencia y Turbidez

La transparencia de las aguas fue registrada por medio de la profundidad de disco Secchi, en tanto que la turbidez fue medida en muestras de agua tomadas de las botellas oceanográficas siguiendo el patrón establecido para la caracterización química de la columna de agua. La medición de la turbidez se realizó mediante nefelómetro calibrado diariamente con estándares sellados.

Caracterización química de la columna de agua

Toma y preservación de muestras

Para caracterizar los cuerpos de agua en términos de los contenidos totales y principales compuestos de fósforo y nitrógeno presentes, cubriendo toda el área del lago y permitiendo un apropiado cálculo de isolineas para cada uno de los parámetros medidos, se muestreó en el número de estaciones previamente indicadas al comienzo de la presente sección. En cada una de las estaciones de muestreo se obtuvieron tres (excepcionalmente cuatro) muestras discretas representativas del perfil vertical para la columna de agua. Las muestras correspondieron a una observación de la capa superficial o epilimnion, una observación de la capa donde se ubica la termoclina y una observación representativa de la capa profunda o hipolimnion. Las profundidades de muestreo se redujeron a dos niveles en algunas estaciones del lago Popetán y en todas las del lago San Antonio, por su batimetría somera.

La caracterización en términos de derivados de P (fósforo total y ortofosfato) y N (nitrógeno total, nitrato, nitrito y amonio) fue complementada con mediciones de oxígeno disuelto, de clorofila a y de pH.

Todas las muestras para análisis de oxígeno disuelto y amonio fueron transferidas a frascos de vidrio ad-hoc (yodométricos y ámbar, respectivamente) y fijadas inmediatamente de obtenidas, conservándolas en oscuridad hasta realizar los análisis, que en las campaña intensiva de verano fueron efectuados el mismo día o dentro de los dos días de realizado el muestreo en el laboratorio de terreno instalado ex-profeso. Con las muestras de amonio de las campañas intensivas de invierno y primavera se procedió despachándolas vía aérea al Laboratorio de Química del Mar del Instituto de Oceanología en Viña del Mar al día siguiente de obtenidas. La determinación de oxígeno continuó llevándose a cabo en laboratorio instalado en terreno. Con las muestras mensuales de control se procedió enviándolas al mismo laboratorio del Instituto de Oceanología y analizándolas dentro de la semana de obtenidas.

Las muestras para análisis de fosfato y nitrato, aquellas para fósforo total y nitrógeno total y aquellas para nitrito fueron transferidas a tres frascos separados de polietileno de alta densidad preacondicionados para eliminación de hongos y bacterias y preservadas mediante congelación y oscuridad. Todas las muestras congeladas de nutrientes procedentes de los lagos Chapo, Popetán y San Antonio fueron empacadas en cajas de Aislapol y expedidas por vía aérea, coordinando el retiro desde aeropuerto inmediatamente al arribo del vuelo para su traslado a los laboratorios de química de la Escuela de Ciencias del Mar de la UCV (fosfato, nitrato, fósforo total y nitrógeno total) e Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso (nitrito), donde se procedió posteriormente a sus respectivos análisis químicos.

Durante la campaña de verano y para contrarrestar las altas temperaturas ambientales de exposición durante los traslados al aeropuerto de Puerto Montt, las muestras procedentes del lago San Antonio fueron almacenadas temporalmente, en cámara frigorífica de la pesquera "Yadrán" de Quellón, en tanto las del lago Chapo lo fueron en cámara frigorífica de la pesquera "Chisal" de Chamiza. Todas las muestras para determinación de turbidez y pH fueron analizadas mediante equipo portátil en laboratorio de terreno el mismo día de obtenidas (nefelómetro y peachímetro, respectivamente) y aquellas para análisis de alcalinidad fueron expedidas por vía terrestre al Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso al final de cada campaña.

En el caso de aquellas muestras provenientes del lago Yelcho, debido a la imposibilidad de establecer una cadena de frío para el traslado del elevado volumen de muestras obtenidas, en

lugar de congelar, se procedió a preservarlas mediante la adición de ácido sulfúrico 4,5 M y almacenamiento en oscuridad.

Métodos de análisis químico

Fosfato soluble u ortofosfato: Para la determinación de fosfato soluble se utilizó el método colorimétrico de hexamolibdato y tartrato antimónico de potasio con reducción mediante ácido ascórbico de Strickland y Parsons (1968), empleando autoanalizador de nutrientes.

Fósforo total: El fósforo total fue analizado mediante el método de oxidación con persulfato en medio alcalino (Valderrama, 1981) acoplada a determinación espectrofotométrica con autoanalizador de nutrientes tras acidificación y formación de complejo molibdofosfórico reducido con ácido ascórbico.

Amonio: La determinación de amonio se realizó mediante el método colorimétrico de azul de indofenol añadiendo citrato como complejante y utilizando nitroprusiato como catalizador en las forma indicada por Prado (1995).

Nitrito: El nitrito fue determinado a través del método colorimétrico de diazotación con sulfanilamida y acoplamiento con n-naftiletilendiamina, siguiendo el procedimiento indicado por Prado (1995).

Nitrato: La determinación de nitrato se realizó mediante equipo autoanalizador de nutrientes utilizando el método colorimétrico de Strickland y Parsons (1968), consistente en reducción a nitrito mediante columna de cadmio seguida de diazotación en la forma descrita para nitrito.

Nitrógeno total: El nitrógeno total fue analizado mediante el método de oxidación a nitrato con persulfato en medio alcalino, acoplado a determinación colorimétrica con autoanalizador de nutrientes. y a equipo autoanalizador.

Oxígeno disuelto: El estudio de las concentraciones de oxígeno disuelto presente en la columna de agua se efectuó realizando perfiles verticales in situ con un Oxigenómetro YSI Modelo 57 equipado con sensor modelo 5739. La información proveniente del perfilador fue contrastada y calibrada contra Winkler de muestras discretas obtenidas de la misma columna de agua. La determinación del oxígeno disuelto de muestras de agua tomadas desde botellas oceanográficas se efectuó con el método de Winkler modificado por Carrit & Carpenter (1966), empleando bureta digital de pistón.

Alcalinidad: La alcalinidad fue determinada por valoración potenciométrica, siguiendo la técnica del Standard Methods (1995).

Clorofila: Las muestras para análisis de clorofila de las aguas de los lagos fueron filtradas en terreno (1 litro en cada caso), agregando previamente carbonato de magnesio como preservante. El volumen a filtrar fue ensayado con aguas del lago Chapo en cuanto a los resultados de clorofila obtenidos, contrastándose los valores correspondientes a 1, 2 y 3 litros de una mismo nivel de profundidad y estación. Este ensayo se efectuó con los dos niveles de profundidad de muestreo de clorofila (0 y 25 m). Los resultados mostraron la inexistencia de diferencias para los volúmenes mayores respecto a 1 litro de filtrado en condiciones de primavera. Los filtros empleados fueron de membrana de acetato de celulosa, con 0,45 µm de porosidad. Los filtros fueron doblados por la mitad con el filtrado en la cara interior y envueltos en lámina de aluminio para su preservación. Las láminas de aluminio con los filtros fueron mantenidas en cajas plásticas con agente desecante (silicagel) hasta su análisis en el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso, donde se empleó el procedimiento de extracción con acetona y determinación espectrofotométrica recomendado por Lorenzen & Jeffrey (1980).

Carbono orgánico particulado (COP): Las muestras para análisis de COP de las aguas de ríos tributarios fueron filtradas en terreno (1 litro en cada caso). Los filtros empleados fueron de fibra de vidrio GF/C, precalcinados a 450 °C. Los filtros fueron doblados por la mitad con el filtrado en la cara interior y envueltos en lámina de aluminio para su preservación. Las láminas de aluminio con los filtros fueron mantenidas en cajas plásticas con agente desecante (silicagel) hasta su análisis en el Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso. El análisis de COP se realizó por digestión húmeda con dicromato siguiendo el método indicado por Parsons et al. (1984).

Procesamiento de la información analítica obtenida

Los resultados de los análisis fueron graficados en forma de distribuciones horizontales, usando el método de interpolación Kriging con variograma lineal y una anisotropía de 1,0 con efecto Nugget 0 en error de varianza. Además, para cada lago se confeccionaron secciones verticales para las estaciones comprendidas a lo largo de los ejes longitudinales principales del cuerpo de agua (dos secciones para el lago Chapo, dos para el Popetán, una para el San Antonio y una para el Yelcho). El cálculo de isolíneas de las secciones verticales se efectuó mediante método Kriging con variograma cuadrático, excepto por las de oxígeno disuelto en los lagos Chapo y Yelcho (variograma lineal), teniendo todas una anisotropía de 0,1 con efecto Nugget 0 en error de

varianza. Todas las secciones y sus correspondientes cálculos se realizaron empleando el software Surfer®6.0.

APORTE DE QUIMIOTERAPEUTICOS Y PERSISTENCIA DE ELLOS EN EL AMBIENTE

Por bastar una frecuencia cuatrimestral para una apropiada caracterización de la presencia de quimioterapéuticos en términos del objetivo del proyecto, el muestreo se efectuó conjuntamente con aquel de tipo intensivo programado para los meses representativos de condiciones de verano, invierno y primavera (deshielos). Se obtuvieron muestras de fondo marino y de aguas desde una ubicación central de cada conjunto de sistemas de balsas-jaula y en estaciones situadas en la dirección de la corriente predominante, destinadas a establecer la dispersión.

El muestreo de aguas para análisis de quimioterapéuticos se efectuó en los lagos Chapo, Popetán y San Antonio, siendo obtenidas con botellas Niskin de PVC a 0, 6 y 20 m de profundidad. El volumen de agua para análisis de quimioterapéuticos fue de 500 mL por muestras. Las muestras tomadas con las botellas oceanográficas de inversión fueron transferidas inmediatamente a frascos opacos de polietileno prelavados con éter y congeladas para su inmediato traslado por vía aérea hasta Viña del Mar, donde se procedió a su análisis en el Laboratorio de Control de Calidad de la Escuela de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso. El número total de muestras de agua tomadas para análisis de quimioterapéuticos durante el proyecto ascendió a 179.

Las muestras de sedimento se obtuvieron en forma de una fracción de aquellos recolectados con draga desde el fondo. Tales fracciones de sedimentos fueron transferidas a mangas de polietileno oscuras prelavadas con éter y una vez selladas y rotuladas, congeladas para su traslado al mismo laboratorio indicado precedentemente. Adicionalmente, para obtener una idea de la persistencia, sacando partido del diseño de la draga Lenz, en el tren de balsas se realizó una sección de una réplica de los sedimentos, separando en tres segmentos: entre la superficie del sedimento y los 2 cm, desde los 2 y hasta los 4 cm y bajo los 4 cm. De modo similar se procedió con los sedimentos bajo la balsa del lago San Antonio. En este caso, adicionalmente, para estimar la dirección dominante de la dispersión se tomaron réplicas orientadas hacia los principales puntos cardinales.

El análisis se efectuó extrayendo los agentes quimioterapéuticos con solvente orgánico. En el caso de eritromicina y oxitetraciclina la extracción se ejecutó con éter desde medio previamente alcalinizado. A su vez, la extracción de sulfametoxazol/trimetoprima se efectuó con éter desde medio ligeramente acidificado. Para la identificación y cuantificación se empleó cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La configuración del equipo utilizado estuvo constituida por una bomba de baja presión, columnas de fase reversa C-18 (RP-18) y detector ultravioleta conectado a integrador. Los sistemas eluyentes utilizados estuvieron constituidos por acetonitrilo, trietilamina, fosfato monosódico, fosfato dipotásico, tetrahidrofurano, ácido fosfórico y agua, combinados adecuadamente según se requirió para obtener una óptima resolución de los Se utilizaron estándares certificados de eritromicina, oxitetraciclina peaks. sulfometaxol/trimetroprima con el objeto de identificar adecuadamente los analitos por comparación de los tiempos de retención. La cuantificación se realizó por estándar externo (curva de calibración).

DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO

El balance hídrico de los lagos estudiados se estableció como variación de su volumen a partir de los ingresos y egresos de agua , como ΔV = ingresos - egresos. Esta relación fue utilizada en el presente estudio en su forma expandida, que se representa por medio de la ecuación:

$$\Delta V = Q_{af} - Q_{ef} + P \cdot A_s - E \cdot A_s + G$$

donde ΔV es la variación del contenido de agua del lago en m3. Qar es el aporte de agua al lago por los afluentes en m3, Qef es el egreso de agua del lago por su efluente en m3, P es la precipitación en m, E es el agua evaporada en m, A, es el área superficial del espejo de agua del lago y G es el flujo de agua por escurrimiento subterráneo en m3. El balance fue realizado sin asumir que la precipitación compensa la evaporación. El aporte por afluentes y por precipitación, así como el egreso por el efluente fue medido directamente en las formas señaladas previamente en las correspondientes secciones de ingreso de fósforo y nitrógeno. A su vez, la evaporación fue calculada a partir de la información meteorológica (velocidad del viento, temperatura de punto de rocío) y condiciones del lago (temperatura del agua) medidas directamente.

DETERMINACION DEL BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO

La metodología empleada para calcular el balance de P y N consistió en la suma de los flujos de ingreso y egreso. Cada uno de estos fueron calculados a partir del producto entre el correspondiente flujo de agua y su concentración, medidos directamente en las formas detalladas previamente en este informe. La ecuación empleada ha sido:

$$M = (\Sigma V_{af}C_{af} + V_{pp}C_{pp} + V_{e}C_{e} + aC_{a}) - \Sigma V_{ef}C_{ef} \pm IS$$

en que M es el contenido másico total de P o N, V_{ar}C_{af} es la masa ingresada por un afluente del lago, V_{pp}C_{pp} es la masa suministrada directamente por las precipitaciones, V_eC_e es la masa ingresada por escurrimiento superficial, aC_a es la masa aportada por las fecas y el alimento no utilizado por los salmónidos cultivados, V_{ef}C_{ef} es la masa perdida con un efluente e IS es la masa intercambiada con el sedimento (que puede constituir importación o exportación neta, denominada por algunos autores carga interna).

El contenido total de nutriente (P y N) en el cuerpo de agua de cada lago fue obtenido a partir de dos aproximaciones. La primera procedió por suma de los valores de contenido por estrato, resultantes del producto individual del volumen por estrato de profundidad y de su concentración promedio por estrato. Tales concentraciones se obtuvieron a partir de aquellas determinadas directamente en la red de estaciones de muestreo del lago.

La segunda estimación se efectuó empleando el producto del volumen del lago y la concentración total, calculando esta última con la fórmula derivada del modelo de Dillon y Rigler (1974),

$$C_{tot} = \frac{\Sigma L \cdot (1-R)}{z^* f}$$

en donde ΣL es la suma de las cargas de ingreso al lago, R es el valor de la retención por sedimentación, z es la profundidad media y f la fracción del lago renovada anualmente. Este modelo sostiene que en estado de régimen la concentración de fósforo total en la masa de agua depende del aporte de P, de las dimensiones del lago, de la tasa de descarga del mismo y de la fracción que se pierde por acumulación permanente en los sedimentos.

La retención R fue estimada de acuerdo al modelo de Larsen y Mercier (1976) como:

$$R = \frac{1}{1+0.747 \cdot f^{0,507}}$$

El modelo de Dillon y Rigler se eligió, dentro del espectro de modelos disponibles, considerando su sencillez, versatilidad y generalidad de aplicación, a través de un proceso de análisis que tomó en cuenta la información existente para los lagos bajo estudio. Esta elección se efectuó sobre la base de un "trade-off" entre utilizar modelos de mayor complejidad y modelos más sencillos, que al incluir un menor número de variables, tienen una menor probabilidad de inducir a errores, sobre todo al considerar la carencia absoluta de información previa para casi todos los lagos a estudiar. El modelo aplicado en esta investigación ha sido ampliamente usado a nivel mundial y sus resultados son susceptibles de comparación con los desarrollados en otros lagos de Chile y el mundo. Además, su simplicidad y uso universal facilita el acceso para efecto de control posterior de las predicciones por parte de técnicos y administradores.

Los supuestos básicos del modelo seleccionado y las restricciones para una aplicación correcta del mismo son:

- 1) Suministro constante de carga: Una carga con crecimiento continuo no tiene solución de equilibrio dinámico ("steady state"). Por ende se requiere contar con la información de la carga máxima por lago en estudio, de modo de no sobrepasarla con las actividades de cultivo proyectadas. Se requiere también conocer adecuadamente el volumen del lago y la superficie de su cuenca de escurrimiento. Para ello se debe contar con cartografía y batimetría del lago. También se necesita tener estimaciones del coeficiente de retención.
- 2) Mezcla uniforme del material en el lago. Se debe considerar por lo tanto la fracción del material que es suministrada al lago durante el período de estratificación y la fracción de la descarga anual que ocurre en esta época El modelo permite ignorar la estratificación en el caso de que el coeficiente de "washout" efectivo sea menor que el coeficiente de recambio. De allí lo imperioso del muestreo intensivo realizado en verano. Idealmente se debería conocer la productividad vegetal del lago antes de instalar las balsas jaulas, utilizando mediciones de concentración de clorofila a con énfasis en los períodos de máxima actividad algal (primavera), de modo de relacionar la concentración de clorofila con aquellas de fósforo y nitrógeno.
- 3) Concentración promedio del efluente igual a la concentración promedio del lago. Este aspecto se resuelve con una apropiada estimación del coeficiente de "washout" efectivo. Por lo demás, la evidencia experimental general es que la concentración de salida es menor que la del lago, lo que permite establecer una solución aproximada cuando la concentración de salida es una fracción constante de la del lago.

4) Proceso de sedimentación con dependencia de primer orden sólo de la cantidad de material presente en el lago y de la carga. Esta es la parte más compleja de resolver no sólo para el modelo propuesto sino para todo tipo de modelo de nutrientes, por cuanto los procesos físicos y químicos que intervienen en la columna de agua son de gran complejidad y desafortunadamente, todavía en considerable medida desconocidos. Podría considerarse la dependencia de la sedimentación de un elemento nutriente respecto de la concentración de otros elementos con los que reacciona, pero ello involucraría complicar el modelo con tantas ecuaciones diferenciales dependientes del tiempo como elementos se tomaran en consideración y requeriría conocer los exponentes diferentes de uno en varios términos de cada ecuación, para posteriormente resolver estas simultáneamente y en el presente se dista de poder medir cuantitativamente de modo adecuado estos procesos. Por lo mismo, en el estado actual del conocimiento universal al respecto y considerando adicionalmente el desconocimiento absoluto de los lagos a estudiar, estimamos que el modelo de Vollenweider modificado por Dillon y Rigler que se aplicó brinda una representación suficientemente apropiada del proceso.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga para los lagos Chapo y Yelcho fue calculada considerando el balance de masas descrito en la sección precedente y empleando la fórmula de carga crítica de Vollenweider (1976):

$$L_c = 17 \cdot (z/\tau_w)^{0.6} \cdot z^{0.4}$$

La ecuación indicada considera separadamente la contribución de la carga hidráulica (z/\timesw) y de la profundidad media (z) del lago, siendo aplicable a lagos grandes y profundos. Dado que esta fórmula subestima considerablemente la carga crítica de lagos cuya profundidad media es menor de 20 m, en el caso de los lagos Popetán y San Antonio se aplicó la ecuación derivada independientemente por Vollenweider (1976) y Larsen y Mercier (1976):

$$L_c = 10 \cdot (z/\tau_w) \cdot (1 + \sqrt{\tau_w})$$

En el caso de los lagos Chapo y Yelcho las discrepancias entre los resultados de ambas ecuaciones es menor de 3% (ligeramente mayor para la segunda de ellas), prefiriéndose el más bajo de ambos valores en pro de la conservación de la condición trófica actual.

Para sensibilizar el modelo aplicado, se introdujeron variaciones en la estimación del coeficiente de retención de nutrientes R en forma de valores aumentados y disminuidos en un 5%, 10%, 20% y se observó su efecto sobre las estimaciones de concentración de fósforo. Estas estimaciones se contrastaron con las concentraciones de fósforo y relaciones con productividad primaria (Clorofila a) estimadas para cada lago como indicadores del nivel de trofía.

RESULTADOS

LAGO CHAPO

LAGO CHAPO

ANTECEDENTES DEL LAGO

El lago Chapo, ubicado en la X Región a 241 m s.n.m. y a unos 50 km al oriente de Puerto Montt, es el mas sureño del conjunto perteneciente al sistema lacustre de barrera morrénica extendido en el sur de Chile a lo largo de aproximadamente 340 km en sentido N-S. Es un lago cordillerano situado en los Andes, cuyos rasgos morfológicos denotan un origen glaciar, aun cuando ha sido influenciado por la actividad del centro volcánico de Calbuco, de donde han provenido los materiales que conforman su orilla noroeste. El sustrato geológico de la cuenca está formado mayoritariamente por rocas intrusivas del jurásico superior - terciario inferior. El lago presenta una forma elongada, encontrándose en él la génesis de la hoya del río Chamiza, que nacía en su extremo noroeste, escurriendo en dirección poniente. Actualmente, como resultado de una presa asociada a la construcción de la Central Canutillar, que aprovecha el desnivel entre el lago y el mar para generación hidroeléctrica, el lago desagua directamente hacia el estuario de Reloncaví, a través de una bocatoma que conduce mediante un túnel de aducción hasta la casa de máquinas de la central.

El relieve del lugar es montañoso, con montes de laderas empinadas que alcanzan entre 1400 y 1800 m de altura. Las orillas del lago, formadas por roca granítica, son escarpadas (Fig. 1), haciéndolas casi inaccesibles en gran parte de su perímetro, con la excepción de su orilla noroeste y de los llanos aluviales de las desembocaduras los ríos mayores, particularmente los de los ríos Negro (en orilla norte), Colulí (en extremo este), Sur, León (junto al anterior) y Pitote. Su batimetría es relativamente abrupta, extendiéndose en un perfil muy pronunciado hasta una profundidad máxima de 298 m. Todas las orillas están cubiertas por una espesa vegetación, consistente en su casi totalidad por bosques de tipo pluvial valdiviano mayormente no alterados por el hombre y legalmente protegidos. La vegetación se extiende hasta la línea de las nieves, ubicada aproximadamente a unos 1200 m de altura s.n.m. La hoya de drenaje actual del lago tiene 310 km2; la superficie de su espejo de agua tiene 45 km2.

El clima del lago y su hoya es templado marítimo, con temperaturas moderadas (medias mensuales entre 5,8 °C y 13,1 °C) y precipitaciones abundantes, cuya media anual es de 3068 mm. El patrón de precipitación se caracteriza por la presencia de lluvias durante todo

el año, pero con una marcada estacionalidad en su abundancia, concentrándose entre abril y septiembre. El mínimo se presenta en el mes de febrero.

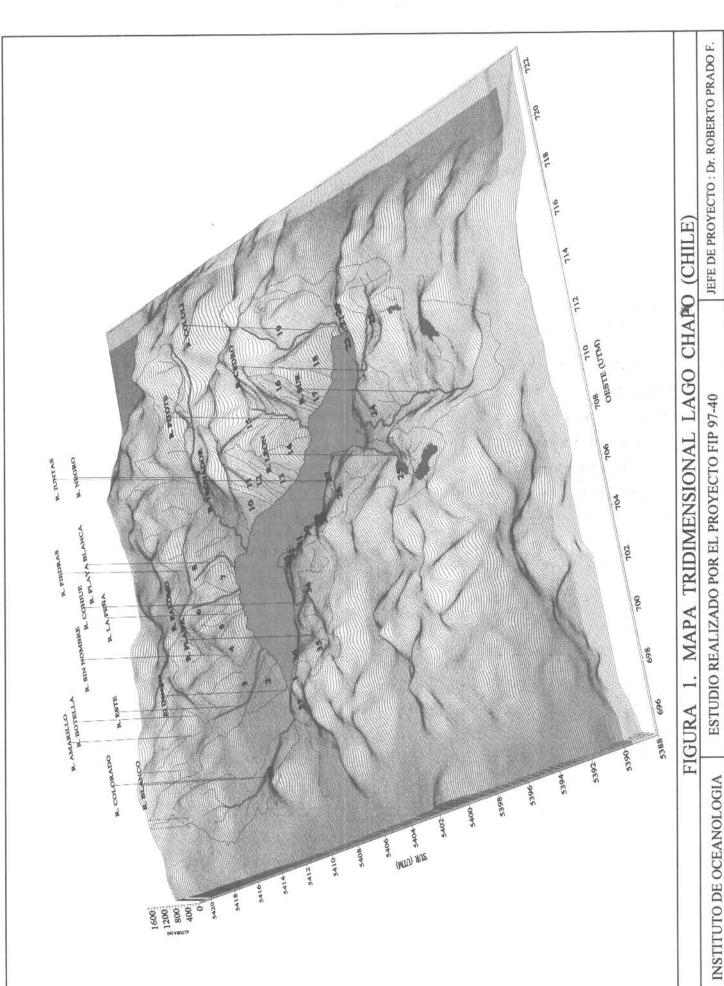
1. ESTIMACIÓN DE APORTES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO

1.1 MORFOMETRIA DEL LAGO Y CARTOGRAFIA DE LA RED DE DRENAJES

El lago Chapo tiene una cuenca de drenaje, determinada a partir de su mapa base digital, de 310,48 km². El sustrato geológico de esta hoya hidrográfica está formado principalmente por rocas intrusivas del Jurásico superior - Terciario inferior en las cuencas del sur y sudeste del lago y por rocas del Paleozoico superior y Cuaternario volcánico en las cuencas del norte. Su forma es elongada, similar a la de un bastón cuyo eje principal tiene orientación SE-NW. Los principales parámetros morfométricos se entregan en la Tabla 1.

Los resultados del sondaje efectuado en este estudio se entregan en forma de proyección batimétrica planar escala 1: 80.000 en la Figura 2. La batimetría del lago se caracteriza por tener pendiente abrupta, particularmente en sus riberas noreste y sudoeste. configurando una cuenca en forma de U con fondo relativamente plano, que en su sector norte asciende. En este último sector se encuentra un islote normalmente ahogado, habiendo emergido en octubre de 1998 como consecuencia del descenso de nivel de las aguas. Las zonas someras son reducidas, representando un 16% del área total del lago y se concentran junto a la desembocadura de los ríos León y Sur y en el margen noroeste del lago. La profundidad media es alta y las profundidades máximas se encuentran a más de 50 m por debajo del nivel del mar.

El total de subcuencas que desembocan en el lago Chapo asciende a 38 y se muestran en la Figura 3. La Tabla 2 muestra los valores de superficie y porcentajes del área total de la cuenca del lago que representa cada una de ellas. Las cuatro cuencas más grandes (ríos Negro, Sur, Blanco y Este) representan el 50,6 % de la superficie total de la hoya; los ríos que llegan desde ella al lago deberían aportar cerca de la mitad del caudal de entrada. Las siguientes seis cuencas mas grandes contribuyen con un 29,8% adicional, representando el conjunto de 10 cuencas más importantes el 80,4% de la superficie. Los ríos originados en ellas representan la fracción más importante del caudal que llega al lago Chapo, con la excepción de un curso de agua sin nombre correspondiente a la cuenca Nº 4, cuyo aporte carece de importancia. Su lugar es tomado por el río Lenca, que desplaza incluso a otros dos tributarios en la cuantía de sus aportes.



ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 97-40

MAPA REALIZADO EN SOFTWARE: TABLA SUMMASKETCH III, DIBUJO DIGITAL: RENE ASTUDILLO C.

ESCALA 1: 160.000 en X.Y

UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

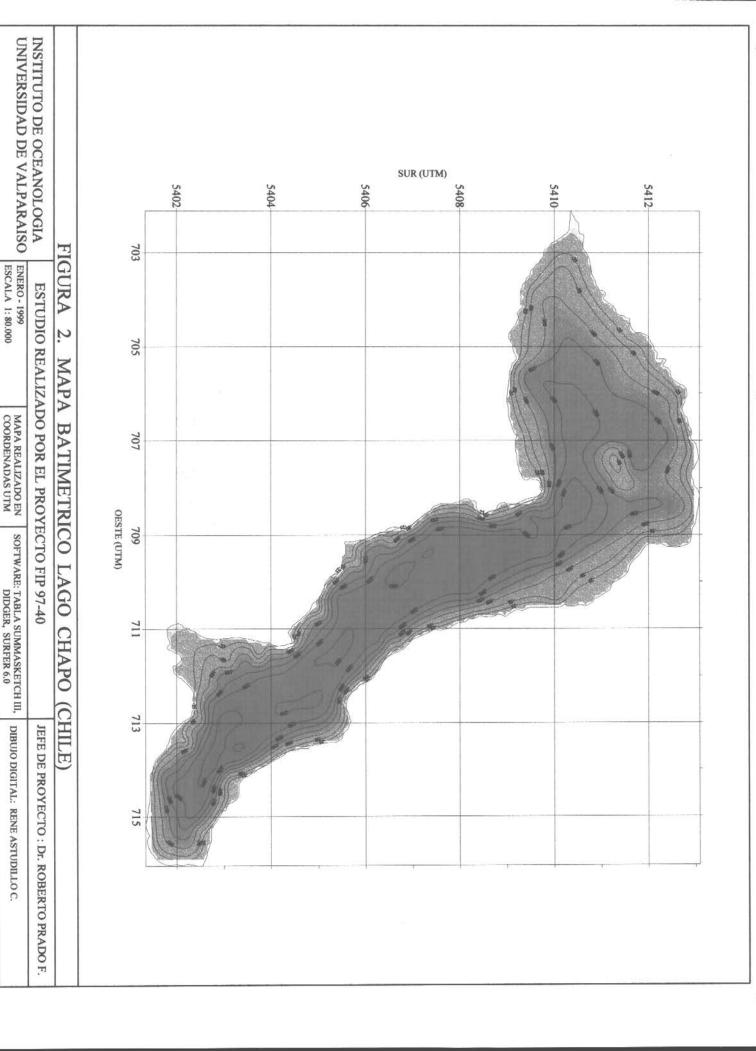
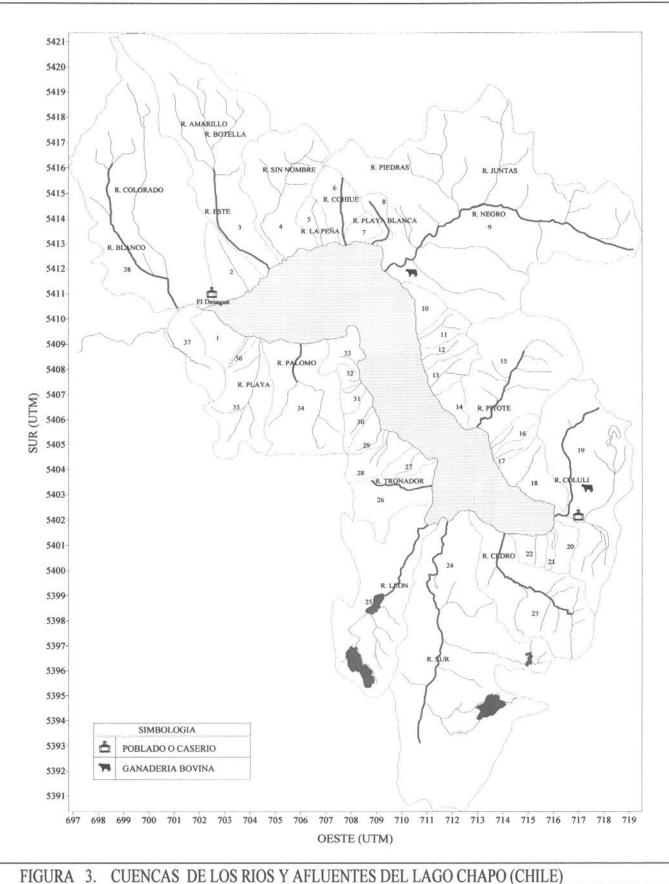


Tabla 1:					
Principales parámetros morfométricos del lago Chapo.					
Longitud máxima	19 km				
Ancho máximo	4,3 km				
Ancho medio	2,4 km				
Línea de costa	47,1 km				
Area superficial	45,4 km²				
Desarrollo línea de costa	1,97				
Zonas someras (≤25 m)	7,5 km ²				
Altura s.n.m.	241 m				
Profundidad máxima	298 m				
Profundidad media	151 m				
Profundidad de criptodepresión	47 m				
Relación profundidad media a máxima	0,51				
Volumen	6,86 km ³				
Area de drenaje	310 km^2				
Relación área de drenaje a área superficial	6,84				

Tabla 2.- Superficies de las cuencas hidrográficas que terminan en el lago Chapo, X Región. Los números de las cuencas corresponden a los que aparecen en la Figura 3.

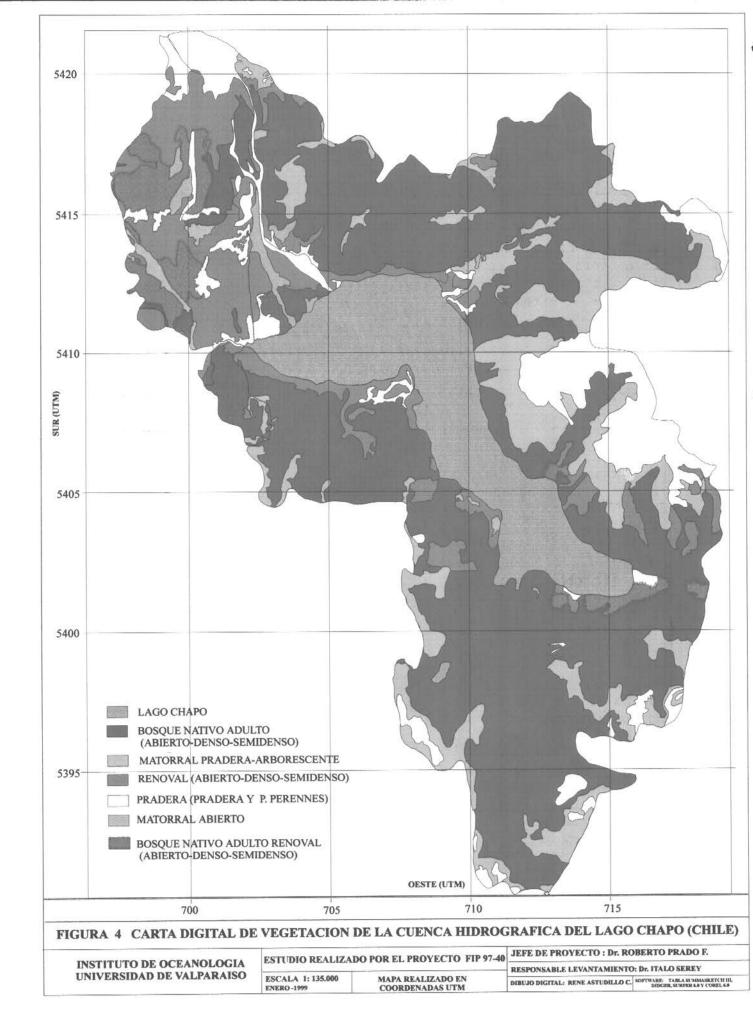
Número de la cuenca	Superficie / km ²	Porcentaje de la cuenca		
1	2,52	0,81		
2	3,97	1,28		
2 3	22,82	7,35		
4	11,87	3,82		
5	1,71	0,55		
6	3,69	1,19		
7	1,22	0,39		
8	1,50	0,48		
9	59,25	19,08		
10	1,80	0,58		
11	1,86	0,60		
12	1,43	0,46		
13	2,07	0,67		
14	1,28	0,41		
15	16,20	5,22		
16	1,22	0,39		
17	1,07	0,34		
18	3,80	1,22		
19	19,95	6,43		
20	1,54	0,50		
21	0,50	0,16		
22	1,51	0,49		
23	14,26	4,59		
24	43,29	13,94		
25	17,88	5,76		
26	5,38	1,73		
27	1,40	0,45		
28	2,65	0,85		
29	1,36	0,44		
30	1,35	0,43		
31	0,877	0,28		
32	0,647	0,21		
33	1,96	0,63		
34	12,31	3,96		
35	7,85	2,53		
36	0,397	0,13		
37	4,41	1,42		
38	31,675	10,20		
	Total 31,048	100		



INSTITUTO DE OCEANOLOGIA
UNIVERSIDAD DE VALPARAISO
ENERO - 1999
ESCALA 1: 150.000

MAPA REALIZADO EN SOFTWARE: TABLA SUMMASKETCH III.
DIDUGER, SURFER 6.0

DIBUJO DIGITAL: RENE ASTUDILLO C.



1.2 DIAGNOSTICO DE USO DEL SUELO

Esta sección del informe incorpora los resultados de los datos provistos por un análisis de la vegetación de las cuencas hidrográficas del Chapo. La vegetación de esta parte del país corresponde a la Región del Bosque Laurifolio (Gajardo, 1994) y que otros autores denominan Bosque Valdiviano (Veblen et al. 1995). En este trabajo se hace una descripción de los distintos tipos de bosques basados primariamente en la fisionomía de la vegetación, sustentado en los datos obtenidos por el "Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile". La vegetación existente en el área contempla todas las superficies terrestres, con especies nativas e introducidas, las que en conjunto forman las distintos tipos vegetacionales que se describen a continuación. Los resultados en términos de superficies vegetacionales del lago Chapo se indican en la Tabla 3 y se ilustran en la Figura 4.

Tabla 3. Tipos de vegetación del lago Chapo, X Región, con sus superficies en hectáreas y el porcentaje dentro de la cuenca hidrográfica del lago.

Tipo de Vegetación	Superficie en hectáreas	Porcentaje de la superficie de la cuenca		
Bosque Nativo Adulto				
Denso	9389,51			
Semidenso	7417,93			
Abierto	66,41	68,86		
Bosque Nativo Renoval				
Denso	120,05			
Semidenso	93,14			
Abierto	67,90	1,14		
Bosque Nativo Achaparrado		-,		
Denso	395,31			
Semidenso	2938,11			
Abierto	876,48	17,18		
Renoval	*			
Denso	858,23			
Semidenso	781,39			
Abierto	411,69	8,37		
Matorral Arborescente		1,500		
Semidenso	257,93	1,05		
Matorral				
Denso	21,14			
Abierto	202,5	0,91		
Matorral-Pradera	*	7.250.50		
Regular-denso	31,32	0,12		
Praderas Perennes	417,25	1,70		
Terrenos Húmedos	157,65	0,64		
Total área con Vegetación	24503,94	100		
Total Área sin Vegetación	2891,4			
	Total 27394,2			

Los tipos dominantes de vegetación en las cuencas en torno al lago Chapo son bosques o regeneración natural, bosque achaparrado y estadios sucesionales de perturbaciones de origen antrópico. La vegetación está dominada en un 70% por bosques nativos adultos. Las partes altas están cubiertas por bosques naturales achaparrados que alcanzan alrededor del 17% de la superficie de la cuenca. Los renovales cubren un 8 % aproximadamente del área. Así, estos tres tipos de vegetación representan el 95 % de la vegetación de la cuenca. Los matorrales, praderas y terrenos húmedos solamente alcanzan valores cercanos al 5 %. Un diez por ciento de la superficie total de la cuenca se encuentra desprovista de vegetación, (áreas sin vegetación) y se encuentran en las partes altas del relieve, donde se cubren con frecuencia por nieve durante la temporada invernal.

A) Bosques Nativos adultos:

Incluye a los bosques que presentan árboles que alcanza la máxima altura dentro de las condiciones locales y los individuos alcanzan una altura máxima.

a.1) Denso

Son bosques con una cobertura mayores que el 75% de la superficie del suelo, y con alturas variables entre 8 y 32 metros.

- Bosque de Nothofagus betuloides principalmente asociado a Dasyphyllum diacanthoides, Fitzroya cupressoides, Laurelia philippiana, y Podocarpus nubigena, con árboles que varían entre 8-12 metros de altura.
- Bosques de Nothofagus nitida con especies laurifoliadas como Eucryphia cordifolia, Laurelia phillippiana, Weinmannia trichosperma, y acompañadas por la gimnosperma Saxegothaea conspicua.
- Bosques de Laurelia phillippiana, con Eucryphia cordifolia, Drimys winteri, Weinmannia trichosperma.
- Bosques de Fitzroya cupressoides, con Nothofagus nítida y Nothofagus betuloides.
- Bosques de Nothofagus dombeyi y acompañados por Dasyphyllum diacanthoides, Podocarpus nubigna y Laurelia philippiana.

a.2) Semidenso

Bosques con coberturas comprendidas entre 50 -75 % de la superficie del suelo y con alturas variables entre 8-32 metros.

- Bosques de Laurelia philippiana, con Dasyphyllum diacanthoides y Nothofagus nítida.
- Bosques de Nothofagus dombeyi, con N. betuloides, Dasyphyllum diacanthoides y Nothofagus nitida..
- Bosques de Fitzroya cupressoides con N. betuloides, y a veces con N. nitida y P. nubigena.
- Bosques de Nothofagus nitida con Laurelia phillippiana, Eucryphia cordifolia, Drimys winteri, y Aextoxicon punctatum.
- Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio y Fitzroya cupressoides.

38 INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

• Bosques de Eucryphia cordifolia con N. dombeyi y A. punctatum y Laurelia phillipiana.

a.3) Abierto

Bosques con coberturas comprendidas entre 25-50% de la superficie del suelo y alturas variables entre 8 -32 metros de altura.

- Bosques de Nothofagus antarctica
- Bosques de Nothofagus dombeyi

B) Bosque Nativo Renoval

Se caracterizan por presentar árboles jóvenes que se encuentran en un período de crecimiento intenso.

b.1) Denso

• Bosque de Drimys winteri con Amomyrtus luma, N. Nitida, Embothrium coccineun.

b.2) Semidenso

Bosques de Nothofagus dombeyi con P. nubigena, Eucryphia cordifolia, Drimys winteri.

b.3) Abierto

 Bosques de Nothofagus nitida con Embothrium coccineun, Drimys winteri, Laurelia phillippiana, Chusquea quila

C) Bosque Nativo Achaparrado

Generalmente se encuentra en las partes más altas de los elementos del relieve, donde los árboles adultos alcanzan alturas de entre 4-8 metros.

c.1) Denso

- Bosques de Nothofagus betuloides con Drimys winteri, Fitzroya cupressoides, N. pumilio, N. antarctica, y P. nubigena.
- Bosques de Nothofagus pumilio con N. betuloides y F. cupressoides.

c.2. Semidenso

- Bosques de Nothofagus pumilio y a veces acompañado por N. betuloides
- Bosques de Nothofagus betuloides.

c.3. Abierto

Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio.

D) Renoval

Son bosques que han sufrido perturbaciones naturales o de origen antrópico que han provocado un proceso de regeneración de los bosques y que presentan altas densidades de

árboles jóvenes, donde el proceso de competencia es muy fuerte, y origina altas mortalidades entre los individuos.

d.1) Denso

- Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio.
- Bosques de Nothofagus dombeyi con N. betuloides L. phillippiana, Embothrium coccineum, Aextoxicum punctatum.
- Bosques de Nothofagus nitida con Drimys winteri.

d.2) Semidenso

- Bosques de Nothofagus betuloides con F. cupressoides o con N. Pumilio o N. dombeyi.
- Bosques de Nothofagus dombeyi con E. cordofolia, L. phillippiana, Lomatia hirsuta y Amomyrtus luma.
- Bosques de Nothofagus nitida con Drimys winteri y E. cordifolia.

d.3) Abierto

• Bosques de Nothofagus dombeyi con Chusquea quila y N. betuloides.

E) Matorral arborescente.

Formado por plantas de árboles bajos y plantas jóvenes de especies arbóreas y especies arbustivas. Estas plantas frecuentemente presentan varios ejes desde la base, determinando un aspecto de matorral.

e.1) Semidenso

- Matorral de Embothrium coccineum con Chusquea quila, y Eucryphia cordifolia.
- Matorral de ejemplares jóvenes de Eucryphia cordifolia.

F) Matorral

f.1) Denso

Matorral formado casi exclusivamente por Chusquea quila.

f.2) Abierto

Matorral de Nothofagus dombeyi, acompañado de Chusquea quila, Luma apiculata y Amomyrtus luma.

G) Matorral - Pradera

g.1) Regular -denso

 Vegetación dominada por la bambusácea Chusquea quila, y por plantas arbustivas de Eucryphia cordifolia y Raphithamnus spinosus, y por Holcus lanatus entre las especies herbáceas.

H) Praderas perennes.

Vegetación herbácea dominada por Holcus lanatus.

Vegetación de áreas inundadas.

- Bosques húmedos dominados por Drimys winteri, Amomyrtus luma, Tepualia stipularis y Nothofagus nitida.
- 40 INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

La vegetación reseñada provee de información básica respecto de la cobertura de la cuenca y en consecuencia del régimen hídrico y de la calidad del agua que se genera en cada una de las subcuencas. Los cambios vegetacionales producto de intervenciones, particularmente en zonas de laderas con pendiente acentuada tornan sensibles al suelo respecto del peso de la lluvia, pudiendo contribuir a alterar la composición química del agua e influir en su calidad o aptitud para la realización de hidrocultivos.

En relación a los balances de agua para el Lago Chapo, los bosques tienen un efecto de amortiguar la velocidad de entrada al lago, haciendo una descarga más continua y reduciendo las fluctuaciones, Esta caracterización del uso del suelo indica que para mantener las características actuales de calidad del agua en la cuenca hidrográfica del lago Chapo, por su relación con la existencia de bosques adultos en zonas de laderas, es necesario considerar la mantención de los patrones de vegetación actuales de las cuencas. Su desforestación puede determinar un aumento de la carga de nutrientes exportada al lago, con la consecuente disminución de transparencia y aumento de niveles de clorofila.

Aguas residuales

El lago Chapo carece de descargas directas de aguas residuales. La población permanente de los terrenos inmediatamente circundantes a la orilla no supera las 30 personas, concentrándose las dos terceras partes en el poblado de lago Chapo. Las casas del lugar poseen fosas sépticas que descargan a drenajes internos alejados de la orilla. La población flotante adicional de la temporada de verano, por lo constatado directamente en terreno, es inferior en su conjunto al centenar de personas y se presenta sólo en enero y febrero, concentrada en un 75% en la villa Los Nevados de la Policía de Investigaciones de Chile, que posee unas 20 cabañas en la orilla norte del lago, todas con fosas sépticas que descargan a drenajes internos. Considerando que el fósforo fecal que enriquece el agua residual alcanza un máximo de 2 g por habitante al día, el aporte de un máximo de 33 kg al año por este concepto a sistemas de fosas sépticas que los retienen transforma en irrelevante tal aporte.

1.3 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS AFLUENTES

En la primera campaña intensiva de muestreo, efectuada en enero de 1998, se localizaron e investigaron la totalidad de los posibles cursos naturales de agua (tanto afluentes mayores como menores), considerando el estudio previo de la red de drenaje esperada. Fue posible efectuar la medición directa de sus caudales en un total de 26 tributarios del lago. La ausencia de medición en los otros cursos menores obedeció a encontrarse totalmente secos los mismos. En nueve de los diez principales caudales el muestreo se realizó en dos oportunidades distintas dentro del un lapso de 10 días, para registrar la variabilidad de corto período de su caudal y particularmente de sus concentraciones.

La exhaustiva inspección en terreno efectuada en enero permitió asimismo apreciar la existencia de dos cursos afluentes del lago no consignados en la cartografía del IGM, resultantes de la intervención efectuada por el proyecto hidroeléctrico de la central Canutillar. Uno de ellos (río Lenca) desemboca en el lago por un túnel construido para desviar sus aguas en dirección al mismo. El otro tributario del lago (río Blanco) es un antiguo afluente del río Chamiza, resultando su curso actual de la presencia de una presa que contiene las aguas del lago Chapo impidiendo su desagüe natural. El desagüe del lago no lo constituye el río Chamiza, como aun se indica en la cartografía oficial, sino que se encuentra bajo la superficie, a una profundidad aproximada de 30 m bajo el espejo natural de aguas, en un sector cercano a Colulí (extremo sudoeste del lago Chapo).

Los resultados de caudales afluentes obtenidos en enero se presentan en la Tabla 4. Esta permite apreciar que los once principales ríos, que constituyen el 72,1% de las cuencas naturales del lago, concentran en verano alrededor del 95% del caudal total de ingreso. Esta elevada cifra resulta gracias al aporte de alrededor de un 16 % que introducen los dos ríos introducidos artificialmente al lago (río Lenca, conducido a través de un túnel y río Blanco, desviado por la presencia de una presa que impide el desagüe del lago hacia el río Chamiza). El principal aporte individual de agua lo constituyó el río Sur, que representa en promedio cerca de un 42% del caudal afluente (en verano contribuyó casi un tercio y en invierno cerca de la mitad del total de aportes fluviales). La contribución individual de cada uno de los otros nueve caudales mayores osciló entre un 2,5 % y un 11%. Ninguno de los tributarios menores representó más del 0,9% del total y en conjunto no superaron el 3,5 %. Esta baja significancia cuantitativa de sus caudales, combinada con la similitud de concentraciones de elementos de

interés aportados por ellos, permitió restringir el muestreo a los afluentes principales en los muestreos posteriores.

Tabla 4. Establecimiento de la proporción de caudal de aporte de los ríos y esteros afluentes del lago Chapo (base enero de 1998). Los cursos de agua sin nombre se individualizan con el número de cuenca asignado en el mapa de ríos del lago.

Afluente	Caudal		Fracción		
	10	del caudal	de hoya	2°	del caudal
	m³/s	total		m³/s	total
río Sur	21.4	28.5%	13.94%	22.5	33.5%
río Tronador	10.2	13.6%	1.73%	7.2	10.7%
río Colulí	8.3	11.0%	6.43%	6.4	9.5%
río Lenca	7.5	10.0%	1.42%	8.1	12.1%
río Este	5.9	7.8%	7.35%	4.9	7.3%
río Blanco	4.9	6.5%	10.20%	nd	
río Pitote	3.3	4.4%	5.22%	4.7	7.0%
río Negro	3.0	4.0%	19.08%	4.4	6.6%
río León	2.9	3.9%	5.76%	5.1	7.6%
río Palomo	2.6	3.5%	3.96%	0.7	
río Cedro	2.1	2.8%	4.59%	0.2	0.3%
r29	0.6				
r16	0.5				
r33	0.3				
río Coihue	0.3			- 1	
río Playa blanca	0.2			- 1	
r11	0.2			1	
r13a	0.2				
r13b	0.2			1	
r35	0.1			- 1	
r36	0.1			- 1	
r28	0.1				
r27	0.07			1	
r12	0.05				
r18	0.04				
r17	0.008				
Suma once principales	72.1	96.0%	79.6%		
Suma resto tributarios	2.968	4.0%	20.3%		
Suma total afluentes	75.068				

De esta manera, considerando el procedimiento de selección indicado en el capítulo de metodología, durante las campañas de muestreo intensivo de invierno (junio) y primavera (noviembre), el muestreo de afluentes se restringió a un total de 13 cursos de agua (incluyendo 2 afluentes menores para establecer la variación en la proporción de carga

aportada) y se mantuvo el esquema de doble medición de caudal y concentraciones en un lapso de una semana. Por su parte, el muestreo de control mensual, realizado en cada uno de los meses restantes, se efectuó en el río Negro, en atención al tamaño de su cuenca, fácil accesibilidad, contribución significativa al caudal total y aporte significativo de compuestos de nitrógeno, conjuntamente con el río Este, atendiendo el mismo criterio, unido al relativo mayor aporte de fósforo de este último. El río Sur, no obstante su clara mayor contribución individual al caudal total, tiene un acceso más distante y peligroso, por lo cual no fue utilizado como opción de control mensual. El conjunto de información así obtenida fue complementada con aquella del registro diario de caudales medios totales de afluentes al lago durante 1998, adquirida para este uso específico a Endesa. Los resultados de cargas aportadas en forma diaria por vía fluvial se entregan en las tablas 5 (fósforo total), 6 (ortofosfato), 7(nitrógeno total), 8 (nitrato), 9 (nitrito), 10 (amonio) y 11 (carbono orgánico particulado, COP).

Por la considerable pendiente de la mayor parte de las laderas que circundan al lago Chapo, tanto los ríos como afluentes menores tienen una respuesta rápida a la precipitación, exhibiendo diferencias apreciables de caudal en el corto plazo (e.g. Tabla 4). Por otra parte, los caudales siguen un claro patrón estacional de variación asociado al régimen de pluviosidad, con un marcado máximo en invierno (Fig. 5). Cabe apreciar un máximo secundario del caudal entre octubre y noviembre, que se atribuye a los aportes de agua provenientes del deshielo de la cobertura de nieve de los montes circundantes.

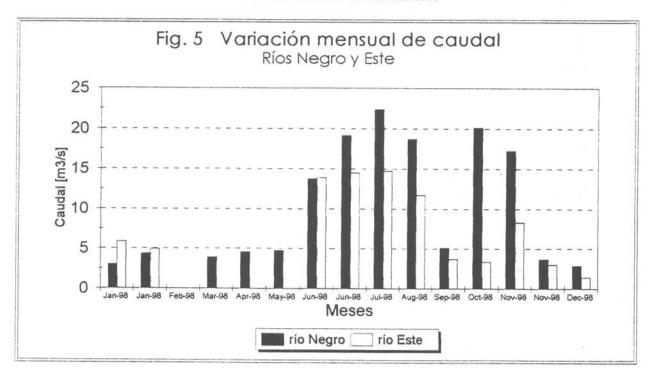


		Tabla 5.	CAR	A FLUVIA	GA FLUVIAL DIARIA DE FOSFORO	A DE FO	_	TOTAL A	AL LAGO	CHAPO	(en kg)	
Día	ENE-98	FEB-98	MAR-98	ABR-98	MAY-98	NOC-98	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DIC-98
1	15.639	5.669	3.243	5.417	3.239	22.715	155.050	61.037	19.339	7.613	5.168	4.837
7	15.040	4.222	13.094	5.417	0.875	22.657	184.169	73.630	5.072	18.594	15.638	4.948
co	13.662	7.056	6.486	5.540	3.239	6.949	184.449	42.238	5.072	13.272	12.215	9.451
4	9.407	2.171	62.347	5.478	0.832	3.796	75.180	20.305	0	14.956	5.168	2.724
20	7.130	7.538	34.263	5.478	10.198	26.219	57.960	29.645	19.001	13.272	13.759	0
9	5.752	0	36.221	0.800	7.834	44.437	38.710	72.063	12.848	13.204	0	12.008
7	8.748	0	39.525	5.355	37.903	38.306	46.060	136.293	18.258	16.708	13.289	2.780
œ	6.052	1.146	13.155	1.970	3.151	20.087	35.070	72.907	4.666	6.131	31.947	41.863
6	2.756	6.573	13.644	1.908	12.474	23.124	31.360	44.949	22.247	9.566	0	15.233
10	5.932	3.317	12.971	44.811	47.706	10.920	20.370	29.705	89.259	20.480	9.128	8.562
11	14.441	0	9.606	94.362	31.250	10.861	12.950	26.572	62.278	22.906	10.403	15.678
12	7.011	0	6.302	150.621	21.840	4.730	12.950	51.637	35.433	23.579	0	11.619
13	0	6.815	6.302	97.870	12.474	10.744	27.510	73.630	30.023	18.190	13.557	4.114
14	5.812	0	1.713	35.147	12.474	10.744	23.870	174.132	17.243	0.539	13.155	4.392
15	0	0.724	2.937	18.589	3.020	1.577	18.620	95.863	15.417	17.179	0.067	0.167
16	25.286	4.101	6.118	11.941	7.703	59.328	20.160	121.049	11.766	14.215	1.074	0.167
17	16.598	7.297	5.996	11.941	3.239	95.882	12.810	64.652	8.182	3.907	9.128	7.839
18	7.430	0.844	19.090	5.294	7.659	38.189	20.090	61.519	11.563	4.985	4.094	7.505
19	7.969	13.750	12.604	5.232	2.932	77.663	45.570	52.119	10.481	15.832	0	8.840
20	14.980	0	12.543	11.818	0.525	53.371	45.570	33.260	13.321	15.360	14.161	3.280
21	23.788	0.724	5.935	1.847	0.438	41.226	20.020	23.800	4.395	24.455	2.550	9.840
22	10.965	3.799	5.935	5.047	7.440	44.262	19.880	17.413	14.268	28.295	1.946	3.502
23	19.294	6.875	2.631	1.662	56.110	32.058	19.810	26.813	7.573	0.269	0	0
24	3.296	0.362	5.874	1.600	19.214	25.985	5.250	17.413	4.328	0.269	4.228	2.557
25	12.943	0.302	5.751	4.801	16.588	10.744	12.460	23.680	18.798	12.868	2.349	3.391
26	11.505	32.566	18.784	1.416	33.263	16.759	52.570	17.353	6.221	17.785	65.841	34.135
27	26.904	6.573	28.634	4.678	49.238	16.759	45.360	11.087	15.485	17.785	43.760	4.448
28	12.763	6.513	18.722	1.293	63.857	31.941	59.990	4.820	16.499	49.382	19.598	20.737
29	10.426		12.053	1.293	70.991	31.999	38.150	17.353	6.897	21.154	15.302	0
30	14.201		2.203	1.231	47.531	13.781	19.950	3.434	11.428	8.893	10.202	1.112
31	10.306		5.445		24.116		27.230	4.760		12.329		2.947

TOTAL AÑO 1998: 7384 kg

1505.1

1389.1

847.8

619.4

549.9

430.1

346.0

1		Tabla 6		CARGA FLUVIAL		DIARIA DE	: FOSFATO AL	- 1	LAGO CHAPO (en	APO (en	kg)	
Dia	ENE-98	FEB-98	MAR-98	ABR-98	MAY-98	NON-98	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DIC-98
-	11.777	4.767	2.979	3.064	2.271	9.107	88.818	51.935	15.920	6.869	2.556	3 835
7	11.326	3.550	12.027	3.064	0.614	9.084	105.499	62.650	4.175	16.778	7.734	3 923
n	10.288	5.934	5.957	3.134	2.271	2.786	105.660	35,939	4.175	11.976	6.041	7 493
4	7.084	1.826	57.269	3.099	0.583	1.522	43.066	17.278	0	13.496	2.556	2 160
2	5.370	6.340	31.473	3.099	7.152	10.512	33.202	25.224	15.641	11.976	6.804	0
9	4.332	0	33.271	0.453	5.494	17.816	22.174	61.317	10.576	11.915	0	9 521
7	6.588	0	36.306	3.029	26.581	15.358	26.385	115.970	15.029	15.076	6 572	2 204
00	4.557	0.964	12.083	1.114	2.210	8.053	20.089	62.035	3.841	5.532	15 799	33 191
o,	2.076	5.528	12.533	1.079	8.748	9.271	17.964	38.246	18.313	8.632	0	12 077
10	4.467	2.789	11.915	25.348	33.457	4.378	11.669	25.275	73.475	18.480	4.514	6.788
11	10.874	0	8.824	53.378	21.916	4.355	7.418	22.609	51.265	20.669	5.145	12.430
12	5.279	0	5.789	85.203	15.316	1.896	7.418	43.937	29.167	21.277	0	9.212
13	0	5.731	5.789	55.363	8.748	4.308	15.759	62.650	24.714	16.414	6.705	3.262
14	4.377	0	1.574	19.882	8.748	4.308	13.674	148.166	14.194	0.486	6.506	3 482
15	0	0.609	2.698	10.515	2.118	0.632	10.666	81.568	12.691	15.502	0.033	0.132
16	19.042	3.449	5.620	6.755	5.402	23.786	11.548	102.999	9.685	12.827	0.531	0.132
17	12.499	6.137	5.508	6.755	2.271	38.441	7.338	55.011	6.735	3.526	4.514	6.215
9	5.595	0.710	17.535	2.994	5.371	15.311	11.508	52.345	9.518	4.499	2.025	5.951
13	6.001	11.563	11.577	2.960	2.057	31.137	26.104	44.347	8.628	14.286	0	7.008
20	11.281	0	11.521	6.685	0.368	21,398	26.104	28.300	10.966	13.860	7.003	2.601
21	17.914	0.609	5.452	1.045	0.307	16.528	11.468	20.251	3.618	22.067	1.261	7.802
22	8.257	3.195	5.452	2.855	5.218	17.746	11.388	14.817	11.745	25.532	0.963	2.777
23	14.529	5.782	2.417	0.940	39.350	12.853	11.348	22.815	6.234	0.243	0	0
24	2.482	0.304	5.395	0.905	13.475	10.418	3.007	14.817	3.562	0.243	2.091	2.028
25	9.746	0.254	5.283	2.716	11.633	4.308	7.138	20.149	15.474	11.611	1.162	2.689
97	8.663	27.387	17.254	0.801	23.327	6.719	30.114	14.765	5.121	16.049	32.561	27.064
27	20.260	5.528	26.302	2.646	34.531	6.719	25.984	9.433	12.747	16.049	21.641	3.526
28	9.611	5.477	17.198	0.731	44.783	12.806	34.364	4.101	13.582	44.560	9.692	16.441
29	7.851		11.072	0.731	49.786	12.829	21.854	14.765	5.678	19.088	7.568	0
30	10.694		2.023	969.0	33.334	5.525	11.428	2.922	9.407	8.024	5.045	0.882
31	7.761		5.002		16.912		15.598	4.050		11.125		2 336
								<*************************************				

1280.7

795.8

395.1

260.6

Total Mes

5135 kg

Día								!			(B)	
	ENE-98	FEB-98	MAR-98	ABR-98	MAY-98	Z	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DIC-98
1	293.457	116.951	71.608	66.561	144.473	314.689	2098.686	929.321	276.586	116.897	80.547	78.868
7	282	87.1	289	9.99	39.0	314	2493	1121	72.5	286	244	80.7
က	256	146	143	68.1	144	96.3	2497	643	72.5	204	190	154
4	177	44.8	1377	67.3	37.1	52.6	1018	309	0	230	81	44.4
Ŋ	134	156	757	67.3	455	363	785	451	272	204	214	0
9	108	0	800	9.8	349	616	524	1097	184	203	0	196
7	164	0	873	65.8	1691	531	623	2075	261	257	207	45.3
00	114	23.6	290	24.2	141	278	475	1110	66.7	94.1	498	683
6	52	136	301	23.4	556	320	424	684	318	147	0	248
10	111	68.4	286	551	2128	151	276	452	1277	314	142	140
11	271	0	212	1160	1394	150	175	405	891	352	162	256
12	132	0	139	1851	974	65.5	175	786	507	362	0	189
13	0	141	139	1203	556	149	372	1121	429	279	211	67.1
14	109	0	37.8	432	556	149	323	2651	247	8.28	205	71.6
15	0	14.9	64.9	228	135	21.8	252	1460	220	264	1.05	2.72
16	474	84.6	135	147	344	822	273	1843	168	218	16.7	2.72
17	311	151	132	147	144	1328	173	984	117	0.09	142	128
18	139	17.4	422	65.0	342	529	272	937	165	9.97	63.8	122
19	150	284	278	64.3	131	1076	617	794	150	243	0	144
20	281	0	277	145	23.4	739	617	909	191	236	221	53.5
21	446	14.9	131	22.7	19.5	571	271	362	62.9	376	39.8	160
22	206	78.4	131	62.0	332	613	269	265	204	434	30.3	57.1
23	362	142	58.1	20.4	2503	444	268	408	108	4.14	0	0
24	61.8	7.46	130	19.7	857	360	71.1	265	61.9	4.14	62.9	41.7
25	243	6.22	127	59.0	740	149	169	361	269	198	36.6	55.3
26	216	672	415	17.4	1484	232	712	264	89.0	273	1026	557
27	505	136	632	57.5	2196	232	614	169	221	273	682	72.5
28	239	134	413	15.9	2848	443	812	73	236	758	305	338
29	196		266	15.9	3167	443	516	264	98.6	325	239	0
30	266		48.6	15.1	2120	191	270	52	163	137	159	18.1
31	193		120		1076		369	72		189		48.0

TOTAL AÑO 1998: 130343 kg

7124.5

6756.7 27627.6 11745.4 18802.9 22916.5

9498.2

2660.0

6493.2

Total Mes

		Tak	Tabla 8. C/	CARGA FLUVIAL	-UVIAL D	- DIARIA DE NITRATO AL LAGO CHAPO (en	NITRA	TO AL LA	AGO CHA		ka)	
Día	ENE-98	FEB-98	MAR-98	ABR-98	MAY-98	36-NUC	JUL-98	AGO-98	SEP-98		NOV-98	DIC-98
-	22.120	7.350		13.420	8.060	37.677	104.284	73.440	19.809	8.006	5.534	2 808
7	21.272	5.473	15.539	13.420	2.178	37.580	123.870	88.592	5.195	19.554	16.747	2 873
3	19.323	9.148	7.697	13.725	8.060	11.526	124.058	50.821	5.195	13.957	13.081	5 488
4	13.306	2.815	73.991	13.572	2.069	6.296	50.565	24.432	0	15.728	5.534	1 582
2	10.085	9.774		13.572	25.378	43.488	38.983	35.669	19.463	13.957	14.734	0
9 1	8.136	0	42.986	1.982	19.496	73.707	26.036	86.707	13.160	13.886	0	6.973
7	12.374	0	46.907	13.267	94.323	63.537	30.979	163.989	18.701	17.570	14.231	1614
∞ ·	8.560	1.486	15.612	4.880	7.842	33.318	23.588	87.722	4.779	6.447	34.213	24 308
o :	3.899	8.523	16.192	4.727	31.042	38.355	21.092	54.083	22.787	10.060	0	8 845
10	8.390	4.301		111.017	118.720	18.112	13.701	35.741	91.425	21.537	9 775	4 971
11	20.425	0	11.400	233.776	77.767	18.015	8.710	31.971	63.790	24.088	11 141	9 103
12	9.916	0	7.479	373.158	54.350	7.845	8.710	62.130	36.293	24.796	0	6 747
13	0	8.836	7.479	242.469	31.042	17.821	18.503	88.592	30.752	19.129	14 519	2389
14	8.221	0	2.033	87.075	31.042	17.821	16.055	209.517	17.662	0.567	14 088	2 550
15	0	0.938	3.485	46.054	7.515	2.615	12.524	115.343	15.792	18.066	0.072	0.097
16	35.765	5.317	7.261	29.584	19.170	98.405	13.559	145.647	12.052	14 949	1 150	0.097
17	23.476	9.461	7.116	29.584	8.060	159.036	8.616	77.790	8.381	4 109	9 775	4 552
18	10.509	1.095	22.655	13.115	19.061	63.343	13.512	74.020	11.844	5.243	4 384	4 358
13	11.272	17.828	14.958	12.962	7.297	128.818	30.650	62.710	10.736	16.649	0	5 133
20	21.188	0	14.885	29.279	1.307	88.526	30.650	40.019	13.645	16.153	15 166	1 905
21	33.646	0.938	7.043	4.575	1.089	68.380	13.465	28.636	4.502	25 717	2 731	5 714
22	15.509	4.926	7.043	12.505	18.516	73.416	13.371	20.952	14.614	29.756	2 084	2 034
23	27.290	8.914	3.122	4.117	139.632	53.174	13.324	32.261	7.757	0.283	0	
24	4.661	0.469	6.971	3.965	47.815	43.101	3.531	20.952	4.433	0.283	4.528	1 485
25	18.306	0.391	6.826	11.895	41.280	17.821	8.380	28.491	19.255	13.532	2.516	1 969
26	16.272	42.224	22.292	3.507	82.777	27.797	35.358	20.879	6.372	18.704	70.510	19 821
27	38.053	8.523	33.982	11.590	122.532	27.797	30.508	13.340	15.861	18.704	46.863	2.583
28	18.052	8.445	22.219	3.202	158.911	52.980	40.348	5.800	16.900	51.931	20.988	12.041
29	14.747		14.305	3.202	176.664	53.077	25.659	20.879	7.065	22.246	16.388	0
30	20.086		2.614	3.050	118.285	22.858	13.418	4.132	11.705	9.352	10.925	0.646
31	14.577		6.462		60.014		18.315	5.727		12.965	-	1711
						F						

Total Mes

9746 kg

144.4

361.7

487.9

529.9

1811.0

934.3

1541.3

1362.2

510.5

14.9

9.6

32.2

88.0

75.6

25.5

	DIC-98	0.567	0.580	1.109	0.320	0	1.409	0.326	4.911	1.787	1.004	1.839	1.363	0.483	0.515	0.020	0.020	0.920	0.880	1.037	0.385	1.154	0.411	0	0.300	0.398	4.004	0.522	2.433	0	0.130	0.346
(b)	NOV-98	0.228	0.689	0.539	0.228	0.607	0	0.586	1.409	0	0.402	0.459	0	0.598	0.580	0.003	0.047	0.402	0.181	0	0.624	0.112	0.086	0	0.186	0.104	2.903	1.929	0.864	0.675	0.450	
PO (en k	OCT-98	0.157	0.383	0.273	0.308	0.273	0.272	0.344	0.126	0.197	0.422	0.472	0.485	0.374	0.011	0.354	0.293	0.080	0.103	0.326	0.316	0.503	0.583	900.0	900.0	0.265	0.366	0.366	1.017	0.436	0.183	0.254
GO CHA	SEP-98	1.205	0.316	0.316	0	1.184	0.800	1.137	0.291	1.386	5.560	3.879	2.207	1.870	1.074	0.960	0.733	0.510	0.720	0.653	0.830	0.274	0.889	0.472	0.270	1.171	0.387	0.965	1.028	0.430	0.712	
O AL LA	AGO-98	3.570	4.306	2.470	1.188	1.734	4.215	7.971	4.264	2.629	1.737	1.554	3.020	4.306	10.184	5.607	7.080	3.781	3.598	3.048	1.945	1.392	1.018	1.568	1.018	1.385	1.015	0.648	0.282	1.015	0.201	0.278
ENITRIT	JUL-98	8.666	10.294	10.310	4.202	3.240	2.164	2.574	1.960	1.753	1.139	0.724	0.724	1.538	1.334	1.041	1.127	0.716	1.123	2.547	2.547	1.119	1.111	1.107	0.293	969.0	2.938	2.535	3.353	2.132	1.115	1.522
IARIA DI	36-NUC	2.025	2.020	0.620	0.338	2.338	3.962	3.415	1.791	2.062	0.974	0.968	0.422	0.958	0.958	0.141	5.289	8.549	3.405	6.924	4.758	3.676	3.946	2.858	2.317	0.958	1.494	1.494	2.848	2.853	1.229	
CARGA FLUVIAL DIARIA DE NITRITO AL LAGO CHAPO (en kg)	MAY-98	1.075	0.290	1.075	0.276	3.384	2.600	12.576	1.046	4.139	15.829	10.369	7.247	4.139	4.139	1.002	2.556	1.075	2.541	0.973	0.174	0.145	2.469	18.618	6.375	5.504	11.037	16.338	21.188	23.555	15.771	8.002
ARGA FL	ABR-98	0.958	0.958	0.980	0.969	0.969	0.142	0.948	0.349	0.338	7.929	16.697	26.652	17.318	6.219	3.289	2.113	2.113	0.937	0.926	2.091	0.327	0.893	0.294	0.283	0.850	0.251	0.828	0.229	0.229	0.218	
Tabla 9. C/	MAR-98	0.192	0.777	0.385	3.700	2.033	2.149	2.345	0.781	0.810	0.770	0.570	0.374	0.374	0.102	0.174	0.363	0.356	1.133	0.748	0.744	0.352	0.352	0.156	0.349	0.341	1.115	1.699	1.111		0.131	0.323
Tak	FEB-98	0.317	0.236	0.394	0.121	0.421	0	0	0.064	0.367	0.185	0	0	0.381	0	0.040	0.229	0.408	0.047	0.768	0	0.040	0.212	0.384	0.020	0.017	1.820	0.367	0.364			
	ENE-98	0.774	0.744	0.676	0.465	0.353	0.285	0.433	0.299	0.136	0.293	0.714	0.347	0	0.288	0	1.251	0.821	0.368	0.394	0.741	1.177	0.543	0.955	0.163	0.640	0.569	1.331	0.631	0.516	0.703	0.510
	Día	1	7	e	4	22	9	7	00	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

	-		שמיים ו בסמיים					משלים ליים		(Su	
ENE-98	FEB-98	MAR-98	ABR-98	MAY-98	36-NOC	JUL-98	AGO-98	SEP-98		NOV-98	DIC-98
28.844	25.421	23.155	12.780	12.896	9.024	259.800	84.814	23.464	9.441	23.125	5.516
27.738	18.930	93.492	12.780	3.485	9.000	308.59	102.31	6.153	23.061	69.974	5.643
25.197	31.641	46.309	13.070	12.896	2.760	309.06	58.692	6.153	16.460	54.658	10 778
17.350	9.736	445.18	12.925	3.311	1.508	125.97	28.215	0	18.549	23.125	3 107
13.151	33.804	244.65	12.925	40.605	10.415	97.117	41.193	23.053	16.460	61.565	0
10.609	0	258.63	1.888	31.194	17.653	64.862	100.136	15.588	16.376	0	13.695
16.135	0	282.23	12.634	150.92	15.217	77.178	189.39	22.151	20.721	59.463	3 170
11.162	5.138	93.929	4.647	12.547	7.980	58.763	101.31	5.661	7.603	142.95	47.741
5.084	29.477	97.424	4.502	49.666	9.186	52.546	62.459	26.991	11.865	0	17 372
10.941	14.874	92.619	105.72	189.952	4.338	34.132	41.277	108.29	25.400	40 843	9 764
26.633	0	68.590	222.63	124.428	4.315	21.699	36.923	75.559	28.408	46.549	17 879
12.930	0	44.999	355.36	86.960	1.879	21.699	71.753	42.989	29.244	0	13.251
0	30.559	44.999	230.91	49.666	4.268	46.095	102.31	36.426	22.559	60.665	4 692
10.720	0	12.233	82.923	49.666	4.268	39.996	241.97	20.920	0.668	58.863	5 009
0	3.245	20.970	43.858	12.025	0.626	31,199	133.21	18.705	21.306	0.300	0.190
46.636	18.389	43.688	28.173	30.671	23.568	33.780	168.20	14.275	17.630	4.805	0.190
30.612	32.722	42.814	28.173	12.896	38.089	21.464	89.837	9.927	4.846	40.843	8.940
13.703	3.786	136.31	12.489	30.497	15.171	33.663	85.484	14.029	6.183	18.319	8.559
14.698	61.658	89.997	12.344	11.676	30.852	76.357	72.423	12.716	19.635	0	10.081
27.628	0	89.561	27.883	2.091	21.202	76.357	46.216	16.162	19.050	63.367	3 741
43.873	3.245	42.377	4.357	1.743	16.377	33.545	33.072	5.333	30.330	11.412	11.222
20.224	17.037	42.377	11.908	29.626	17.583	33.311	24.197	17.310	35.092	8.709	3.994
35.585	30.829	18.786	3.921	223.41	12.735	33.193	37.258	9.189	0.334	0	0
6.078	1.623	41.941	3.776	76.504	10.323	8.797	24.197	5.251	0.334	18.920	2.916
23.871	1.352	41.067	11.327	66.048	4.268	20.878	32.904	22.807	15.959	10.511	3.867
21.218	146.03	134.12	3.340	132.44	6.657	88.086	24.113	7.548	22.058	294.61	38 928
49.620	29.477	204.46	11.037	196.05	6.657	76.005	15.405	18.787	22.058	195.81	5.072
23.539	29.207	133.69	3.050	254.26	12.689	100.519	6.698	20.018	61.244	87.693	23.649
19.229		86.066	3.050	282.66	12.712	63.924	24.113	8.368	26.236	68.473	0
26.191		15.728	2.904	189.26	5.474	33.428	4.772	13.865	11.029	45.649	1 268
19.008		38.882		96.022		45 626	6 614		15 200		0 0

[™] TOTAL AÑO 1998: 15805 kg

283.6

1511.2

575.4

627.7

2091.5

2327.6

336.8

1297.3 2466.1

3071.3

578.2

638.2

Total Mes

CARGA EL LIVIAL DIARIA DE CARBONO ORGANICO PARTICILI ADO AL LAGO CHAPO (en la de C)	NOV-98 DIC-98	865 136	2617 139				0 337	2224 78	-	8		1741 440		2269 115			180 5	1528 220		0 248	2370 92	427 276	326 98	0	708 72	393 95	1019 958	7324 125	3280 582	2561 0		1707 31
CHABO	OCT-98 NO		1117	797	898	797	793	1004	368	575	1230	1376	1416			1032	854			951	923	1469	1699	16	16	773	1068 1	1068		1271		
0 4 1 1 4 6	SEP-98	1048	275	275	0	1030	269	066	253	1206	4839	3376	1921	1628	935	836	638	444	627	568	722	238	773	411	235	1019	337	839	894	374	620	
ICH ADO	AGO-98	3071	3704	2125	1022	1491	3625	6857	3668	2261	1494	1337	2598	3704	8760	4823	0609	3253	3095	2622	1673	1197	876	1349	876	1191	873	558	243	873	173	
TAPA O	30F-38	10913	12962	12982	5291	4079	2724	3242	2468	2207	1434	911	911	1936	1680	1310	1419	905	1414	3207	3207	1409	1399	1394	369	877	3700	3192	4222	2685	1404	
RGANIC	96-NOC	1469	1465	449	245	1695	2873	2477	1299	1495	200	702	306	695	695	102	3836	6200	2469	5022	3451	2666	2862	2073	1680	695	1084	1084	2065	2069	891	
BONO	MAY-98	464	133	484	127	1555	1195	5780	481	1902	7275	4766	3331	1902	1902	461	1175	484	1168	447	80	67	1135	8557	2930	2530	5073	7509	9738	10826	7248	-
DE CAR	ABR-98	48	48	49	49	49	7	48	18	17	398	838	1338	870	312	165	106	106	47	46	105	16	45	15	14	43	13	42	1	11	11	
DIARIA	MAR-98	130	527	261	2508	1378	1457	1590	529	549	522	386	254	254	69	118	246	241	768	203	505	239	239	106	236	231	756	1152	753	485	88	(
FLUVIA	FEB-98	149	111	185	24	198	0	0	30	172	87	0	0	179	0	19	108	191	22	360	0	19	100	180	6	80	854	172	171			
CARGA	ENE-98	215	207	188	129	86	79	120	83	38	82	199	96	0	80	0	348	228	102	110	206	327	151	265	45	178	158	370	175	143	195	
Tabla 11.	Día	1	2	'n	4	40	9	7	%	6	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	2.4

TOTAL AÑO 1998: 472506 kg

Los ríos y esteros afluentes del lago Chapo se caracterizan por un pH muy cercano a la neutralidad durante la mayor parte del año, excepto al final del invierno (agosto), mes en que se registraron mínimos entre 5,6 y 5,7. Por su parte los valores máximos (entre 7,1 y 7,6) se registraron en primavera y verano. Los ríos Negro, Pitote, Sur y León tienden a presentar los pH más ácidos del rango indicado y los ríos Este, Blanco y Lenca tienden a presentar los pH más alcalinos. Las alcalinidades de los afluentes, expresadas como mg/L de carbonato de calcio oscilan entre 6,6 y 21,8 mg/L, presentando los ríos Pitote, Sur y León los valores más bajos del rango (menores de 10 mg/L) y los ríos que desembocan en el margen norte y noreste del lago, particularmente el río Blanco, los valores más altos (mayores de 15 mg/L).

Todos los afluentes se caracterizan por sobresaturación de oxígeno disuelto y práctica ausencia de turbidez (usualmente menor de 0,1 NTU), excepto lo exhibido por los ríos Sur, Este, Palomo y especialmente León en primavera. En este último curso de agua se registró una alta turbidez (11,7 NTU) y presencia de una sustancia amarillenta en forma de suspensión hacia fines de noviembre.

Las concentraciones de fósforo total en los ríos presentaron una media de 8,7 µg/L (mediana de 7,1 µg/L), oscilando entre un mínimo de 3,41 µg/L y un máximo de 69,8 µg/L. Este último valor corresponde a un caso excepcional para un tributario menor (río Playa Blanca) en invierno. El 98% de los valores de concentración de fósforo total fue menor de 20 µg/L y el 82% bajo 10 µg/L, siendo por lo tanto las concentraciones en general bajas. La contribución del fósforo inorgánico reactivo (ortofosfato) en el aporte fluvial es considerable sólo para valores totales de fósforo menores que 10 µg/L; a concentraciones mayores esta no representa más del 50% y sólo excepcionalmente alcanzó a representar algo más del 75% (río Este). Para concentraciones de fósforo total mayores de 15 µg/L, la contribución del ortofosfato no superó el 21%. Las tres cuartas partes de los valores de concentración de ortofosfato en ríos del lago Chapo alcanza menos de 6 µg/L, lo cual es bajo en términos absolutos. El principal contribuyente de fósforo y en particular de fósforo de inmediata disponibilidad biológica (ortofosfato) es el río Este. Si bien en términos de concentración este es seguido por los ríos del margen norte del lago, son aquellas de los ríos Lenca y Negro las que siguen en términos de carga aportada por sus mayores caudales relativos.

Las concentraciones de nitrógeno total en ríos presentaron una media de 130 μ g/L (mediana 105 μ g/L), oscilando entre un mínimo de 29,4 μ g/L y un máximo de 491 μ g/L (río Lenca), con un 85% del total de los valores de concentración bajo 200 μ g/L. La mayor fracción

de este nitrógeno estuvo representada por nitrógeno orgánico (usualmente más del 70%), no biodisponible para producción primaria microalgal. Sólo en la décima parte del total de valores de concentración determinados para los cursos de agua afluentes al lago Chapo la fracción orgánica representó entre un 40% y un 60% del nitrógeno total. Esta mayor contribución de nitrógeno inorgánico se dio en primavera y para concentraciones de nitrógeno total menores de 200 µg/L.

Los principales contribuyentes de formas de nitrógeno inorgánico (de disponibilidad biológica inmediata) fueron los ríos Sur, León, Negro y Lenca. La principal forma de nitrógeno inorgánico aportado por vía fluvial fue el amonio (media de 11,9 μg/L, máximo 93,9 μg/L, 16% de los valores sobre 20 μg/L) superando en términos cuantitativos al nitrato (media 10,2 μg/L, máximo 51,1 μg/L, 7% de los valores sobre 20 μg/L). Los principales contribuyentes de amonio fueron los ríos Sur, León y Negro, en tanto que los principales aportadores de nitrato fueron los ríos Blanco, Lenca, Palomo y Pitote. Las concentraciones tanto de nitrato como de amonio aportadas por los cursos afluentes son en general bajas, con más del 60% de los valores menores de 10 μg/L. El nitrito por su parte presentó siempre bajas concentraciones, arrojando un máximo de 2,8 μg/L y una media 0,38 μg/L (92% de los valores bajo 1μg/L).

El aporte de materia orgánica está fuertemente relacionado con el tamaño de la cuenca y con el caudal del río. Las contribuciones más significativas medidas en forma de carbono orgánico particulado (COP) son efectuadas por los ríos Sur, León, Negro y Este. Los contenidos de COP fueron muy variables, oscilando entre un mínimo bajo 9 μg/L de C (límite de detección de la técnica empleada) y un máximo de 5458 μg/L, con una media de 440 μg/L y una mediana de 172 μg/L; el 87% de los valores determinados fue inferior a 1000 μg/L.

Los resultados del cálculo de cargas diarias de formas de fósforo y nitrógeno evacuadas desde el lago Chapo por vía de las aguas salientes por su actual desagüe hacia la Central Canutillar, se entregan en las tablas 12 a 17 a continuación. Ellas permiten apreciar que la mayor evacuación de carga de N y P se produce en los meses invernales, excepto por las formas de amonio y nitrito, que responden a sus mayores concentraciones disueltas en otoño (marzo a mayo).

	Ta	Tabla 12.	SALIDA	DIARIA	DE FOSF	ORO TC	TAL PO	DIARIA DE FOSFORO TOTAL POR DESCARGA CANUTILLAR (en kg)	ARGA C	ANUTILL	AR (en k	(b)
Día	JAN-98	FEB-98	-98	APR-98	MAY-98	30-NUC	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DEC-98
1	13.01	16.69	41.76	65.21	35.30	60.25	58.73	51.78	45.20	15.37	26.59	50.10
7	12.51	24.48	41.76	65.38	35.25	60.09	58.73	51.85	45.02	15.62	26.52	45.50
m	23.08	17.92	41.76	62.29	35.25	60.09	59.04	51.85	45.08	16.64	26.59	48.30
4	13.71	19.80	41.81	65.21	35.21	60.01	59.12	51.78	44.96	15.53	26.52	46.58
2	26.42	9.36	40.25	63.38	35.21	59.93	48.03	51.72	44.90	16.64	31.70	18.47
9	28.17	41.53	41.91	65.04	35.16	59.93	59.12	50.00	44.84	16.60	49.49	0.72
7	27.77	41.68	41.86	64.96	34.66	59.85	59.12	51.78	44.25	16.60	48.95	27.93
00	28.47	33.85	41.81	64.88	35.16	59.93	59.04	50.96	44.72	16.56	25.29	2.25
o,	25.72	41.43	39.47	64.88	35.12	59.85	58.97	51.30	44.67	16.56	26.45	38.84
10	2.04	41.63	41.65	64.96	35.12	59.77	58.89	51.78	44.78	6.08	48.26	41.99
11	0.30	41.58	41.55	65.04	35.12	59.77	58.81	51.78	42.75	13.97	49.56	44.15
12	26.32	41.48	41.60	65.13	35.07	59.70	58.73	51.78	43.89	14.38	49.49	23.52
13	27.37	41.63	41.60	65.21	35.12	59.62	58.73	51.85	36.03	15.37	45.67	1.98
14	28.27	41.73	43.26	65.13	35.07	59.54	58.73	51.99	43.41	15.29	45.33	39.92
15	26.02	41.58	41.50	65.13	35.02	59.54	56.95	52.13	44.84	14.79	24.88	42.53
16	26.87	41.68	41.39	65.04	35.02	59.54	58.66	52.27	44.78	15.12	40.15	33.07
17	13.81	41.68	41.29	65.04	30.36	59.70	58.66	52.27	44.72	30.17	37.63	59.56
18	6.18	41.68	41.29	64.96	34.98	59.70	58.58	52.33	44.61	26.59	43.15	26.22
19	27.12	41.63	41.34	64.96	34.93	59.70	58.58	52.27	21.82	28.93	45.61	37.75
20	38.84	41.63	41.29	64.88	34.89	59.70	58.58	52.27	39.93	28.60	46.29	10.00
21	40.28	41.58	41.29	64.79	34.80	59.70	58.50	52.20	44.43	27.74	41.65	44.15
22	41.33	41.43	41.24	64.71	34.75	59.70	58.42	52.13	43.89	30.08	12.61	52.62
23	27.77	41.33	41.24	64.55	34.80	59.70	58.35	52.13	44.19	30.08	27.06	53.97
24	14.41	41.28	41.19	64.46	34.75	59.62	58.27	52.13	44.43	27.99	22.02	37.03
25	10.77	41.17	41.08	64.30	34.52	59.54	58.27	52.06	29.14	16.40	27.20	5.50
26	24.18	41.12	41.03	64.21	34.75	59.46	58.27	52.06	14.87	30.12	27.88	8.38
27	22.38	41.02	41.03	64.13	34.75	59.46	58.35	52.06	13.73	30.12	26.65	7.21
28	22.33	40.97	40.98	64.05	34.84	59.46	58.42	51.99	27.16	30.12	27.00	33.61
29	23.33		40.93	64.05	34.89	59.54	58.50	51.99	40.47	12.90	22.70	44.15
30	23.48		40.87	63.96	34.93	59.62	58.42	50.48	44.49	16.11	35.18	34.69
31	2.69		40.87		34.98		58.42	51.92		16.07		4.78
Total Mac	878	1025	1282	1042	1000	4700	4006	4007	2007	000	7007	
di Mes	0/0	1023	7071	245	1080	78/1	1806	1001	7071	623	1034	965

Total Mes

8837 kg

				במינועום במובט				2000	יייי יייי אייייי איייייייייייייייייייי		(Bu 11)	1
Dia	JAN-98	FEB-98	MAK-98	APK-98	MAY-98	36-NOC	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DEC-98
-	10.82	16.41	35.18	29.47	25.31	16.39	36.50	40.30	11.56	11.51	13.58	18.84
2	10.41	24.06	35.18	29.55	25.28	16.35	36.50	40.36	11.51	11.70	13.54	17.12
3	19.20	17.61	35.18	29.51	25.28	16.35	36.69	40.36	11.53	12.47	13.58	18.17
4	11.40	19.46	35.23	29.47	25.24	16.33	36.74	40.30	11.50	11.64	13.54	17.52
2	21.98	9.20	33.92	28.65	25.24	16.31	29.84	40.25	11.48	12.47	16.19	6.95
9	23.43	40.82	35.32	29.40	25.21	16.31	36.74	38.91	11.47	12.44	25.28	0.27
7	23.10	40.97	35.27	29.36	24.85	16.28	36.74	40.30	11.31	12.44	25.00	10.51
00	23.68	33.27	35.23	29.32	25.21	16.31	36.69	39.66	11.44	12.41	12.92	0.85
0	21.40	40.72	33.26	29.32	25.18	16.28	36.64	39.93	11.42	12.41	13.51	14.61
10	1.70	40.92	35.10	29.36	25.18	16.26	36.59	40.30	11.45	4.56	24.65	15.79
11	0.25	40.87	35.01	29.40	25.18	16.26	36.54	40.30	10.93	10.47	25.31	16.61
12	21.90	40.77	35.05	29.44	25.15	16.24	36.50	40.30	11.22	10.77	25.28	8.85
13	22.77	40.92	35.05	29.47	25.18	16.22	36.50	40.36	9.21	11.51	23.33	0.75
14	23.51	41.02	36.45	29.44	25.15	16.20	36.50	40.46	11.10	11.45	23.15	15.01
15	21.65	40.87	34.97	29.44	25.11	16.20	35.39	40.57	11.47	11.08	12.71	16.00
16	22.35	40.97	34.88	29.40	25.11	16.20	36.45	40.68	11.45	11.33	20.51	12.44
17	11.49	40.97	34.79	29.40	21.77	16.24	36.45	40.68	11.44	22.60	19.22	22.40
18	5.14	40.97	34.79	29.36	25.08	16.24	36.40	40.73	11.41	19.92	22.04	9.86
19	22.56	40.92	34.83	29.36	25.05	16.24	36.40	40.68	5.58	21.67	23.29	14.20
20	32.31	40.92	34.79	29.32	25.01	16.24	36.40	40.68	10.21	21.43	23.64	3.76
21	33.51	40.87	34.79	29.29	24.95	16.24	36.35	40.63	11.36	20.78	21.27	16.61
22	34.38	40.72	34.75	29.25	24.92	16.24	36.30	40.57	11.22	22.53	6.44	19.79
23	23.10	40.62	34.75	29.17	24.95	16.24	36.25	40.57	11.30	22.53	13.82	20.30
24	11.99	40.57	34.70	29.14	24.92	16.22	36.21	40.57	11.36	20.96	11.25	13.93
25	8.96	40.47	34.62	29.06	24.75	16.20	36.21	40.52	7.45	12.28	13.89	2.07
26	20.11	40.42	34.57	29.02	24.92	16.18	36.21	40.52	3.80	22.57	14.24	3.15
27	18.62	40.32	34.57	28.99	24.92	16.18	36.25	40.52	3.51	22.57	13.61	2.71
28	18.58	40.27	34.53	28.95	24.98	16.18	36.30	40.46	6.94	22.57	13.79	12.64
29	19.41		34.48	28.95	25.01	16.20	36.35	40.46	10.35	9.67	11.59	16.61
30	19.53		34.44	28.91	25.05	16.22	36.30	39.29	11.37	12.07	17.97	13.05
31	2 24		34 44		25.00		00 00	10 44		7007		0

56 INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

	Tal	Tabla 14.	SALIDA	DIARIA D	A DIARIA DE NITROGENO TOTAL	GENO T	OTAL P	POR DESCARGA		CANUTIL	LAR (en	ka)
rra	JAN-98	FEB-98	MAR-98	APR-98	MAY-98	36-NUC	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DEC-98
TU	222.00	317.40	821.2/	657.29	764.18	1444.20	802.52	2208.03	642.18	309.60	490.28	520.05
N O	214.26	465.45	821.27	658.96	763.19	1440.42	802.52	2210.96	639.63	314.57	489.02	472.35
on .	395.23	340.62	821.27	658.13	763.19	1440.42	806.76	2210.96	640.48	335.26	490.28	501 34
E C	234.75	376.43	822.29	657.29	762.20	1438.53	807.82	2208.03	638.78	312.91	489.02	483.57
o o	452.42	178.05	791.64	638.88	762.20	1436.65	656.22	2205.09	637.92	335.26	584.56	191 74
o l	482.30	789.63	824.33	655.62	761.21	1436.65	807.82	2131.79	637.07	334.43	912.67	7 48
10I	475.47	792.53	823.31	654.78	750.32	1434.76	807.82	2208.03	628.56	334.43	902 61	289 95
oo LOO	487.42	643.51	822.29	653.94	761.21	1436.65	806.76	2172.84	635.37	333.60	466.39	23.38
o s GIA	440.47	787.69	776.32	653.94	760.22	1434.76	805.70	2187.50	634.52	333.60	487 76	403 13
./1	35.00	791.56	819.22	654.78	760.22	1432.87	804.64	2208.03	636.22	122.51	890 04	435.87
11	5.12	790.59	817.18	655.62	760.22	1432.87	803.58	2208.03	607.26	281.45	913.93	458 32
	450.72	788.66	818.20	656.45	759.23	1430.98	802.52	2208.03	623.45	289.73	912.67	244 12
	468.64	791.56	818.20	657.29	760.22	1429.09	802.52	2210.96	511.87	309.60	842.27	20.58
	484.01	793.50	850.89	656.45	759.23	1427.21	802.52	2216.82	616.63	307.94	835.98	414 35
	445.60	790.59	816.16	656.45	758.24	1427.21	778.14	2222.69	637.07	298.01	458.85	441 48
	460.11	792.53	814.12	655.62	758.24	1427.21	801.46	2228.55	636.22	304.63	740.44	343.27
	236.46	792.53	812.07	655.62	657.27	1430.98	801.46	2228.55	635.37	607.61	693 93	618 26
	105.85	792.53	812.07	654.78	757.25	1430.98	800.40	2231.48	633.67	535.59	795.76	272.18
	464.38	791.56	813.09	654.78	756.26	1430.98	800.40	2228.55	310.02	582.77	841.01	391.91
	664.98	791.56	812.07	653.94	755.27	1430.98	800.40	2228.55	567.23	576.15	853.58	103 82
	689.73	790.59	812.07	653.11	753.29	1430.98	799.34	2225.62	631.11	558.77	768.10	458.32
22	707.66	787.69	811.05	652.27	752.30	1430.98	798.28	2222.69	623.45	605.95	232.57	546.24
23	4/5.47	785.76	811.05	650.60	753.29	1430.98	797.22	2222.69	627.70	605.95	499.08	560.27
24	246.70	784.79	810.03	649.76	752.30	1429.09	796.16	2222.69	631.11	563.73	406.05	384.42
67	184.38	782.85	807.99	648.09	747.35	1427.21	796.16	2219.76	413.93	330.29	501.59	57.06
07	414.01	781.89	806.96	647.25	752.30	1425.32	796.16	2219.76	211.22	606.78	514.16	86.99
17	383.28	779.95	806.96	646.42	752.30	1425.32	797.22	2219.76	195.04	606.78	491.53	74.83
28	382.43	778.98	805.94	645.58	754.28	1425.32	798.28	2216.82	385.82	606.78	497.82	348.88
67	388.50		804.92	645.58	755.27	1427.21	799.34	2216.82	574.90	259.93	418.62	458 32
30	402.06		803.90	644.75	756.26	1429.09	798.28	2152.31	631.96	324.50	648.67	360.10
3.1	46.10		803.90		757.25		798.28	2213.89		323.67		49.57
Total Man		100	0					47				
lotal Mes	1199/	136/1	25212	19584	23376	42956	24677	68516	17076	12553	19069	10022
								7				

TOTAL AÑO: 294269 kg

		Tabla 15		LIDA DIA	RIA DE N	VITRATO	POR DE	SALIDA DIARIA DE NITRATO POR DESCARGA CANUTILLAR (en kg)	A CANU	FILLAR (6	en kg)	
Día	JAN-98	FEB-98	MAR-98	APR-98	MAY-98	30-NUC	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DEC-98
1	13.53	21.85	39.91	25.67	4.00	5.09	52.22	119.38	58.87	29.26	17.02	3.36
7	13.01	32.04	39.91	25.74	4.00	5.08	52.22	119.54	58.64	29.73	16.97	3.05
n	24.00	23.45	39.91	25.70	4.00	5.08	52.49	119.54	58.71	31.69	17.02	3.24
4	14.26	25.91	39.96	25.67	3.99	5.07	52.56	119.38	58.56	29.57	16.97	3.13
2	27.48	12.26	38.47	24.95	3.99	5.06	42.70	119.22	58.48	31.69	20.29	1.24
9	29.29	54.36	40.06	25.60	3.99	5.06	52.56	115.26	58.40	31.61	31.68	0.05
7	28.87	54.56	40.01	25.57	3.93	5.06	52.56	119.38	57.62	31.61	31.33	1.87
90	29.60	44.30	39.96	25.54	3.99	5.06	52.49	117.47	58.25	31.53	16.19	0.15
6	26.75	54.22	37.72	25.54	3.98	5.06	52.43	118.27	58.17	31.53	16.93	2.61
10	2.13	54.49	39.81	25.57	3.98	5.05	52.36	119.38	58.32	11.58	30.89	2.82
11	0.31	54.42	39.71	25.60	3.98	5.05	52.29	119.38	55.67	26.60	31.72	2.96
12	27.37	54.29	39.76	25.64	3.98	5.04	52.22	119.38	57.15	27.38	31.68	1.58
13	28.46	54.49	39.76	25.67	3.98	5.04	52.22	119.54	46.92	29.26	29.23	0.13
14	29.39	54.62	41.35	25.64	3.98	5.03	52.22	119.85	56.53	29.11	29.02	2.68
15	27.06	54.42	39.66	25.64	3.97	5.03	50.63	120.17	58.40	28.17	15.93	2.85
16	27.94	54.56	39.56	25.60	3.97	5.03	52.15	120.49	58.32	28.79	25.70	2.22
17	14.36	54.56	39.46	25.60	3.44	5.04	52.15	120.49	58.25	57.43	24.08	4.00
18	6.43	54.56	39.46	25.57	3.97	5.04	52.08	120.65	58.09	50.62	27.62	1.76
19	28.20	54.49	39.51	25.57	3.96	5.04	52.08	120.49	28.42	55.08	29.19	2.53
20	40.38	54.49	39.46	25.54	3.96	5.04	52.08	120.49	52.00	54.45	29.63	0.67
21	41.89	54.42	39.46	25.51	3.95	5.04	52.01	120.33	57.85	52.81	26.66	2.96
22	42.98	54.22	39.41	25.47	3.94	5.04	51.94	120.17	57.15	57.27	8.07	3.53
23	28.87	54.09	39.41	25.41	3.95	5.04	51.87	120.17	57.54	57.27	17.32	3.62
24	14.98	54.02	39.36	25.38	3.94	5.04	51.80	120.17	57.85	53.28	14.09	2.49
25	11.20	53.89	39.26	25.31	3.91	5.03	51.80	120.01	37.95	31.22	17.41	0.37
26	25.14	53.82	39.21	25.28	3.94	5.02	51.80	120.01	19.36	57.35	17.85	0.56
27	23.28	53.69	39.21	25.25	3.94	5.02	51.87	120.01	17.88	57.35	17.06	0.48
28	23.22	53.62	39.16	25.21	3.95	5.02	51.94	119.85	35.37	57.35	17.28	2.26
29	24.26		39.11	25.21	3.96	5.03	52.01	119.85	52.70	24.57	14.53	2.96
30	24.42		39.06	25.18	3.96	5.04	51.94	116.37	57.93	30.67	22.51	2.33
31	2.80		39.06		3.97		51.94	119.69		30.59		0.32

TOTAL AÑO: 13108 kg

Total Mes

ì		Tabla 16		LIDA DIA	ARIA DE 1	NITRITO	POR DE	SALIDA DIARIA DE NITRITO POR DESCARGA CANUTILLAR (en kg)	CANUT	ILLAR (e	n kg)	
Dia	JAN-98	FEB-98	MAR-98	APR-98	MAY-98	JUN-98	JUL-98	AGO-98	SEP-98	OCT-98	NOV-98	DEC-98
1	0.32	0.79	1.95	3.80	10.28	3.30	1.83	1.82	1.82	2.72	0.94	0.67
2	0.30	1.16	1.95	3.81	10.26	3.30	1.83	1.82	1.82	2.76	0.94	0.61
က	0.56	0.85	1.95	3.81	10.26	3.30	1.84	1.82	1.82	2.94	0.94	0.65
4	0.33	0.94	1.95	3.80	10.25	3.29	1.84	1.82	1.82	2.74	0.94	0.63
5	0.64	0.45	1.88	3.70	10.25	3.29	1.50	1.82	1.81	2.94	1.12	0.25
9	0.68	1.97	1.95	3.80	10.24	3.29	1.84	1.76	1.81	2.93	1.76	0.01
7	0.67	1.98	1.95	3.79	10.09	3.28	1.84	1.82	1.79	2.93	1.74	0.38
00	69.0	1.61	1.95	3.79	10.24	3.29	1.84	1.79	1.81	2.93	0.90	0.03
o,	0.62	1.97	1.84	3.79	10.22	3.28	1.84	1.81	1.80	2.93	0.94	0.52
10	0.05	1.98	1.94	3.79	10.22	3.28	1.84	1.82	1.81	1.07	1.71	0.56
11	0.01	1.98	1.94	3.80	10.22	3.28	1.83	1.82	1.73	2.47	1.76	0.59
12	0.64	1.97	1.94	3.80	10.21	3.27	1.83	1.82	1.77	2.54	1.76	0.32
13	99.0	1.98	1.94	3.80	10.22	3.27	1.83	1.82	1.45	2.72	1.62	0.03
14	0.69	1.98	2.02	3.80	10.21	3.27	1.83	1.83	1.75	2.70	1.61	0.54
15	0.63	1.98	1.93	3.80	10.20	3.27	1.78	1.83	1.81	2.61	0.88	0.57
16	0.65	1.98	1.93	3.80	10.20	3.27	1.83	1.84	1.81	2.67	1.42	0.44
17	0.34	1.98	1.92	3.80	8.84	3.27	1.83	1.84	1.81	5.33	1.34	0.80
18	0.15	1.98	1.92	3.79	10.18	3.27	1.83	1.84	1.80	4.70	1.53	0.35
19	99.0	1.98	1.93	3.79	10.17	3.27	1.83	1.84	0.88	5.11	1.62	0.51
20	0.94	1.98	1.92	3.79	10.16	3.27	1.83	1.84	1.61	5.05	1.64	0.13
21	0.98	1.98	1.92	3.78	10.13	3.27	1.82	1.84	1.79	4.90	1.48	0.59
22	1.00	1.97	1.92	3.78	10.12	3.27	1.82	1.83	1.77	5.32	0.45	0.71
23	0.67	1.96	1.92	3.77	10.13	3.27	1.82	1.83	1.78	5.32	96.0	0.72
24	0.35	1.96	1.92	3.76	10.12	3.27	1.82	1.83	1.79	4.94	0.78	0.50
25	0.26	1.96	1.91	3.75	10.05	3.27	1.82	1.83	1.18	2.90	0.97	0.07
26	0.59	1.95	1.91	3.75	10.12	3.26	1.82	1.83	0.60	5.32	0.99	0.11
27	0.54	1.95	1.91	3.74	10.12	3.26	1.82	1.83	0.55	5.32	0.95	0.10
28	0.54	1.95	1.91	3.74	10.14	3.26	1.82	1.83	1.10	5.32	96.0	0.45
29	0.57		1.91	3.74	10.16	3.27	1.82	1.83	1.63	2.28	0.81	0.59
30	0.57		1.90	3.73	10.17	3.27	1.82	1.78	1.80	2.85	1.25	0.47
31	0.07		1.90		10.18		1.82	1.83		2.84		90.0
Mos	16.4	40.5	10 1			000	0	0				
oral Mes	10.4	49.2	08.7	113.4	314.4	98.3	56.3	9.99	48.5	110.1	36.7	13.0

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

2,0	IANIDO	M GELD ON	. 0	NAME OF STATE OF STAT	200 200	000		THE PARTY OF THE P	2000	DOT OF MOY	(Bu 11)	0
1	2 8d	10 44	118 74	42 80	88 78	12 88	30L-30	45 78	A4 07	24 74	NOV-98	20 70
- (2.0.0			15.00	0.00	0.00	10.71	27.70	10.1	11.12	24.33	28.70
7	2.73	28.51	118./1	42.91	88.64	13.84	47.64	12.77	41.81	22.06	24.47	36.06
n	5.04	20.86	118.71	42.86	88.64	13.84	47.89	12.77	41.86	23.51	24.53	38.27
4	2.99	23.06	118.85	42.80	88.53	13.83	47.95	12.76	41.75	21.95	24.47	36.91
2	5.77	10.91	114.42	41.61	88.53	13.81	38.95	12.74	41.70	23.51	29.25	14.64
9	6.15	48.36	119.15	42.70	88.41	13.81	47.95	12.32	41.64	23.46	45.66	0.57
7	90.9	48.54	119.00	42.64	87.15	13.79	47.95	12.76	41.08	23.46	45.16	22.13
80	6.22	39.41	118.85	42.59	88.41	13.81	47.89	12.55	41.53	23.40	23.34	1.79
6	5.62	48.25	112.21	42.59	88.30	13.79	47.83	12.64	41.47	23.40	24.40	30.77
10	0.45	48.48	118.41	42.64	88.30	13.77	47.76	12.76	41.58	8.59	44.53	33.27
11	0.07	48.42	118.12	42.70	88.30	13.77	47.70	12.76	39.69	19.74	45.73	34.99
12	5.75	48.31	118.26	42.75	88.18	13.75	47.64	12.76	40.75	20.32	45.66	18.64
13	5.98	48.48	118.26	42.80	88.30	13.74	47.64	12.77	33.46	21.71	42.14	1.57
14	6.17	48.60	122.99	42.75	88.18	13.72	47.64	12.81	40.30	21.60	41.83	31.63
15	5.68	48.42	117.97	42.75	88.07	13.72	46.19	12.84	41.64	20.90	22.96	33.70
91	5.87	48.54	117.67	42.70	88.07	13.72	47.58	12.88	41.58	21.37	37.05	26.20
17	3.02	48.54	117.38	42.70	76.34	13.75	47.58	12.88	41.53	42.62	34.72	47.20
18	1.35	48.54	117.38	42.64	87.95	13.75	47.51	12.89	41.42	37.57	39.82	20.78
19	5.92	48.48	117.52	42.64	87.84	13.75	47.51	12.88	20.26	40.87	42.08	29.92
20	8.48	48.48	117.38	42.59	87.72	13.75	47.51	12.88	37.08	40.41	42.71	7.93
21	8.80	48.42	117.38	42.53	87.49	13.75	47.45	12.86	41.25	39.19	38.43	34.99
22	9.02	48.25	117.23	42.48	87.38	13.75	47.39	12.84	40.75	42.50	11.64	41.70
23	90.9	48.13	117.23	42.37	87.49	13.75	47.32	12.84	41.03	42.50	24.97	42.77
24	3.15	48.07	117.08	42.31	87.38	13.74	47.26	12.84	41.25	39.54	20.32	29.35
25	2.35	47.95	116.79	42.21	86.80	13.72	47.26	12.83	27.06	23.17	25.10	4.36
56	5.28	47.89	116.64	42.15	87.38	13.70	47.26	12.83	13.81	42.56	25.73	6.64
27	4.89	47.77	116.64	42.10	87.38	13.70	47.32	12.83	12.75	42.56	24.59	5.71
28	4.88	47.71	116.49	42.04	87.61	13.70	47.39	12.81	25.22	42.56	24.91	26.63
29	5.09		116.34	42.04	87.72	13.72	47.45	12.81	37.58	18.23	20.95	34.99
30	5.13		116.20	41.99	87.84	13.74	47.39	12.44	41.31	22.76	32.46	27.49
24	0 50		116 20		20 70		17.00	0107		000		-

Total Mes

1.4 Ingreso por escurrimiento superficial difuso

Tomando en consideración el uso del suelo de las cuencas en su margen de contacto con el lago Chapo, se seleccionaron dos parcelas para la medición directa de la concentración de fósforo y nitrógeno presente en las aguas de escurrimiento difuso que no vierten hacia afluentes individuales del lago. Estas parcelas fueron instaladas en un área de bosque renoval y en un área de pradera. Con los resultados de concentración determinadas para cada uno de los dos tipos de parcela representativa y los flujos de escurrimiento correspondientes al relieve, grado de infiltración del suelo, condición de almacenamiento superficial y cubierta vegetal, se estimó un caudal de escurrimiento difuso equivalente al 1,4% del total aportado por cursos afluentes, el cual contribuyó anualmente con 0,3 kg de fósforo (de los cuales 0,1 kg corresponden a ortofosfato) y 3,7 kg de nitrógeno total, del cual el 80,4% fue inorgánico (1, 4 kg de nitrato, 1,5 kg de amonio y 0,1 kg de nitrito).

1.5 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR PRECIPITACIONES

Condiciones meteorológicas

Durante el año 1998 predominaron claramente los vientos del oeste, con un 40% del total registrado. En segundo lugar se presentaron vientos del norte y del sur (Fig. 6). Dominaron las intensidades entre 0 y 2 m/s, siendo el porcentaje total de calmas inferior al 20 %. En general el viento fue más estable durante la noche, marcado por un ciclo circadiano en respuesta al calentamiento y enfriamiento de los montes circundantes durante el día y la noche.

Aparece un incremento de la intensidad media del viento durante los meses de octubre a enero, en especial en dirección hacia el sur (Fig. 7). Las fuertes rachas registradas en septiembre y abril corresponden a temporales de viento del noreste. Además de la variabilidad estacional el viento presenta también una marcada variabilidad interdiaria e intradiaria. En el caso de esta última, la intensidad del viento se caracteriza por un marcado ciclo circadiano, con una fuerte variabilidad durante el día, produciéndose una rotación en la dirección, que en la fase noctuma se muestra más estable, respondiendo el patrón al calentamiento de los montes circundantes durante el día y la pérdida de radiación de los mismos en la noche. De este modo la intensidad del viento presentó en general los máximos relativos de magnitud

durante la tarde y los mínimos durante la noche y la mañana. Eso explica la mayor variabilidad en la dirección encontrada durante el período diurno.

La temperatura del aire presentó un claro ciclo estacional, con rangos de 5 a 30°C en verano, 0 a 13 °C en invierno y 5 a 25 °C en primavera (Fig. 8). La humedad relativa tuvo mayor variabilidad en primavera-verano, época en que se alcanzaron valores mínimos cercanos al 20 %, que en invierno, donde los mínimos fueron del orden de 60 %. En primavera y verano parecieran producirse mínimos prolongados de humedad relativa cuando ocurren temporales de viento noreste, por lo que esos vientos arrastrarían masas de aire relativamente secas, favoreciendo el intercambio de vapor lago-atmósfera. La variabilidad de corta escala de tiempo se caracteriza en general por mínimos de humedad relativa durante la tarde y máximos en la madrugada.

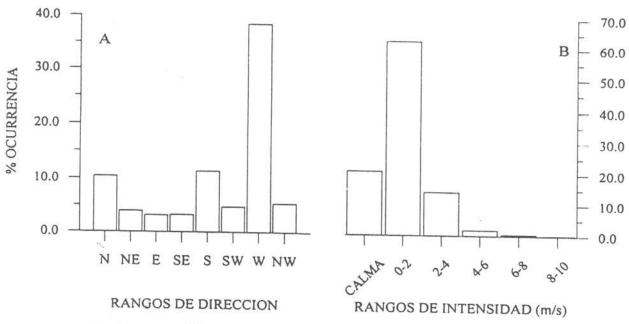
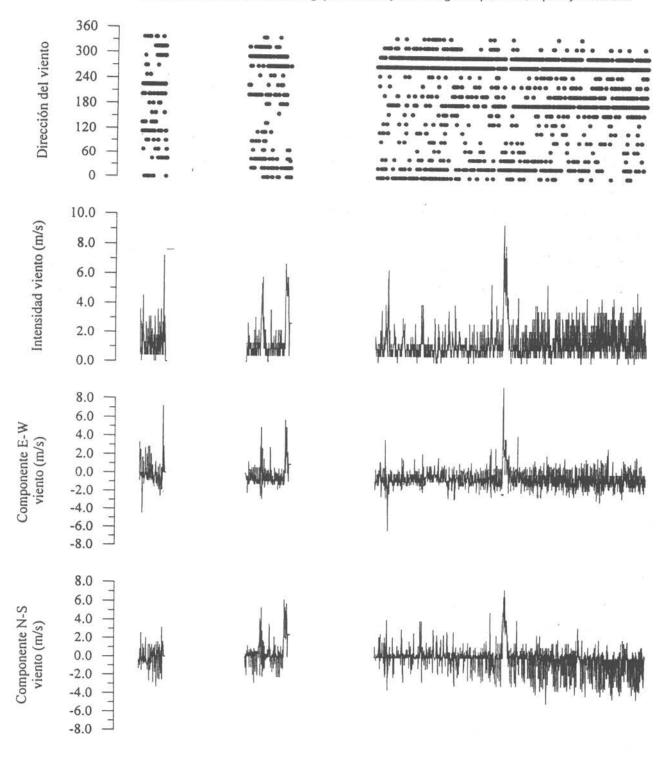


Fig. 6 Histogramas de dirección e intensidad del viento registrado durante 1998 en el lago Chapo (A, B).



ENE FEB MAR ABR MAY JUN JUL AGO SEP OCT NOV DIC 1998

Fig. 7 Series de tiempo dirección, intensidad y componentes E-W (u) y N-S (v) del viento durante 1998.

Estación meteorológica del lago Chapo.

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

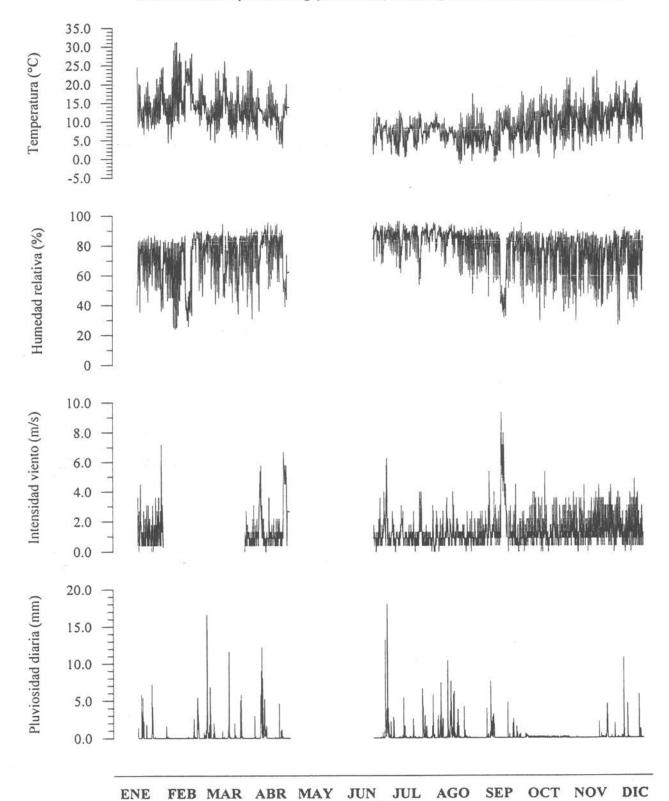


Fig. 8 Series de tiempo de temperatura del aire, humedad relativa intensidad del viento y pluviosidad diaria durante 1998. Estación meteorológica del lago Chapo.

1998

Pluviosidad

La pluviosidad durante 1998 fue irregular, presentándose las menores precipitaciones en primavera, durante los meses de octubre y noviembre. Las mayores intensidades de precipitación registradas alcanzaron valores entre 5 y 10 mm/hora (Fig. 8). La lluvia media caída durante 1998 fue del orden de 6 mm/día. La Tabla 18 presenta la precipitación acumulada por mes. Los registros de pluviosidad obtenidos directamente han sido complementados con aquellos adquiridos a Endesa y correspondientes a la estación meteorológica de una de sus filiales en el pueblo de Lago Chapo (El Desagüe), distante 3 km de la estación propia de registro automático instalada en Villa Los Nevados durante este proyecto.

Tabla 18. Precipitación acumulada mensual en el lago Chapo.

1996	Precipitación	1997	Precipitación	1998	Precipitación
MES	mm	MES	mm	MES	mm
enero	130.2	enero	370.9	enero	134.1
febrero	165.0	febrero	130.3	febrero	46.0
marzo	330.4	marzo	134.4	marzo	145.0
abril	283.1	abril	643.8	abril	212.6
mayo	304.5	mayo	192.5	mayo	362.1
junio	252.2	junio	647.8	junio	256.2
julio	334.0	julio	678.2	julio	247.4
agosto	403.7	agosto	376.7	agosto	231.0
septiembre	234.1	septiembre	411.6	septiembre	165.0
octubre	301.3	octubre	373.2	octubre	126.3
noviembre	283.6	noviembre	343.3	noviembre	135.5
diciembre	159.8	diciembre	205.8	diciembre	112.1
Total anual	3181.9		4508.4		2173.3
Tipo de año	NORMAL		HUMEDO		SECO

Dado que las diferencias mensuales registradas desde enero a marzo entre ambas estaciones fueron en general menores (respectivamente de 0.8, 23.8 y 3.0 mm), con la máxima diferencia atribuible a chubascos convectivos de verano, que tienden a presentar un patrón de intensidad de precipitación más local y menos homogéneo que el de sistemas frontales de invierno, se estimó que la información de Endesa puede ser utilizada directamente para suplir la falta de datos de la estación propia desde fines de abril hasta fines de junio (generada por falla de su fuente de poder) y el registro defectuoso de la misma entre fines de septiembre y mediados de noviembre (generado por obturación del canal de escurrimiento del sistema pluviográfico).

Se observa que los meses más lluviosos registrados fueron mayo y junio, mientras que los meses más secos fueron febrero y diciembre. La precipitación total registrada en el primer y tercer cuatrimestre fue muy similar (537.7 mm y 538.9 mm) y equivalente en su conjunto a la caída en el cuatrimestre de invierno (mayo a agosto), que ascendió a 1096.7 mm, lo que es indicativo de la existencia de una fuerte estacionalidad en el aporte pluvial que recibe el lago Chapo, el cual se concentra en invierno. La Tabla 18 permite asimismo comparar la información pluviográfica del año 1998, que constituyó un año extraordinariamente seco, con aquellos del año precedente, que fue más húmedo de lo normal a consecuencia de la ocurrencia del fenómeno El Niño y con el registro del año 1996, que exhibió un patrón de precipitación normal.

Evaporación

Los resultados de la pérdida de agua del lago Chapo por evaporación, calculada en forma de promedios diarios para el área superficial de su espejo como m³/s a partir de los registros automáticos de viento y temperatura, se entregan la Fig. 9. Los valores positivos indican pérdida neta de vapor de agua, en tanto que valores negativos son indicativos de ocurrencia de saturación del aire con vapor de agua y formación de neblina, condiciones que impiden la evaporación desde el lago. La emisión anual de vapor alcanzó un total de 6,12·10⁶ m³.

Aporte pluvial de nitrógeno y fósforo

El resultado de los análisis efectuados a muestras de lluvia mensuales se entrega en la Tabla 19. Tomando en consideración la menor importancia relativa que en general tiene el aporte atmosférico de fósforo frente al de nitrógeno (Duce, 1986; Prado Fiedler, 1988; Prado-Fiedler & Fuenzalida, 1996), la prioridad analítica sobre las muestras de lluvia se concentró en la determinación de las formas nitrogenadas, por lo que las determinaciones directas de fósforo total y fosfato se reducen a tres meses. Por tal motivo, para la estimación de las cargas de fósforo y fosfato aportadas anualmente por precipitaciones se empleó el promedio ponderado por precipitación establecido a partir de estas tres concentraciones.

En el caso de las especies relevantes de nitrógeno se establecieron las cargas aportadas mensualmente por las precipitaciones. Estas cargas mensuales se entregan en la Tabla 20. Las cargas anuales totales aportadas directamente al espejo de aguas del lago Chapo ascienden a 1566 kg de nitrato, 3773 kg de amonio y 41229 kg de nitrógeno total. La fracción inorgánica de nitrógeno directamente utilizable para asimilación por microalgas

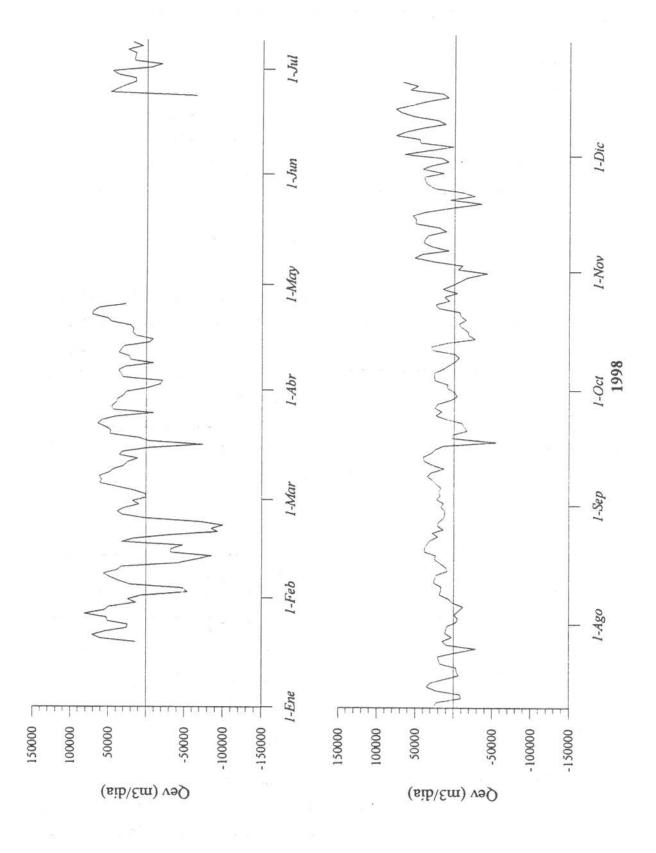
presente en las precipitaciones representa por lo tanto no más de un 13% del aporte pluvial total. Por su parte, la carga anual de fósforo total aportada por lluvias al lago Chapo asciende a 1351 kg y aquella de fosfato a 804 kg.

Tabla 19. Concentraciones de nitrógeno y fósforo en precipitaciones del lago Chapo

MES	AMONIO	NITRATO	N total	P total	PO4
	μg/L	μg/L	µg/L	μg/L	µg/L
enero	12.2	4.2	482	-	-
24-30 enero	4.9	9.8	-	-	-
febrero	58.1	21.0	377	-	-
marzo	413	7.0	940	-	-
abril	2.9	14.0	366	-	-
mayo	3.4	26.6	518	-	-2
junio	2.0	12.6	327	100	-
julio	4.8	21.0	355	-	-
agosto	13.3	8.4	99.3	12	11
septiembre	11.9	25.2	118	-	
octubre	43.8	9.8	143	12	4.3
noviembre	8.7	10.2	165	18	7.1
diciembre	34.5	18.2	1525	-	-

Tabla 20. Cargas mensuales de amonio, nitrato, nitrógeno total y nitrógeno inorgánico aportadas por lluvias al lago Chapo.

MES	Carga de amonio µg/m²	Carga de nitrato µg/m²	Carga de N total µg/m²	Carga de N inorg. µg/m²
enero	1424	724	64577	2150
febrero	2674	966	17358	3640
marzo	59915	1016	136260	60930
abril	625	2978	77852	3603
mayo	1217	9637	187508	10854
junio	502	3230	83674	3732
julio	1178	5198	87814	6376
agosto	3074	1941	22940	5015
septiembre	1964	4160	19483	6125
octubre	5537	1238	18045	6776
noviembre	1177	1383	22295	2559
diciembre	3863	2043	170904	5906
TOTAL ANUAL	83151	34514	908709	117665



68 INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

2. INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO DESDE CENTROS DE CULTIVO

2.1 Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos

El alimento utilizado por los centros de cultivo ubicados en el lago Chapo corresponde a pellets extruidos de dos marcas comerciales diferentes: EWOS (empleado por una empresa) y ALITEC (empleado por dos empresas). La primera de las marcas comerciales nombradas no explicita los contenidos de P y N del alimento en sus envases, declarando la composición nutritiva en porcentaje de materia grasa (18% o 20%, según el tipo Start o Míni), porcentaje de proteínas (53% Start, 50% Mini) y porcentaje de cenizas (10,5 % Start, 11,0 % Mini). La segunda marca mencionada indica los porcentajes nominales de P y N (<1,2% y 8%, respectivamente).

Los resultados obtenidos para los contenidos de fósforo y nitrógeno, así como aquellos de carbono orgánico y materia orgánica total presentes en los alimentos de salmones utilizados se entregan agrupados por cuatrimestre en la Tabla 21. Aun cuando se da alguna variabilidad por centro de cultivo (ejemplificado en las filas correspondientes al primer cuatrimestre), no se detectó diferencia significativa entre los centros para la misma fecha. Los resultados de los análisis permiten apreciar que los proporciones efectivas de fósforo varían entre valores iguales al nominal y diferencias por menor contenido de hasta un 22,5%. En cuanto a los contenidos de nitrógeno, estos son entre un 2,5% y un 15,5% menores que el valor nominal.

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 %
1º (ENERO)	0.93 ± 0.09	$7,80 \pm 0,02$	51,4 ± 0,21	82,9 ± 0,28
1° (ENERO)	$1,06 \pm 0,05$	$7,09 \pm 0,07$	$52,4 \pm 0,35$	$81,6 \pm 0,07$
2° (JUNIO)	0.98 ± 0.04	$6,76 \pm 0,08$	-	-
3° (NOVIEMBRE	$1,20 \pm 0,07$	$7,17 \pm 0,06$	48,6 ± 0,35	$88,5 \pm 0,38$

Considerando que el ingreso de fósforo y nitrógeno desde los alimentos no consumidos por los salmonídeos depende en parte de la liberación del contenido de la fracción soluble en la columna de agua durante la caída gravitacional de los pellets hacia el fondo del lago, se

efectuó para submuestras de alimentos de enero y junio (primer y segundo cuatrimestre) la determinación del tiempo de disolución de los alimentos en medio acuoso, expresándolo como fósforo disuelto en mg de P₂O₆. Los resultados de esta determinación se entregan en forma gráfica en la Fig. 10. Ella permite apreciar que el proceso de disolución sigue un patrón logarítmico de progresión en el tiempo, siendo la velocidad del proceso relativamente lenta (más de tres horas para completarse el plateau de la curva).

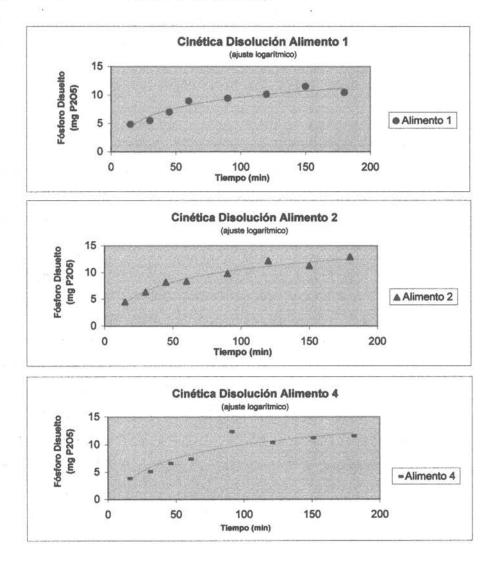


Fig. 10. Tiempo de disolución de atimentos para salmonideos utilizados en centros de cultivo del lago Chapo.

Alimento 1, centro El Desagüe (junio); alimento 2, centro El Desagüe (enero); alimento 4, centro Colulí (enero).

2.2 Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonideos

Para cuantificar el aporte de fósforo y nitrógeno que representan el alimento no consumido y las fecas de los peces de los centros de cultivo del lago Chapo, se instalaron trampas de control de sedimentación natural en tres sitios, ubicados en sectores cercanos a las desembocaduras de los ríos Colulí, Sur y León (frente a islote Betty), Negro, y Pitote. En el último sector nombrado la instalación se realizó sólo en verano (enero), en tanto que frente al islote Betty la instalación se efectuó en invierno (junio) y primavera (noviembre). La selección de los puntos de anclaje obedeció a la cercanía de los principales aportes naturales de materia orgánica particulada (medida como COP) y su relativa proximidad a centros de cultivo. La duración de los anclajes de control fluctuó entre un mínimo de prácticamente 9 días (invierno) y 12 días (verano); los tiempos efectivos de captación en horas aparecen indicados en la Tabla 22. En verano y en primavera se produjo pérdida de trampas en un sector (río Negro y Colulí, respectivamente). Adicionalmente, en primavera no fue posible determinar el aporte de fósforo, nitrógeno y materia orgánica del centro ubicado en El Desagüe, debido a que practicamente la totalidad del altísimo contenido total de sedimento obedeció a desprendimiento de árido de ladera arenosa por erosión fluvial derivada del gran descenso de volumen total experimentado por el lago.

La estimación del ingreso de N y P por sedimentación desde las balsas jaulas se realizó en las mismas épocas del año que la de los controles, suspendiendo en este caso las trampas por un mínimo de 2 días y hasta un máximo de 6 días. Los resultados exhibidos en la Tabla 22 permiten apreciar que la sedimentación natural en el lago Chapo es escasa y por lo mismo su incidencia sobre el flujo de P y N por sedimentación es en la práctica despreciable, afirmación confirmada por los resultados de la Tabla 23, que muestra diferencias de uno y hasta dos ordenes de magnitud entre el flujo natural y el de centros de cultivo en cuanto al flujo de P y N asociado a partículas sedimentables.

La comparación estadística (ANOVA) empleando el software Statistica 5.0 de la información de flujos de nitrógeno, fósforo y materia orgánica aportados por los sedimentos de balsas jaulas permitió establecer una diferencia significativa (p= 0,01) entre estaciones del año sólo para el caso del Nitrógeno. La comparación entre centros permitió establecer diferencias significativas en el caso de un centro (río Este) respecto de los demás para el aporte de nitrógeno (p= 0,0298) y de modo más acentuado aún para la proporción de materia orgánica presente en sus sedimentos (p= 0,000463). Esta diferencia es atribuible al distinto tipo de

alimento empleado por ese centro. Por otra parte, la mayor contribución de nitrógeno por parte de las balsas jaulas (Tabla 23) se observa en invierno, coincidiendo con la mayor cantidad de sedimentos aportados (Tabla 22), probablemente por ser ésta la etapa de crecimiento rápido de los peces.

Tabla 22. Sedimento captado por trampas de sedimentación en el lago Chapo y contenido promedio de nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica de estos sedimentos. Los valores se indican como promedio y error estándar.

UBICACION	EPOCA	TIEMPO DE		NITROGENO		MATERIA
	del AÑO	CAPTURA	CAPTADO	TOTAL	TOTAL	ORGANICA
		(horas)	g/m²·d	%	%	%
Control Pitote	Verano	289.4	0.088	nd	nd	nd
Control Colulí	Verano	287.9	0.113	nd	nd	nd
	Invierno	214.9	0.27	nd	1.21	nd
Control I. Betty	Inviemo	212.5	0.750	nd	nd	nd
	Primavera	216	1.198	nd	nd	nd
Control río Negro	Inviemo	219	7.017	0.53	0.08	7.5
110 a 140 a 150 a	Primavera	216	13.384	nd	5.10	9.09
Centro Colulí	Verano	96	59.33 ± 13.32	2.01 ± 0.22	10.40 ± 0.58	43.63 ± 0.38
	Inviemo	118	56.32 ± 47.79	3.27 ± 0.27	4.62 ± 0.13	60.59 ± 0.75
	Primavera	121	50.76 ± 20.33	3.42 ± 0.21	2.08 ± 0.45	53.01 ± 15.29
Centro río Este	Inviemo	96	186.93 ± 60.00	7.71 ± 0.27	1.41 ±1.01	85.05 ± 0.05
	Primavera	47.8 - 48.2	55.46 ± 35.80	3.40 ± 0.51	3.80 ± 2.31	80.4
Centro El Desague	Verano	120	104.92 ± 49.19	1.90 ± 0.02	8.02 ± 0.55	52.65 ± 1.25
	Inviemo	70.4 - 71	143.39 ± 51.09	3.67 ± 1.53	4.73 ± 1.16	66.09 ± 9.72
179.	Primavera	91.3 - 144.2	2551.7 ± 242.5	nd	nd	nd

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= nitrógeno total; P= fósforo total; MO= materia orgánica.

ESTACION DEL AÑO	UBICACION DE CENTRO DE CULTIVO	FLUJO DE N _t g/m²·día	FLUJO DE P _t g/m²·día	FLUJO DE MO g/m²·día
Verano	Colulí	1,15 ± 0,29	6,2 ± 1,49	25 ± 28,4
	El Desagüe	$1,93 \pm 0,75$	$2,5 \pm 2,8$	33 ± 105
Invierno	Colulí	$1,69 \pm 1,40$	1.2 ± 1.74	30 ± 110
	río Este	14,2 ± 3,4	2.0 ± 0.84	
	El Desagüe	$1,48 \pm 2,00$: (10년에 10년 1일	101 ± 207
Primavera	Colulí	$1,94 \pm 0,68$		$55 \pm 82,9$
	río Este	$5,01 \pm 0,75$		102

2.3 Contenido de fósforo y nitrógeno de los sedimentos del fondo

Los sedimentos del fondo en el lago Chapo fueron obtenidos bajo cada uno de los centros de cultivo existentes, ubicados en las áreas de Colulí, Pitote, río Este y El Desagüe. La obtención de muestras control correspondientes a zona de margen de lago sin influencia antrópica evidente se realizó en la zona de influencia del río Negro, por constituir este la principal fuente natural de carbono orgánico particulado y representar por ende la condición de máximo natural esperado en fondos de margen de lago. Adicionalmente, para caracterizar la zona de transición entre áreas de cultivo y fondo natural no intervenido se obtuvieron muestras de una zona ubicada a mitad de camino entre el centro de cultivo del río Este y el río Negro. Se procuró que las profundidades estuviesen dentro de un rango comparable entre si.

La caracterización en cuanto a su porosidad y a sus contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se efectuó a partir de tres réplicas en cada punto de muestreo. Las muestras fueron obtenidas en el mes de junio. El notable descenso del volumen de las aguas (sobre 20 m en sentido vertical en noviembre de 1998) permitió observar directamente considerables extensiones del fondo normalmente cubiertas por el espejo de aguas a lo largo de todo el lago. Inclusive fue posible sentar pie directamente sobre el bajo presente en la cuenca norte. El fondo alterna roca granítica con cobertura de sedimentos constituidos por arenas gruesas. No se visualizaron limos ni sedimentos arcillosos.

Los resultados obtenidos para la porosidad y contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se entregan en la Tabla 24. En razón a su constitución arenosa, los sedimentos del lago Chapo se caracterizan por baja porosidad (<0,75 en promedio), lo cual significa que una fracción reducida de los mismos se encuentra en la fase líquida y que por lo mismo su densidad y contenido de materia sólida son relativamente altos. La baja variabilidad de los resultados, expresada en términos de las desviaciones estándar, refleja asimismo la notable homogeneidad macroscópica observada. Los contenidos de materia orgánica, excepto en los fondos de dos de los centros de cultivo de salmones son notablemente bajos, como también lo son, en los fondos naturales o poco intervenidos, los contenidos de fósforo y nitrógeno.

Las diferencias entre lo observado bajo los centros de cultivo de El Desagüe y Colulí (fracciones de N 5 veces más altas y de P 10 veces más que lo propio de los centros de río Este y Pitote es atribuible a una menor dinámica de aguas por la naturaleza más abrigada de los primeros dos centros, particularmente aquel de El Desagüe y por otro lado, una relativa

rapidez de degradación en el medio cuando cesa la actividad fuente (caso de fondo muestreado en Pitote, ubicado bajo balsas que permanecieron sin peces la mayor parte de los meses que duró la investigación en terreno.

Tabla 24. Porosidad y contenido total de fósforo, nitrógeno y materia orgánica de los sedimentos de fondo del lago Chapo bajo los diversos centros de cultivo de salmonidos y en áreas de referencia y transición (promedios y desviación estándar),

LUGAR	PROF.	POROSIDAD	%P	% N	% MOT
ZONA FRENTE A RIO NEGRO	28	0,445 ± 0,035	0.02 ± 0.002	0,03 ±0,007	0,95 ± 0,09
ZONA DETRANSICION	24	$0,688 \pm 0,016$	$0,04 \pm 0,005$		$2,88 \pm 0,17$
CENTRO JUNTO A RIO ESTE	23	$0,781 \pm 0,024$	0.05 ± 0.02	$0,14 \pm 0,02$	
CENTRO EL DESAGÜE	32	$0,865 \pm 0,020$	$0,47 \pm 0,15$	$0,43 \pm 0,21$	$17,19 \pm 0,98$
CENTRO PITOTE (balsa sin peces)	30	$0,723 \pm 0,029$	$0,06 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,06$	$3,97 \pm 0,17$
CENTRO COLULI	28	$0,902 \pm 0,025$	$0,61 \pm 0,22$	$0,49 \pm 0,18$	$21,67 \pm 1,23$

3. BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO CHAPO

3.1.1 Caracterización física de la columna de agua

Circulación de las aguas

Para determinar las corrientes del lago se utilizaron derivadores liberados a tres profundidades, complementado con el anclaje de un correntómetro Sensordata instalado a 2 m de profundidad. Este procedimiento se realizó en cada una de las tres campañas intensivas de muestreo (enero, junio, noviembre) para caracterizar las dos condiciones extremas del año en cuanto a la estructura física de la columna de agua (estratificación estival y homogeneidad convectiva invernal) y la transición entre ambas coincidente con los deshielos primaverales.

La Figura 11 muestra el desplazamiento en enero de los derivadores ubicados a 0, 5 y 15 m de profundidad y liberados frente a punta La Cabeza. Todos los derivadores se desplazaron hacía el sur-sureste. Las condiciones meteorológicas durante el seguimiento de los derivadores fueron viento moderado (2 m·s⁻¹) del este-sureste (opuesto a la dirección de la corriente), baja presión atmosférica y ausencia de lluvia. Las intensidades medias de la

corriente a 0, 5 y 15 m fueron de 16.1, 9.8 y 9.0 cm·s⁻¹ respectivamente. No se presentan las series de corriente de enero debido a que las intensidades registradas por el correntómetro fueron menores al límite de detección del equipo (1 cm·s⁻¹) y por lo tanto demasiado bajas para ser registradas por el equipo. Las bajas intensidades se explican por la ubicación muy costera del correntómetro en el brazo norte del lago.

En la medición de invierno (realizada a fines de junio), los derivadores a 0, 5 y 10 m se desplazaron hacia el normoroeste con velocidad media de 5.4 cm·s⁻¹ e superficie y 5,3 cm·s⁻¹ a 5 y 10 m de profundidad (Fig. 12). En esta época del año no se presentaron diferencias en la velocidad con la profundidad, indicando una estructura de velocidad verticalmente homogénea. En la medición primaveral realizada a fines de noviembre, los derivadores fueron liberados en el centro del extremo noroeste del lago. En esta oportunidad, los derivadores a 0, 5 y 10 m se desplazaron hacia el noreste con velocidades medias de 6.3, 4.5 y 5.4 cm·s⁻¹ respectivamente (Fig. 13). Nuevamente se presentó una estructura vertical de velocidad homogénea.

La corriente euleriana en junio registrada mediante correntómetro en la parte sur del lago, cerca del punto desagüe actual hacia Canutillar, presentó intensidades menores a 1 cm·s⁻¹ y una dirección predominante hacia el sur. La corriente registrada en noviembre en esa misma parte del lago mostró intensidades entre 0 y 8 cm·s⁻¹ con dirección predominante hacia el N (Fig. 14).

En general se puede afirmar que el lago presenta una circulación homogénea en la capa superior determinada por el viento, con una fuerte variabilidad intradiaria e interdiaria. La excepción ocurre cerca del desagüe del lago en donde se registra un flujo saliente constante. Las corrientes son más intensas en primavera que en invierno.

Distribución de estaciones

El muestreo se realizó en un total de 14 estaciones distribuidas de modo de cubrir toda el área del lago y permitir un apropiado cálculo de isolineas para cada uno de los parámetros medidos. La ubicación de las estaciones y de las dos secciones construidas con la información obtenida se entrega en la Figura 15. Las latitudes y longitudes se expresan en coordenadas UTM, que posibilitan la medición directa en kilómetros.

La información obtenida se presenta en forma de perfiles verticales para la temperatura y de distribuciones horizontales y secciones verticales para cada uno de los parámetros

químicos. La sección 1 corresponde a la vertiente oriental del lago y la sección 2 a la occidental. La interpolación en las distribuciones horizontales se realizó empleando el método Kriging con variograma lineal, teniendo una anisotropía de 1,0 con efecto Nugget 0 en error de varianza. La resolución obtenida es de 116 metros en latitud y 148 metros en longitud. A su vez el cálculo de isolíneas de las secciones verticales se efectuó mediante método Kriging cuadrático, teniendo una anisotropía de 0,1 con efecto Nugget 0 en error de varianza. La resolución en las secciones del lago Chapo es de 175 m en la horizontal y 5 m en la vertical . Todas las secciones y sus correspondientes cálculos se realizaron empleando el software Surfer®6.0.

Estructura térmica

Los perfiles de temperatura resultantes para cada estación en los dos muestreos de enero de 1998 se entregan en las Figuras 16 y 17. En ellos es posible apreciar la existencia de dos estratos separados por una fuerte termoclina establecida entre aproximadamente 15 a 40 m de profundidad. La capa superficial o epilimnio estuvo caracterizada por una temperatura de 16 a 17 °C y notable homogeneidad. Esta homogeneidad del epilimnio se aprecia mejor en la ampliación de escala para uno de los perfiles (Est. 2) de la Figura 16. Las características de estratificación reseñadas se mantuvieron durante todo el período prácticamente sin cambios. Las correspondientes secciones sur (Fig. 18) y norte (Fig. 19) permiten apreciar una estructura térmica idéntica en los márgenes oriental y occidental del lago, con relativamente poco cambio en el tiempo, manifestado por una profundización de la isoterma de 16°C y ligero ascenso de la isoterma de 9°C, que determina una ligera intensificación del gradiente térmico de la termoclina. Otra característica relevante de la estructura térmica de verano es la presencia de mayor temperatura en el extremo sur del lago, donde se observaron valores mayores de 16.5°C en todo el período de mediciones.

Los perfiles de temperaturas realizados con el CTD durante junio (Figuras 20 y 21) muestran la permanencia de una estructura vertical estratificada con una termoclina entre los 30 a 40 m de profundidad, que separa temperaturas de la capa superior de 10.5 °C de las temperaturas profundas menores de 9 °C. La distribución vertical de temperatura a lo largo del eje principal del lago para el mes de junio (Fig. 22) muestra una estructura homogénea de sur a norte con una apreciable estratificación vertical. La diferencia de temperatura entre superficie y los 60 m es de 2°C. Esta estructura revela que el proceso de enfriamiento de la columna de agua, que ha disminuido en 6 °C el gradiente vertical respecto al verano, progresa lentamente

y no ha concluido la ruptura de la termoclina en junio. El epilimnio ha avanzado hasta los 30 m de profundidad.

En noviembre la termoclina se ubica a una profundidad media de 17 m, producto del aumento de la radiación solar para esa época. La temperatura de la capa superior es del orden de los 14 °C mientras que la capa profunda mantiene una temperatura inferior a 9 °C (Figuras 23 y 24). La sección vertical de temperatura para el mes de noviembre también muestra una estructura homogénea de sur a norte con una fuerte estratificación vertical (Fig. 25). La diferencia de temperatura entre superficie y los 60 m es de 6 °C. La capa superficial de los extremos sur y norte presentaron un mayor calentamiento que el resto del lago.

Si comparamos las series diarias de temperatura superficial registradas por el sensor del correntómetro en junio y noviembre (Fig. 26), observamos en invierno una temperatura casi constante. En primavera sin embargo se presentó mayor fluctuación interdiaria en respuesta a la mayor diferenciación en la temperatura del aire entre el día y la noche. La serie de tiempo anual (Fig. 26) permite apreciar que el lago Chapo permanece estratificado la mayor parte del año y que sólo durante mediados de julio y hasta comienzos de agosto se establece homogeneidad térmica vertical, permitiendo la mezcla, lo que da un carácter monomíctico al cuerpo de agua. El nivel que establece la división entre aguas frías y calientes para el lago Chapo se sitúa a los 30 m de profundidad.

Transparencia

El lago Chapo se caracteriza por una elevada transparencia a lo largo de toda su extensión durante todo el año y particularmente en condiciones de verano. La transparencia medida con disco Secchi fluctuó en promedio entre un mínimo de 8,5 m en primavera y un máximo de 14,1 m en verano (Fig. 27). Los menores valores en los extremos NW y SE del lago, particularmente en el primero de los dos, donde se registró el mínimo absoluto en primavera (Estación 1, Tabla 25). A su vez la mayor transparencia se registró en la zona central del lago comprendida entre las puntas La Cabeza y Pascual, con el máximo absoluto de 17,8 m hacia la ribera este frente a punta Cabeza (estación 7, verano).

Tabla 25. Transparencia del lago Chapo medida como profundidad de disco Secchi en metros durante las campañas intensivas de verano, invierno y primavera.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Verano								,					-	
Muestreo 1	12,4	7,6	13,5	15	15	14,3	14	15,3	14	14	14,5	14,4	14,1	15,2
Muestreo 2	13	17	15	17,4	17	16	17,8	15,9	16	14,8	15	13,4	14	13
Invierno														
Muestreo 1	8	10	10	10	8,5	8	10	10,5	9,2	10	10	10	10	10
Muestreo 2	9	-	10	10	11,3	11	-	-	9	4	5	11,3	12	12
Primavera														
Muestreo 1	7	12,5	12	11,5	13	12	10	11,4	8	8,5	-	9	9	9
Muestreo 2	4	8	9	8	11,5	11,5	9	8	9	8,5	8	7,5	7,5	7,5

Turbidez

El lago Chapo se caracterizó a lo largo de todo el año por bajísimos niveles de turbidez, propios de aguas oligotróficas de gran pureza (Fig. 27). Los mínimos se presentaron en verano y el máximo fue observado en invierno, asociado a la incorporación de material en suspensión por el aumento del arrastre fluvial que generan las mayores precipitaciones en esta época del año.

En verano se presentó una virtual ausencia de turbidez (Figs. 28, 29 y 30), que en buena parte de la extensión del lago y particularmente en el segundo muestreo, presentó valores propios de agua destilada (<0,05 NTU). En superficie, los mayores valores, aun cuando bajos en términos absolutos, se observaron asociados a las descargas fluviales de la vertiente sudoccidental del lago. En invierno la distribución horizontal acusa el arrastre de material suspendido por los ríos situados en el margen norte (Fig. 31), en tanto la distribución vertical (Figs. 32 y 33) mantiene el mismo patrón general del verano, con mayores valores hacia los extremos del lago y a nivel subsuperficial.

En primavera la distribución superficial (Fig. 34) refleja el efecto de los mayores aportes por erosión del litoral en punta La Cabeza, sector El Desagüe y ribera norte por el dramático descenso del nivel del lago que ha resultado del mayor gasto de agua por sequía, combinado con la acción de oleaje intenso en días de viento sobre los bordes litorales consecuentemente expuestos por descenso de las aguas. De igual modo el torrente de los ríos de mayor caudal en el margen sudoeste ha pasado a erodar sedimento previamente asentado en el fondo. Los

máximos subsuperficiales característicos se mantienen en torno a los 20 a 25 m (Figs. 35 y 36), acusando la discontinuidad de densidad que establece la termoclina.

3.1.2 Caracterización química de la columna de agua

Fósforo total

El contenido de fósforo total del lago Chapo es bajo, con valores usuales entre 4 y 9 μg/L y extremos que pueden alcanzar ocasionalmente en las inmediaciones de la riberas norte y noroeste (estaciones 1 y 2) poco más de 20 μg/L. En verano las concentraciones superficiales más altas se presentan en el brazo norte del lago, con su máximo junto a la desembocadura del río Este (Fig. 37). La distribución vertical en esta época del año se caracteriza por la extensión relativamente uniforma de los bajos valores, entre 5 y 7 μg/L, con la excepción de un estrato superficial en el extremo norte del lago (estación 1, Figura 38 y 39).

En invierno, como respuesta al aumento de los aportes fluviales desde los ríos situados en las riberas sur y sudeste, se produce en superficie un aumento del contenido de fósforo asociado a las orillas del brazo sur del lago, manteniéndose de todos modos las concentraciones máximas en el brazo norte (Fig. 40). La distribución vertical de invierno acusa el ingreso superficial de fósforo, encontrándose concentraciones más altas en un estrato que progresa desde la superficie en el norte hasta unos 20 m en el sur (Fig. 41 y 42).

En primavera se observa una intensificación de los máximos correspondientes a los ríos Este, Sur y Pitote en el patrón de distribución superficial de fósforo (Fig. 43). En profundidad se observa una migración en sentido norte (hacia estación 1) de las mayores concentraciones de fósforo ingresadas en superficie por el margen sur, correspondiente a las estaciones 13 y 14 (Figs. 44 y 45), lo cual es consistente con el patrón de circulación observado para esta época del año. Simultáneamente, al comparar ambas secciones, es posible percibir el hundimiento del fósforo total en sentido oeste-este (estación 13 a 12), en clara conexión con los aportes de los ríos Sur y León.

La distribución temporal del fósforo muestra la persistencia de valores bajos (<10 μg/L) y relativa uniformidad vertical a lo largo de todo el año, con alternancias entre concentraciones <6 μg/L y >8 μg/L (Fig. 46). Este patrón de distribución muestra la existencia de una respuesta rápida a aportes de corto período alimentados por descargas fluviales asociadas a los eventos de precipitación.

Fosfato

El contenido de fósforo presente como ortofosfato en el lago Chapo en verano fue bajo, caracterizado en general por valores entre 3 y 6 µg/L. La distribución superficial de las concentraciones fosfato se presentan en las Figura 47. En ella se puede apreciar que los valores de fosfato fueron mayores en las vertientes oriental y norte del lago, particularmente en la zona vecina al río Este. La distribución vertical en verano (Figuras 48 y 49) muestran la presencia de la estratificación determinada por la termoclina en la dirección de las isolineas, que tendieron a adoptar un sentido horizontal a una profundidad entre 20 y 30 m. La parte central del lago empero tendió a una mayor homogeneidad, sobre todo al comienzo del período (muestreo 1).

En invierno la concentración en superficie permanece baja para la mayor parte del lago (<4 μg/L) y se acentúa la preponderancia de la vertiente norte en la distribución superficial del fosfato, que determina una franja costera con concentraciones > 6 μg/L, con su máximo en la desembocadura del río Este (Fig. 50). En profundidad (Figs. 51 y 52) la distribución es homogénea bajo los 30 m, predominando concentraciones bajo 4 μg/L para todo el cuerpo de agua. Valores mayores se observaron en el epilimnio, particularmente en el margen oriental del lago (sección 1, Fig. 51).

En primavera, el fosfato mantiene la distribución superficial caracterizada por bajas concentraciones en la parte central del lago y franja norte con concentraciones relativamente altas, intensificándose los máximos y reapareciendo el patrón de valores mayores hacia la vertiente oriental, situación que refleja los aportes por derretimiento de hielos de las cumbres existentes en ese sector (Fig. 53). En sentido vertical se observa la existencia de dos zonas de máximo con sus núcleos a 20 m de profundidad, una ubicada al norte, con su origen en la estación 1 y otra de mayor potencia, ubicada hacia el sur del lago (estación 13, Fig. 54 y estación 14, Fig. 55).

A lo largo del año, el fosfato en la columna de agua del lago Chapo se caracteriza por bajas concentraciones, las que durante 1998 no alcanzaron para ningún nivel de profundidad en ningún momento la valla de los 10 μg/L, mantenléndose en promedio sus valores bajo los 5 μg/L (Fig. 46). La distribución temporal anual se caracteriza por presentar una variación estacional con valores máximos a fines del invierno (agosto) y los mínimos al comienzo de la primavera (finales de septiembre).

Nitrógeno total

En verano el contenido de nitrógeno total en superficie presentó valores levemente mayores de 100 μg/L para la mayor parte de la extensión del lago, con concentraciones mayores cerca de las orillas, en particular en su margen oeste (punta la Cabeza y sector El Desagüe, Fig. 56). La columna de agua en ese mismo período mostró en general concentraciones relativamente homogéneas entre 100 y 120 μg/L, con valores más altos en general restringidos al sector norte superficial (estaciones 1 y 2, Figs. 57 y 58).

En invierno las concentraciones superficiales de nitrógeno total son más bajas y los mayores valores se encuentran en la zona costera frente a los ríos Negro, León y Sur (Fig. 59). La distribución vertical se caracterizó por mayores concentraciones en el tercio sur del lago, con máximos subsuperficiales >300 μg/L a unos 30 m, justo sobre el límite superior de la termoclina y concentraciones entre 100 y 150 μg/L para el resto del cuerpo de agua (Figs. 60 y 61).

En primavera se registraron los niveles más altos de nitrógeno total para el lago, con concentraciones que superaron los 200 µg/L en sectores considerables de la superficie (Fig. 62) y que en profundidad sobrepasaron los 250 µg/L tanto frente al sector de confluencia de los ríos Sur y León (estaciones 13 y 12) como en aquel frente al río Negro (estación 5), con una notable variación interdiaria y rápido hundimiento, visible al comparar los muestreos 1 y 2 de cada sección (Figs. 63 y 64). Por haberse registrado precipitaciones de regular intensidad en la primera mitad de la campaña, presentando los ríos señalados caudales 5 veces más altos que los registrados para la segunda parte de la misma, la distribución del nitrógeno total observada es indicativa de la asociación de estas altas concentraciones a material orgánico particulado de rápida tasa de hundimiento.

La distribución temporal del nitrógeno total a lo largo del año 1998 (Fig. 65) muestra que las concentraciones tienden a mantenerse estables entre poco menos de 100 µg/L y 150 µg/L en toda la columna de agua, con aparición de máximos notables en agosto y noviembre, que fueron observados inmediatamente después de copiosas y largas precipitaciones de lluvia, con consecuente arrastre de material.

Nitrato

En verano, el contenido de nitrógeno en forma de nitrato a nivel superficial en el lago Chapo se presentó bajo, con valores menores que 10 µg/L, excepto en las cercanías de desembocaduras de ríos (Fig. 66). Similarmente a lo observado para el fosfato, las concentraciones del lago a nivel superficial resultaron más altas en su vertiente oriental, con valores mayores que 10 μg/L. En vastas zonas de la mitad occidental, en cambio, se presentaron concentraciones bajo el límite de detección (<0,7 μg/L), en especial al final del período (2º muestreo). La distribución vertical (Figuras 67 y 68) se caracterizó por una clara separación en dos capas a lo largo del lago. El estrato superior presentó concentraciones menores que 10 μg/L e incluso en su parte sur (estaciones 9 a 13), tuvo valores bajo el límite de detección que se extendieron hasta los 25 m de profundidad. Bajo ese nivel se observó un marcado gradiente de aumento de concentración con la profundidad, superando los 25 μg/L a los 80-85 m.

En invierno, excepto para la zona del lago comprendida entre las desembocaduras de los ríos Sur, León y Tronador por el sur y Pitote por el norte, el lago Chapo presentó concentraciones incluso más bajas en superficie que las registradas en verano (Fig. 69). La distribución vertical en esta época del año mantuvo la estratificación con muy bajas concentraciones en prácticamente todo el epilimnio, cerca o bajo el límite de detección, salvo por la irrupción de altas concentraciones desde la superficie en el sector frente a los ríos recién nombrados (estaciones 11 a 13) durante la primera etapa de la campaña de muestreo intensivo, las que para la segunda etapa ya habían desaparecido (Figs. 70 y 71). Esta peculiaridad refleja la existencia de pulsos de mayor concentración de nitrato asociada a material suspendido de rápida sedimentación provisto por el aumento de caudal de los ríos tras episodios de precipitación cuantiosa. A mayor profundidad se observó la mantención de un fuerte gradiente vertical de N-nitrato (0,5 µg/L), que se extiende hasta los 90 m, clara indicación de la efectividad de la discontinuidad térmica como barrera para la migración del nitrato hacia el epilimnio.

En primavera el grado de disminución de la concentración en la capa superficial fue notable, cayendo bajo el límite de detección en una extensión considerable de su área. Sólo en el margen sudoeste y frente a las desembocaduras de los ríos Sur, Pitote y Negro fue posible observar un aumento en forma de cinturón circunscrito a las orillas (Fig. 72). La distribución vertical mantuvo el patrón de muy bajas concentraciones en los 30 m superficiales y un fuerte gradiente entre esa profundidad y los 100 m (Figs. 73 y 74). A profundidades mayores y hasta los 230 m el aumento es muy gradual, alcanzando poco más de 35 µg/L.

La distribución vertical en una serie de tiempo anual (Fig. 65) mostró la persistencia de un estrato de bajas concentraciones (< 5 µg/L), que se extendió hasta unos 40 m de profundidad máxima a fines de la primavera (noviembre - diciembre) y la permanencia durante casi todo el año de un intenso gradiente vertical entre los 40 y los 100 m de profundidad. Este patrón de distribución sólo se rompió en entre fines de julio y fines de agosto, ascendiendo en este último mes la isolínea de 10 µg/L hasta prácticamente aflorar en superficie como consecuencia de la mezcla vertical por ruptura del gradiente de densidad térmico.

Nitrito

En verano esta forma oxidada de nitrógeno exhibió en general concentraciones muy bajas en toda la columna de agua (< 1 µg/L) y en particular, bajo el límite de detección en parte considerable de la extensión superficial del lago (Fig. 75). La variabilidad temporal de corto período fue considerable, tanto en superficie como a nivel profundo (Figuras 76 y 77).

En invierno la concentración de N-nitrito a nivel superficial aumenta a niveles cercanos o levemente superiores a 1 µg/L (Fig. 78) y en profundidad, conjuntamente con una considerable variabilidad espacial, alcanza sus mayores concentraciones en el límite inferior del epilimnio, con valores de hasta 3 µg/L (Figs. 79 y 80).

En primavera, esta forma de nitrógeno bioasimilable prácticamente desaparece y en la mayor parte del cuerpo de agua su concentración se encuentra inmediata a su límite de detección o bajo el mismo (Figs. 81, 82 y 83),

La distribución temporal del nitrito en la columna de agua se caracterizó por concentraciones muy bajas (< 0,5 µg/L) durante la mayor parte del año, con dos períodos de aumento aun cuando con persistencia de bajas concentraciones en términos absolutos: mayo a nivel subsuperficial y septiembre a nivel profundo (Fig. 84). Estos aumentos probablemente obedecen a la descomposición de material planctónico y consecuente oxidación de nitrógeno orgánico.

Amonio

La distribución superficial del nitrógeno en forma de amonio en verano se presenta en la Figura 85. Ella permite apreciar bajas concentraciones (< 10 µg/L) prácticamente en toda la extensión del lago. Los mayores valores (de todos maneras bajos) aparecieron asociados a las desembocaduras de los principales ríos. En profundidad las concentraciones también se presentaron bajas (Figuras 37 y 38), en particular en la zona del lago situada entre el antiguo

desagüe, río Negro y punta Cabeza (estaciones 1 a 7), donde una considerable porción de la columna de agua se mantuvo con valores bajo 5 µg/L. La cuenca sur del lago exhibió, junto con valores más altos, una mayor variabilidad en la distribución vertical del amonio.

En invierno la concentración superficial N-amonio se mantuvo baja, cayendo incluso a valores menores de 1 μg/L en una extensión considerable del lago (Fig. 88). Sólo en una estación ubicada vecina al río Negro se produjo un aumento de la concentración en superficie. La distribución vertical exhibió, con la notable excepción de dos estaciones cercanas al río negro (estaciones 5 y 6), concentraciones notablemente bajas de esta forma de nitrógeno (Figs. 89 y 90), que en la vertiente occidental del lago (Sección II) se mantuvo bajo 1 μg/L en la mayor parte de su extensión.

En la etapa final de la primavera se mantuvo el patrón general de distribución de bajas concentraciones a nivel superficial en el brazo sur del lago, a excepción del margen sudoeste del mismo, que exhibió altas concentraciones provenientes de la descarga fluvial (Fig. 91). La columna de agua presentó concentraciones bajas en prácticamente toda la extensión del lago (Figs. 92 y 93).

La distribución del nitrógeno de amonio en el lago Chapo a lo largo del año (Fig. 84), se caracterizó por una marcada estacionalidad, con concentraciones bajas en invierno y desde noviembre hasta enero, alternadas con altas concentraciones en abril y particularmente en la etapa media de la primavera (octubre).

Clorofila

La distribución superficial de clorofila en enero se caracterizó por bajos valores, menores de 0,5 mg/m³, con tendencia a disminuir al progresar del verano (Fig. 94). En profundidad se observó un gradiente de aumento a lo largo de todo el lago, que alcanzó su máximo a 25 m (zona de comienzo de la termoclina), con valores cercanos a 1,0 mg/m³ (Figuras 95 y 96).

En invierno la distribución superficial de clorofila exhibió un claro máximo superficial situado a mediados de junio en la sección noroeste del lago, con un gradiente horizontal de disminución en sentido sudeste, distribución que evolucionó con desplazamiento del máximo hacia la región central del lago al mismo tiempo que disminuyó la intensidad del mismo (Fig. 97). El patrón de distribución vertical (Figs. 98 y 99) varió respecto al de enero, encontrándose el máximo de clorofila inicialmente a nivel superficial en el extremo noroeste (estaciones 1 y 3,

muestreo de invierno 1) y evolucionando en el tiempo con un desplazamiento tanto horizontal como en profundidad, hasta quedar con el máximo situado en profundidad al sur (estaciones 13 y 14).

En primavera la distribución de la clorofila se caracterizó por bajas concentraciones superficiales, menores de 0,5 mg/m³ (Fig. 100) y un muy intenso gradiente vertical de aumento hasta alcanzar un máximo situado a 20 m de profundidad, con concentraciones de hasta más de 6 mg/m³ (Figs. 101 y 102), lo que hace suponer que se pesquisó el máximo valor que se establece en el lago.

La distribución de clorofila en el lago Chapo a lo largo del año (Fig. 103), se caracterizó por una marcada estacionalidad, con concentraciones máximas en septiembre y noviembre (primavera), así como marzo, alternadas con bajas concentraciones en abril y en enero.

Oxígeno disuelto

El contenido de oxigeno disuelto en el epilimnio fue alto durante todo el año, con valores en general sobre 10 mg/L, correspondientes a saturación o muy próximos a saturación (Fig. 103). Sólo en marzo se observa un leve descenso de la concentración, equivalente a un nivel de subsaturación de aproximadamente 80%. La concentración superficial es bastante homogénea para todas las estaciones del año, en promedio 10,5 mg/L (Figs. 104, 105 y 106). El rango de variación en superficie alcanza su máxima amplitud en verano, con valores entre 8,5 y 11,7 mg/L. Los máximos se situaron junto a la desembocadura de ríos en tanto que los mínimos aparecieron asociados a las zonas relativamente protegidas del viento.

La distribución vertical (Figs. 107 a 112) muestra la permanencia de un fuerte gradiente de disminución de la concentración con la profundidad que es coincidente con el metalimnion durante todas las estaciones del año, indicativo de la dependencia estrecha del oxígeno profundo de procesos difusivos. Las concentraciones de este gradiente representan saturaciones entre 70 y 85 %. Sólo en verano se observaron gradientes inversos, de disminución de la concentración desde los 20 m hacia la superficie, por transferencia hacia la atmósfera debida a disminución de la solubilidad en respuesta al forzante radiativo (Figs. 107 y 108). Las concentraciones correspondientes a saturación de oxígeno disuelto (>10 mg/L) alcanzaron en verano (Figs. 107 y 108) profundidades levemente mayores que aquellas de invierno (Figs. 109 y 110). Dado que la profundidad del límite de la termoclina fue mayor en invierno, la diferencia es atribuible a producción *in situ* por fitoplancton en verano, habida

consideración de la ubicación del máximo de clorofila a 25 m en esa época. Habida consideración de las características descritas, la concentración de oxígeno disuelto en la parte profunda del hipolimnion (Fig. 112) ha de mantenerse estable durante todo el año en valores levemente superiores a 4 mg/L, equivalentes a la temperatura del lugar a un mínimo de 35% de saturación de oxígeno.

pH

La concentración de ion hidrógeno expresada como pH se caracterizó en verano por valores neutrales o prácticamente neutrales en toda la columna de agua. Aquellos correspondientes a superficie muestran que la mayor extensión del lago se caracterizó a nivel superficial por valores entre 6,8 y 7,2 con la única excepción de la zona situada cerca del pueblo de Lago Chapo, que presentó menos de 6,4 en una oportunidad (Fig. 113). El patrón de distribución vertical se caracterizó por valores similares a lo largo del eje mayor del lago, disminuyendo desde más de 7,2 en superficie a poco más de 6,8 a 90 m de profundidad (Figuras 114 y 115). Similarmente a lo observado en superficie, valores menores de 6,4 se presentaron también en la estación 1.

En invierno se observaron los mismos patrones de distribución horizontal y vertical del verano, sólo que con valores de pH levemente más bajos. A nivel superficial los valores variaron entre 6,4 y 7,0 (Fig. 116). A nivel vertical, el gradiente de disminución fue desde valores cercanos a 6,8 en superficie hasta 6,4 a 90 m (Figs. 117 y 118).

En primavera el gradiente horizontal retornó a variaciones similares a las de verano, entre un mínimo de 6,8 y un máximo levemente más alcalino, de 7,4 (Fig. 119). En esta estación del año cambió la disposición espacial de los valores mínimos, que en esta oportunidad se situaron al sur, y máximos, situados al norte y noroeste. La distribución vertical fue similar a la de verano, con una disminución progresiva en profundidad hasta valores mínimos levemente inferiores a 6,5 a 230 m (Figs. 120 y 121).

La distribución del pH en el tiempo (Fig.122) muestra la mantención de valores cercanos a la neutralidad durante prácticamente todo el año, con un máximo en noviembre valores de hasta 7,4 y un mínimo al concluir el invierno (septiembre), tras concretarse la mezcla vertical.

Alcalinidad

Los resultados de la determinación de alcalinidad del lago Chapo muestran baja variabilidad durante el año, con valores que fluctúan entre un máximo a fines de primavera (noviembre - diciembre) y un mínimo en verano (Fig. 122). El rango máximo de variación en superficie se situó entre 8 y 20 mg/L de CaCO₃, con la mayor extensión entre los 10 a 12 mg/L de CaCO₃ y un patrón de variación horizontal similar para las distintas estaciones del año (Figuras 123, 124 y 125). Los valores extremos se encuentran circunscritos a las orillas, asociados a las descargas fluviales. En profundidad la alcalinidad es bastante homogénea (Figuras 126 a 131), con valores entre 9,5 y 13 mg/L de CaCO₃, mostrando un aumento paulatino y leve desde el SE (estaciones 13 y 14) hacia el NW (estaciones 3 y 2). Los valores de alcalinidad obtenidos para el lago Chapo son bajos y corresponden a la determinada por bicarbonato.

3.2 BALANCE HIDRICO DEL LAGO CHAPO

El balance hídrico del lago se estableció como variación de su volumen a partir de la suma de los ingresos y egresos de agua, como ΔV= ingresos - egresos. Para establecer el balance hídrico de la cuenca del lago Chapo se cuantificaron como componentes de ingreso por medición directa la suma de los caudales de afluentes hídricos y los aportes por lluvia y en forma indirecta, el aporte subterráneo, por diferencias de nivel entre la cota medida y la cota esperada a partir de la suma de los aportes de afluentes y caída directa de lluvia. Como componentes de egreso se cuantificó el caudal de la descarga generada por la central Canutillar (único curso efluente del lago) y la evaporación. Los resultados de cada uno de los términos del balance han sido individualmente reportados en las secciones precedentes del capítulo del lago Chapo en este informe.

La presencia de la represa de Canutillar en el lago Chapo interfiere directamente en los cálculos del balance de volumen, por lo que se presentan aquí los resultados obtenidos a partir de datos complementarios para 1998, adquiridos a ENDESA S.A., correspondientes a valores diarios de los caudales de los afluentes y efluentes (represa), así como variación de la cota del lago.

La Figura 132 muestra el caudal medio diario (m³/s) aportado al lago por los afluentes, el caudal medio diario (m³/s) extraído del lago por la represa de Canutillar y la altura diaria de la cota sobre el nivel del mar (m) del lago. Se aprecia una clara irregularidad en los caudales

diarios de los afluentes a lo largo del año, alcanzándose valores de hasta 300 m³/s. El caudal correspondiente a la pérdida por la descarga hacia la central hidroeléctrica mostró una mayor regularidad, en especial entre los meses de febrero y septiembre, con valores máximos diarios cercanos a 90 m3/s. La variación en el tiempo de la cota muestra una pérdida regular y constante de volumen entre enero y diciembre, apareciendo pequeñas recuperaciones en invierno.

Asumiendo un área planar media del lago de 45 km² en enero y de 44 km² en diciembre, determinadas a partir de las cartas geográficas, se calculó la variación en el tiempo del volumen del lago determinado por la variación de la cota. Este volumen muestra una disminución gradual a lo largo del año, con una pérdida total de 0.967 km3 (Fig. 133a). También se estimó el volumen a partir de la diferencia entre los flujos entrantes al lago por los afluentes y los flujos salientes por la represa. La curva es muy similar al volumen por cota, con valores muy parecidos, por lo que ambas estimaciones parecen correctas. En este caso el volumen perdido en el año asciende a 0.990 km3 (Fig. 133b). Se presenta una relativamente pequeña diferencia entre ambos volúmenes, de 0.023 km³ en el año, que puede relacionarse con aporte subterráneo indirecto no registrado de agua lluvia (Fig. 133c).

El cálculo del tiempo de renovación del volumen del lago Chapo establece, para las condiciones de descarga imperantes en 1998, un resultado de 3,4 años. Esto implica que la capacidad de renovación anual del agua es de un 30% del volumen total.

3.3 Masa total de fósforo y nitrógeno contenida en el lago

Las masas totales de las principales formas de fósforo y nitrógeno obtenidas a partir de las sumas de sus contenidos por estrato en el lago Chapo se presentan en la Tabla 26. La masa total de fósforo contenida en el lago tuvo un promedio de 49,6 toneladas métricas, con un rango de variación relativamente relativamente ajustado de un 34% respecto al promedio (mínimo 42,6 toneladas en octubre, máximo 59,5 toneladas en diciembre). La forma de fósforo de inmediata disponibilidad para productores primarios (ortofosfato) representó, con una masa promedio de 22,8 toneladas métricas, una media de 46% del contenido total de fósforo. Su variabilidad intranual fue considerable, con un amplio rango entre un máximo de 39,1 toneladas en julio y un mínimo de 15,5 toneladas en septiembre. El patrón de variación mensual de su abundancia acompaña al del fósforo total sólo entre octubre y mayo,

exhibiendo una dirección de cambio distinta en el resto del período (junio a septiembre) y presentando una estacionalidad más acentuada (Fig. 134).

Tabla 26. Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago Chapo.

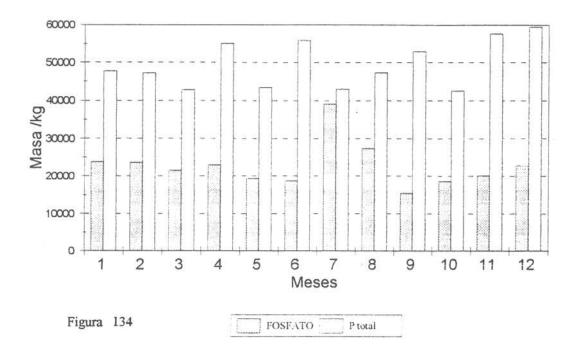
	FOSFORO	FOSFATO	NITROGENO	NITRATO	NITRITO	AMONIO
MES	TOTAL /kg	kg	TOTAL /kg	kg	kg	kg
Enero	47706	23798	950266	138442	1504	27097
Febrero	47269	23663	947674	136858	1492	29570
Marzo	42863	21551	911510	111497	1315	68946
Abril	55105	23037	953484	127115	1483	43876
Mayo	43448	19361	985933	110878	3287	63481
Junio	55885	18773	997114	121482	3514	24054
Julio	42986	39118	1006652	143475	1913	44687
Agosto	47314	27422	1090476	154651	1958	29103
Septiembre	52902	15501	921966	140158	2310	36810
Octubre	42627	18624	906318	133146	1416	38514
Noviembre	57598	20113	1051313	132910	1548	47143
Diciembre	59470	22932	923353	111648	1245	38090
PROMEDIO ANUAL	49598	22824	970505	130188	1915	40948

Por su parte, la masa total de nitrógeno contenida en el lago Chapo tuvo un promedio de 970,5 toneladas métricas, con un rango de variación bajo, de un 19% respecto al promedio (mínimo 906,3 toneladas en octubre, máximo 1051,3 toneladas en noviembre). La fracción inorgánica del nitrógeno osciló entre un 15% y un 20% durante el año; en promedio esta fracción representa el 17,8% y está constituida principalmente por nitrato (13,4% del nitrógeno total). Los contenidos mínimos y los máximos de cada uno de los compuestos inorgánicos de nitrógeno (nitrato, nitrito y amonio) se presentan desfasados entre si (Fig. 135). El máximo del amonio en marzo es coincidente con un mínimo secundario del nitrógeno total (Fig. 136) generado por el mínimo absoluto de nitrógeno orgánico, pues es precisamente en este mes que se alcanza la recién señalada máxima proporción de nitrógeno inorgánico. Destaca también la simultánea ocurrencia de los máximos absolutos de nitrógeno total y de nitrato en agosto (Figs. 135 y 136), que va aparejada con la progresiva acumulación en el lago por aumento de ingreso vía escurrimiento generado por las precipitaciones.

El máximo secundario de nitrógeno total en noviembre, seguido por aquel del fósforo total es indicativo del ciclo de proliferación de organismos vegetales, dado que la mayor proporción de ambos elementos se encuentra en forma orgánica.

Masa de P contenida en el lago Chapo

Variación mensual durante 1998



Masa de N contenida en el Lago Chapo

Variación mensual durante 1998

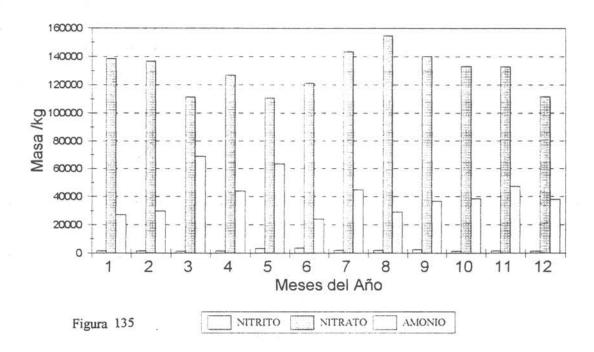
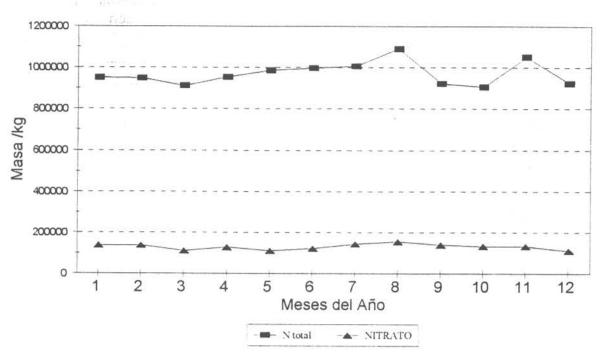


Figura 136 Masa de N contenida en el Lago Chapo Variación mensual durante 1998



3.4 Determinación de los balances de fósforo y nitrógeno

Los resultados de los términos necesarios para establecer por adición el balance de fósforo para el lago Chapo, obtenidos a partir de medición directa de las diversas cargas ingresadas al lago (por afluentes V_{af}C_{af}, por las precipitaciones V_{pp}C_{pp}, por escurrimiento superficial difuso V_eC_e y por aporte desde los sistemas de cultivo aC_e) y de la carga egresada con las aguas extraídas del lago VerCer, cuyos detalles de cálculo han sido entregados en las secciones precedentes del capítulo, se agrupan en la Tabla 27. La suma de los ingresos durante el año 1998 ascendió a 28,5 toneladas. De este monto, un 26% fue aportado por los afluentes; los centros de cultivo existentes en el lago concurrieron con 74%. El egreso total de fósforo por descarga hacia la central Canutillar ascendió en 1998 a 15,0 toneladas. El balance arroja como resultado un flujo neto anual hacia los sedimentos, por lo que estos actúan en las condiciones de carga actuales como sumidero de fósforo; durante 1998 contribuyeron a descargar 13,5 toneladas desde el lago. Las bajas concentraciones de este elemento en los aportes naturales al lago Chapo determinan que aquel proveniente de los centros de cultivo sea el principal contribuyente. El tiempo de residencia del fósforo en el lago calculado a partir del balance de masas es de 1,66 años, lo que implica que el 60% del contenido total de P del cuerpo de agua es reemplazado cada año.

Tabla 27. Balance de Fósforo del lago Chapo durante el año 1998.

Masa total	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Egreso por	Intercambio
de P en el	Afluentes	Precipitaciones	Escurrimiento	Centros de	Efluente	con
lago			difuso	cultivo		sedimentos
kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
49598	7384	1351	0,3	21147	15044	-14839

Para el nitrógeno, la suma de los ingresos durante el año 1998 ascendió a 183,9 toneladas. La mayor proporción de esta cantidad, de un 71% fue aportada por los afluentes; los centros de cultivo existentes en el lago contribuyeron con un 6,7%. El egreso de nitrógeno por descarga hacia la central Canutillar ascendió en 1998 a 294,3 toneladas. El balance indica que los sedimentos constituyen una fuente neta de nitrógeno hacia el lago, generando una carga interna. Durante 1998 los sedimentos del fondo aportaron 110,3 toneladas al lago. El tiempo de residencia del nitrógeno en el lago Chapo, calculado a partir del balance de masas, es de 2,4 años, lo que implica que el 42% del contenido total de N del cuerpo de agua es reemplazado cada año.

Tabla 28. Balance de Nitrógeno del lago Chapo durante el año 1998.

Masa total	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Egreso por	Intercambio
de N en el	Afluentes	Precipitaciones	Escurrimiento	Centros de	Efluente	con
lago			difuso	cultivo		sedimentos
kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
970505	130343	41229	3.7	12357	294269	110336

4. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SALMONIDEOS EN CULTIVO

En el lago Chapo se ubican actualmente 4 centros de cultivo: dos pertenecientes a la empresa Aguas Claras S.A. (uno en el sector conocido como "El Desagüe", frente al pueblo de lago Chapo, el otro ubicado en las cercanías de la desembocadura del río Colulí), un tercero perteneciente a Salmones Huillinco, en el sector norte del lago, cercano a la desembocadura del río Este y el cuarto ubicado en el sector de río Pitote, perteneciente a la empresa Salmones Linao Ltda, filial de Salmoamérica S.A.). Un quinto centro perteneciente a esta última empresa estuvo operando exclusivamente durante el verano en el sector comprendido

entre el islote Betty y la costa de la puntilla ubicada entre los ríos Sur y León. Este centro hubo de ser evacuado y posteriormente desmantelado como resultado del descenso del nivel de las aguas del lago, que dejó parte considerable del fondo de este sector expuesto.

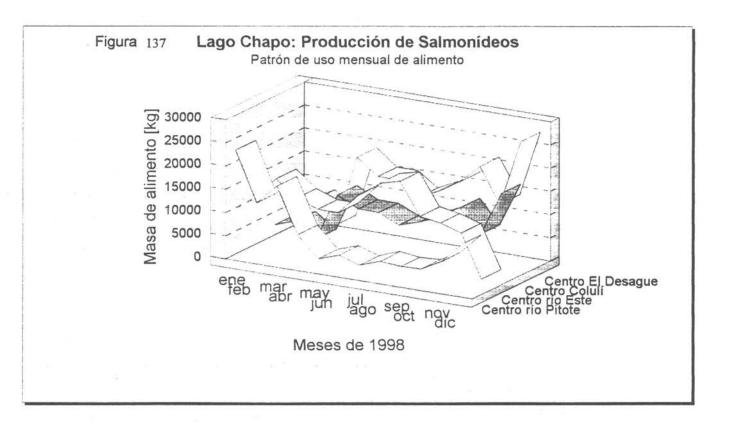
Las cuatro centros tuvieron actividad durante todos los meses de 1998 y de los dos años anteriores. La información referente a producción para el año1998 se entrega en la Tabla 28. Las especies cultivadas son tres, primando el salmón del atlántico y la trucha arcoiris. Las declaraciones de producción para 1999 muestran una tendencia a mantener el volumen producido durante 1998, excepto para las actividades del centro Pitote, que proyecta un aumento del 40%.

Tabla 29. Producción de salmónidos en centros de cultivo del lago Chapo

Centro	Nombre común	Nº promedio de	Peso promedio	Peso promedio	Biomasa total
		peces / balsa jaula	de entrada /g	de salida /g	producida /kg
El Desagüe	Salmón del Atlántico	55000	2,5	32	101489
20 j*100 m ² 30j* 36 m ²	Trucha arcoiris	45000	2,5	48	
Colulí	Salmón del Atlántico	27000	2,5	50	130205
20 j* 100m²	Trucha arcoiris	40000	2,25	60	
Este	Salmón del Atlántico	40000		50	18000
Pitote	Salmón del Atlántico				* 2
	(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

El patrón de suministro del alimento a los salmónidos (Fig. 137) permite observar una fuerte concentración de la producción en los meses de verano en el centro Pitote, una concentración de la actividad en invierno en el centro ubicado frente a río Este y una distribución homogénea a lo largo del año en los centros de Colulí y El Desagüe, con progresivo aumento en el tiempo, alcanzando al final del año un volumen de suministro de alimento 2,5 veces mayor que al inicio. Esta información permite anticipar un aumento de la carga total aportada al lago en 1999 por parte de la actividad de piscicultura, la que

respondiendo al aumento observado en el precio internacional del salmón podría generalizarse en el 40% de proyección indicado por uno de los centros. De hecho, se observa ya una mayor actividad en las tendencias de suministro de alimento de tres de los cuatro centros de piscicultura operativos.



5. CAPACIDAD DE CARGA DEL LAGO CHAPO

El coeficiente de retención por sedimentación R, calculado a partir de la fracción del volumen de agua renovado al año por medio de la ecuación de Larsen y Mercier, es de 0,712. A su vez, la carga total actual de fósforo por unidad de área del lago (ΣL) es de 659 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados arrojan una concentración total de P en el lago de 4,2 mg·m⁻³ empleando el modelo de Dillon y Rigler. La masa total de P en el lago estimada a partir de esta concentración es de 28,904 toneladas. La diferencia de 20,7 toneladas corresponde a la masa al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación de P estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 29,9 toneladas, siendo la discrepancia entre ambas estimaciones de sólo 3,4%.

La carga crítica de fósforo para el lago Chapo obtenida con el uso del modelo de Vollenweider modificado por Dillon y Rigler dio como resultado 1241 mg·m⁻²·a⁻¹. Puesto que la carga actual medida (659 mg·m⁻²·a⁻¹) es prácticamente la mitad de la carga crítica, la capacidad de carga del lago respecto a fósforo dista de ser sobrepasada, no obstante la elevada proporción que representan los aportes de los actuales centros de cultivo.

La carga total actual de nitrógeno por unidad de área del lago (ΣL) es de 4054 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados arrojan una concentración total de N en el lago de 25,9 mg·m⁻³ empleando el modelo de Dillon y Rigler. La masa total de N en el lago estimada a partir de esta concentración es de 177,9 toneladas. La diferencia de 792,6 toneladas corresponde a la masa al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación de N estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 183,9 toneladas, siendo la discrepancia entre ambas estimaciones de sólo 3,4%.

Tomando en consideración que la composición estequeométrica de la materia orgánica en cuanto a su proporción de nitrógeno y fósforo es de 16 a 1 en términos de átomos, de expresar tal composición en términos de masa resulta una relación de 7,2 : 1. Esta relación permite efectuar una proyección de la carga crítica de fósforo a nitrógeno, lo que brinda una carga de 8935 mg·m⁻²·a⁻¹. Si se compara esta estimación con la carga de nitrógeno por unidad de área del lago (4054 mg·m⁻²·a⁻¹.) se constata un valor por debajo de este límite. por otra parte la carga estimada por la fórmula de Bachmann arrojó una carga de 79702 mg·m⁻²·a⁻¹.

que es considerablemente superior a la carga actual superior a la carga actual, lo que es indicativo de que el lago Chapo posee un margen de carga de N apreciable.

De acuerdo a los resultados obtenidos, en el lago Chapo existe teóricamente un margen de carga disponible para ser llevado a producción piscícola sin cambiar el actual estado de trofía del cuerpo de agua. Este puede convertirse a una estimación de peso de salmónidos extraíbles a partir de la información de remanente de carga disponible de P y N disponible y de área total del lago, planteando la ecuación de balance:

$$C_{sc} = (S + F) - P$$

en que C_{sc} es la carga de fósforo bajo el nivel crítico (subcrítica), S es la cantidad de fósforo introducido con los alevines o smolts, F es el fósforo que se introduce con los alimentos y P el fósforo que se extrae del sistema con la producción de salmónidos. Los términos de esta ecuación habrían de expandirse para considerar las relaciones de masa en juego, expresando convenientemente los contenidos de fósforo en porcentaje; k, A y K son respectivamente las masas de alevines, de alimento y de salmones cosechables:

$$C_{sc} = (k \cdot P_s + A \cdot P_F + K \cdot P) /100$$

Con todo, dado que las estimaciones de capacidad de carga tienen un grado de incerteza, es conveniente establecer un factor de seguridad que permita la adecuada preservación del estado trófico existente. Suponiendo como ejemplo específico la disponibilidad del 50% del remanente de carga existente bajo el límite de carga crítica, se tendría en las condiciones actuales una disponibilidad de carga para producción piscícola de 0,5 * (1241-659) = 291 mg·m⁻² de P, lo que equivale para el total del lago a 13,9 toneladas de fósforo disponibles para ser introducidas a partir del alimento no utilizado para conversión a masa de peces.

6. SENSIBILIZACIÓN DEL MODELO EMPLEADO

El lago es relativamente poco sensible a la variación del coeficiente de retención, pues se debe alcanzar un aumento de un 20% de R para que la carga de fósforo por unidad de área venga a superar marginalmente el valor de la carga crítica. A esta robustez contribuye la elevada tasa de renovación de las aguas del lago, lo que determina que se requiera una variación muy considerable del tiempo de recambio de las aguas para producir un leve cambio

del coeficiente de retención (por ej. se requeriría una variación de cerca de un 30% del valor actual de la tasa de renovación de agua para generar un diferencia de 5% en el valor de R; para alcanzar un aumento de 20% de R sería necesario que se produjese una reducción del 82% en la actual tasa de renovación de agua). Un escenario de este tipo, que involucraría un tiempo de recambio de 18,7 años es altamente improbable, particularmente dada la condición práctica de embalse que ha adquirido el lago Chapo desde la puesta en marcha de la central hidroeléctrica Canutillar.

La sensibilización del modelo utilizado respecto a la incorporación de biomasa adicional de salmónidos arroja los resultados que se entregan en la Tabla 30. Es posible observar que el aumento de la producción en 100 toneladas anuales para todo el lago generaría un aumento de aproximadamente 28% de la concentración total de fósforo y que el límite de seguridad de carga adicional de P propuesto en la sección precedente (291 mg·m² de P), equivalente aproximadamente a 150 toneladas de salmónidos, no llevaría el aumento de concentración a más de un 44% de la concentración total presente (de 4,2 mg·m³ a 6,1 mg·m³), permaneciendo claramente por debajo de la carga crítica calculada (1241 mg·m²·2·a²) y del límite superior de la oligotrofia establecido por la OCDE (1982), que corresponde a una concentración de fósforo total de 10,0 mg·m³. La carga crítica estimada por el modelo se vería sobrepasada y el estado trófico actual sufriría un detrimento notable con un aumento de 315 toneladas adicionales por año de salmónidos cultivados. El lago Chapo cambiaría abruptamente de estado trófico si se alcanza una carga adicional de 490 toneladas de salmónidos.

Tabla 30. Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto del aumento de producción total de salmónidos en centros de cultivo del lago Chapo

Salmónidos adicionales (ton./año)	1	10	20	30	50	100	200	300	315	490
Carga total de P ingresada por todas las vías al lago (mg·m ⁻² ·a ⁻¹)	660	677	696	714	751	844	1029	1214	1242	1565
Concentración esperada de P para todo el volumen del lago mg·m ⁻³	4,23	4,33	4,45	4,57	4,81	5,40	6,58	7,77	7,95	10,02

7. APORTE DE QUIMIOTERAPÉUTICOS DESDE LOS CENTROS DE CULTIVO Y PERSISTENCIA EN EL AMBIENTE

7.1 Uso de quimioterapéuticos en salmonicultura

Los peces en cultivo, están continuamente sometidos a fluctuaciones ambientales y de manejo que difieren completamente de las que encuentran en su medio natural. Estas situaciones provocan un fuerte stress sobre los mecanismos reguladores de la fisiología orgánica, existiendo mecanismos de adaptación que algunas veces tienen una capacidad limitada de respuesta y predisponen a los peces a contraer alguna enfermedad, que puede ser incluso fatal.

El manejo de la salud de los peces requiere un entendimiento cabal de la tríada ambiente, huésped y patógeno, siendo la clave para el desarrollo exitoso de esta actividad productiva. El uso de quimioterapéuticos, con efecto antibacteriano, fungicida, antiparasitario o antiviral, en el control de enfermedades, es una práctica muy usada, pero aún cuando su aplicación es indiscutiblemente necesaria en muchos casos, existen muchos ejemplos de su uso irracional. Se debe tener especial cuidado al utilizar estos fármacos, ampliamente usados en el tratamiento de enfermedades de peces, ya que pueden provocar a corto y largo plazo:

- Aumento de la resistencia de las bacterias entéricas, de origen animal, a estos antimicrobianos.
 - •Ingestión de bacterias resistentes por parte del hombre, con resultado de infección.
- •Reacciones alérgicas o tóxicas en el hombre, por ingesta de residuos de antimicrobianos.
 - Cepas resistentes a drogas esenciales para el hombre.

Los principales cuadros patológicos observados en las diferentes fases de cultivo en agua dulce de salmonídeos en Chile y que requieren del uso de quimioterapéuticos, se presentan a continuación:

Incubación de las ovas

Fungosis por género *Saprolegnia*, cuyo tratamiento habitual consiste en baños con verde de malaquita, así como de yodo activo al 1,5% (lodóforos).

Alevin o parr.

Enfermedad bacteriana de las branquias, provocada por una combinación de factores ambientales y bacterias del género *Cytophaga*, *Flexibacter* y *Flavobacter* El tratamiento consiste en mejorar las condiciones ambientales y el uso de baños con soluciones desinfectantes de compuestos de amonio cuaternario, yodo activo, soluciones de cloruro de sodio.

Enfermedad del pedúnculo caudal, provocada por Myxobacterias y cuyo tratamiento es el empleo de antibióticos vía oral.

Enfermedad bacteriana del riñón, enfermedad crónica provocada por *Renibacterium* salmaninarum. El tratamiento preventivo y curativo consiste en dosis de 9- 10 g /100 Kg de pez de eritromicina, durante 21 días.

Enfermedades Parasitarias:

- •Protozoos Quilodonella, Ichthyiphthitius, Trichodina y Hexamita
- Crustáceo Ergasilus

El tratamiento consiste en baños con formalina comercial a concentraciones de 1:4000 a 1: 6000 por una hora, repitiendo el tratamiento según tipo de parásito y su grado de infestación.

Para *Hexamita* se han descrito tratamientos con furazolidona 25- 75 mg/ Kg pez día o dimetridazol al 0,15% por tres días.

La nómina de quimioterapéuticos que son utilizados en acuicultura y aquellos que son empleados en Chile se identifican en la Tabla 29.

7.2 Determinación de quimioterapéuticos en las zonas de centros de cultivo del lago Chapo

En las zonas de los cuatro centros de cultivo operativos del lago Chapo (El Desagüe, Colulí, sector río Este y sector de Pitote) se tomaron muestras de agua en los meses de enero, junio y noviembre y adicionalmente de sedimentos en junio, las que fueron sometidas a determinación de Sulfametoxazol, Trimetoprim, Oxitetraciclina y Eritromicina. En enero se incluyeron muestras de agua del centro de Islote Betty, que sólo operó en ese período. En los

Tabla 31. Nomina de quimioterapéuticos utilizados en acuicultura y su uso en chile. X: Uso normal; (exp): Sólo uso experimental; (n.c.): No para uso en alimentos de peces.

	QUIMIOTERAPEUTICOS	CHILE
	Acido acético	X (n.c.)
	Acriflavina	X (n.c.)
3 A	moxicilina	X (exp)
	Cloruro de Benzalconio	X
5 (Carbasone	X (exp)
6 (Cloramina T o B	X (cloramina T)
7 (Cloranfenicol	
8 (Clortetraciclina	
9 (Cobre sulfato	X
	Diclorvos	X
	Dimetridazol	X
	Diquat	
	nheptin	X (exp)
14 E	ritromicina	X
	enbendazol	X (exp)
	lumequina	X
17 F	ormaldehído	X
18 F	uraltadona	X
	uranace	X
	urazolidona	X
	odóforos	X
	vermectina	X (exp)
	anamicina	
	evamisol	
	erde malaquita	X
	Mevendazol	
	zul de Metileno	
	cido Nalidíxico	
	latamicina	
	leomicina	
	litrofuranos	X
	litrofurazona	
	Plaquindox	
-	cido Oxolínico	X
	xitetraciclina	X
	enicilina	X (exp)
	ulfonamidas potenciadas	X
	ermanganato de porasio	X
	raziquantel	
	refurano	
	ompuesto de amonio cuaternario	X
	oocal	
	onidazol	
	loruro de sodio	X
	treptomicina	
	ulfonamidas	X
	ulfamerazina	
	ulfametazina	X
49 T	riclofon	X (exp)

análisis efectuados sobre las muestras de junio y noviembre, al disponer de información suministrada por las empresas que operan los centros de cultivo del lago, se incluyeron análisis de sulfadimetoxina y cloramfenicol.

Además de las determinaciones efectuadas en aguas y sedimentos, con el propósito de establecer si existe suministro por esa vía, se analizaron muestras de alimentos tanto de verano como de invierno respecto a los mismos quimioterapéuticos señalados para las otras dos matrices (Sulfametoxazol, Trimetoprim, Oxitetraciclina y Eritromicina). Los resultados fueron negativos. A su vez, los resultados de los análisis efectuados sobre las muestras de sedimentos obtenidas en junio también fueron negativos. Los resultados de los análisis de aguas cayeron bajo los límites de detección para todos los quimioterapéuticos en todas las muestras de todo el año, a excepción de Trimetoprim, que fue detectado en invierno (junio), pudiendo procederse a su cuantificación en la mayoría de las muestras de es período. Los límites de detección y cuantificación para cada uno de los quimioterapéuticos analizados se indican en la Tabla 30.

En el caso específico del lago Chapo, las muestras de agua para los análisis fueron tomadas en los centros de cultivo y en la estación de muestreo del lago mas cercana a los mismos en los niveles de superficie, a 6 m (bajo la malla de jaulas) y a 20 m (directamente bajo las jaulas) o 90 m de profundidad (en la estación de muestreo más cercana al centro de cultivo). Tomando en consideración la fotodegradación que sufren estos compuestos, las muestras fueron traspasadas a frascos opacos y protegidas de la luz en todo momento para su posterior congelación y envío al laboratorio.

Tabla 32. Límites de detección y de cuantificación de quimioterapéuticos

Quimioterapéutico	Límite de detección /ppm	Límite de cuantificación /ppm
Sulfametoxazol	1.10-3	3,3.10-3
Trimetoprim	0,07	2,5
Oxitetraciclina	0,7	2,4
Eritromicina	0,1	
Sulfadimetoxina	0,7	2,5
Cloramfenicol	0,3	1

La concentración de Trimetoprim en el agua registró un máximo de 8,8 ppm en la superficie del centro El Desagüe. Las concentraciones superficiales en las aguas de los restantes centros fueron similares: 8,5 ppm enfrente a río Este; 8,2 en Colulí y 7,6 en Pitote. La dispersión en sentido horizontal en la superficie es eficiente, seguramente forzada por el viento, lo que posibilita encontrar concentraciones entre 3,3 ppm y 4,5 ppm a distancias de hasta 800 m, equivalentes a gradientes de disminución entre 0,4 y 0,6 ppm cada 100 m. En sentido vertical el Trimetoprim disminuye con rapidez, cayendo en aproximadamente un 50% del valor de concentración original a los 20 m de profundidad bajo el centro de aplicación (los trenes de jaulas) y de modo más marcado a mayor distancia; a profundidades de 90 m la dilución es completa tornándose indetectable (Fig. 138).

Los resultados obtenidos indican que, a excepción de Trimetoprim, ninguno de los quimioterapéuticos empleados por los centros de cultivo en operación en el lago Chapo tiene suficiente persistencia en la matriz acuosa como para permitir su detección con posterioridad al día específico de su aplicación. A su vez la dilución del Trimetoprim es lo suficientemente rápida como para limitar su cuantificación a distancias no mayores de m de su punto de aplicación. Por su naturaleza, estos compuestos tienden a asociarse a partículas orgánicas y por lo mismo la capacidad de dispersión que tienen está restringida a la trayectoria que las partículas sigan en su ruta de sedimentación.

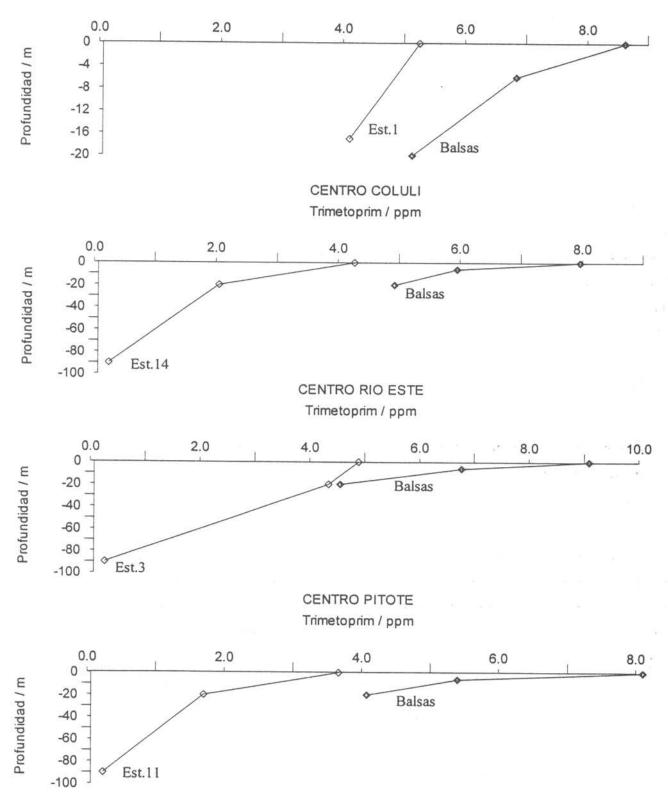
8. AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO DE SALMONIDEOS

El lago Chapo se caracteriza en toda su extensión por una combinación de suficiente ventilación del sistema (corrientes en promedio superiores a 1 cm·s⁻¹), alto contenido de oxígeno disuelto (que supera el 40% de saturación a profundidades mayores de 200 m y se encuentra sobresaturado a menos de 50 m), y pH muy cercano a la neutralidad, que en su extremo más alcalino no supera 7,4 lo que favorece la ionización del amoníaco a amonio, eliminando el riesgo de toxicidad. La concentración total de amonio es baja en toda la columna de agua y localmente, en aguas superficiales, los mayores valores relativos se ubican cercanos a los ríos Negro y Sur y en verano también en la zona denominada El Desagüe.

La estratificación térmica es considerable determinando la existencia de un epilimnio estival de 40 m, con dinámica apropiada para facilitar la dispersión en esta capa, y los sedimentos del fondo son gruesos. La batimetría es general alta. Por lo tanto las limitantes

Fig. 138 Aporte de Quimioterapeuticos al lago Chapo desde Cultívos





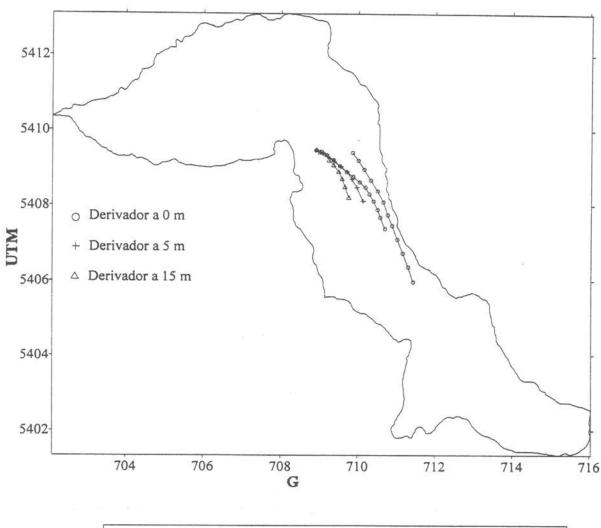
para la instalación de zonas de cultivo están más bien dadas por la combinación de un resguardo apropiado del viento, que suele ser bastante intenso y de una suficiente ventilación brindada por la circulación de las aguas.

La morfología del lago Chapo en su eje principal entre punta La Cabeza y punta Pascual, tanto en la orilla noreste como en la sudoeste dificulta sensiblemente la instalación de centros de cultivo, por lo abrupto de la pendiente, que en buena parte de este sector configura acantilados y tiende a acelerar el viento local (efecto de tubo de Venturi). La única área propicia en todo este sector se ubica en la ensenada inmediatamente al sur de la punta La Cabeza, en la orilla oeste del lago.

La totalidad del fondo del lago en las orillas noroeste y en las llanuras aluviales de las desembocaduras de los principales ríos esta caracterizada por sedimentos arenosos, carentes de limos o arcillas. Estas zonas son, con la excepción de aquella del río Negro, que recibe una fuerte carga de sólidos por erosión y se encuentra muy expuesta al viento, las más propicias para la instalación de los centros. De hecho los centros actuales de cultivo se encuentran ubicados en las zonas más apropiadas desde el punto de vista de compromiso entre el resguardo del ambiente y la protección respecto al viento (zonas cercanas a las desembocaduras de los ríos Pitote y Colulí en la parte sur del lago). En segundo lugar habría de considerarse las zonas al sur de la punta la Cabeza y frente al río Este, así como la zona de El Desagüe. En este último sitio, el desprendimiento ocasional de laderas arenosas con la erosión fluvial contribuye a sepultar el sedimento rico en fósforo proveniente de balsas jaulas, sustrayendo parcialmente este nutriente del medio.

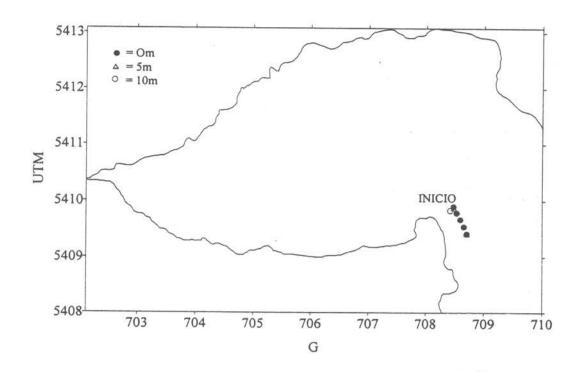
La zona ubicada entre punta Pascual e islote Betty es desaconsejable por lo somero de sus fondos, que combinado con la protección del viento disminuyen la capacidad de dispersión del sistema. Además, la regulación del volumen del lago que determina la central Canutillar produce la desecación de un área considerable de esta zona del lago en años secos. En particular, en el año del presente estudio, el islote quedó prácticamente unido al continente.

ANEXOS DE FIGURAS LAGO CHAPO



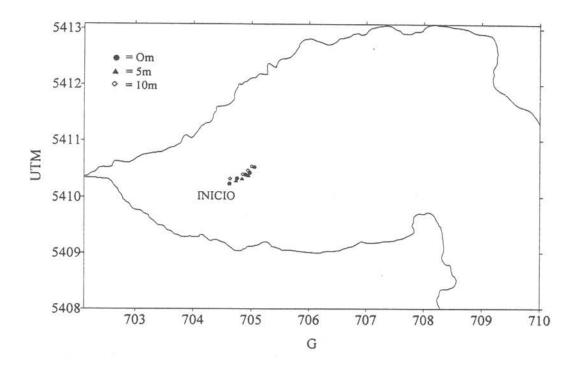
Profundidad	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s)
0 m	2.75	16.13
5 m	1.83	9.84
15 m	1.51	9.04

Figura 11 Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 15 m. Lago Chapo, 13 a 18 horas del 25 de enero de 1998.



Profundidad	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s)
0 m	0.56	5.4
5 m	0.51	5.3
10 m	0.50	5.3

Fig. 12 Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 10 m. Lago Chapo, junio de 1998



Profundidad	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s)
0 m	0.50	6.3
5 m	0.36	4.5
10 m	0.43	5.4

Fig. 13 Desplazamiento de derivadores a 0, 5 y 10 m. Lago Chapo, noviembre de 1998

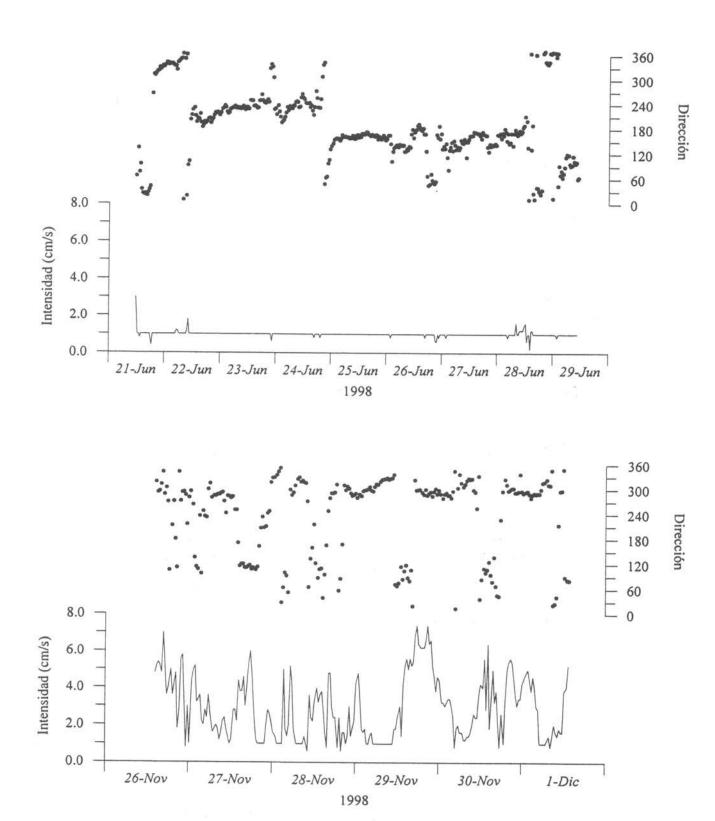


Fig. 14 Series de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el lago Chapo registrada en junio y noviembre de 1998.

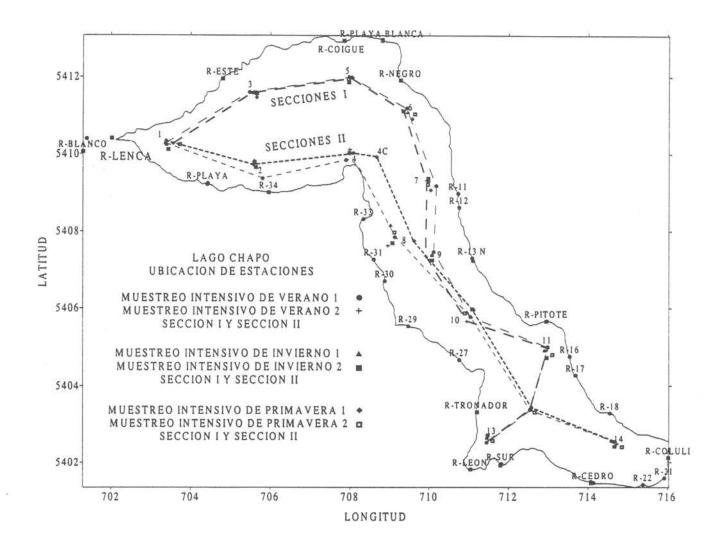
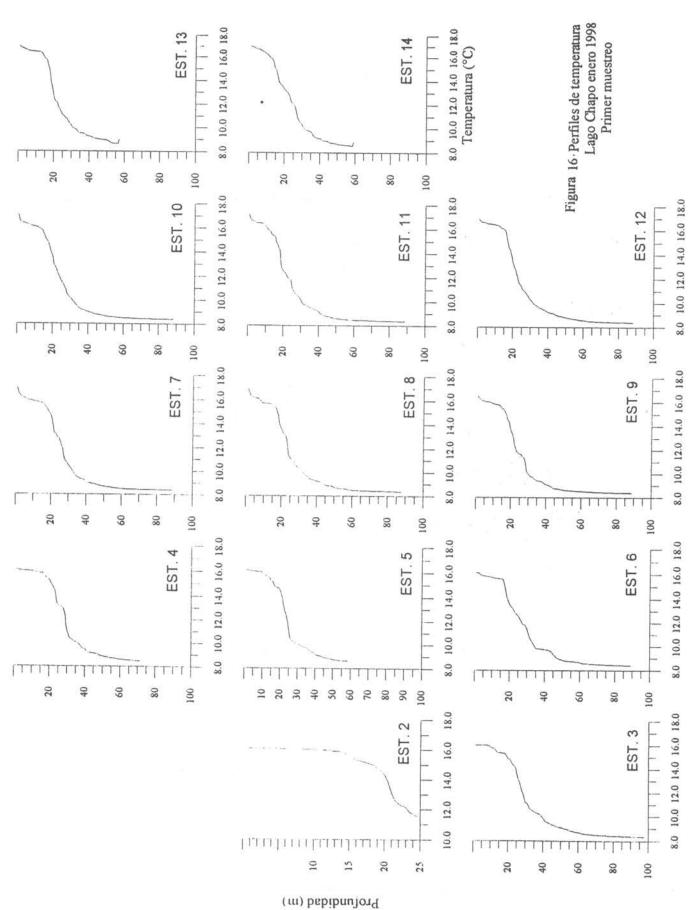
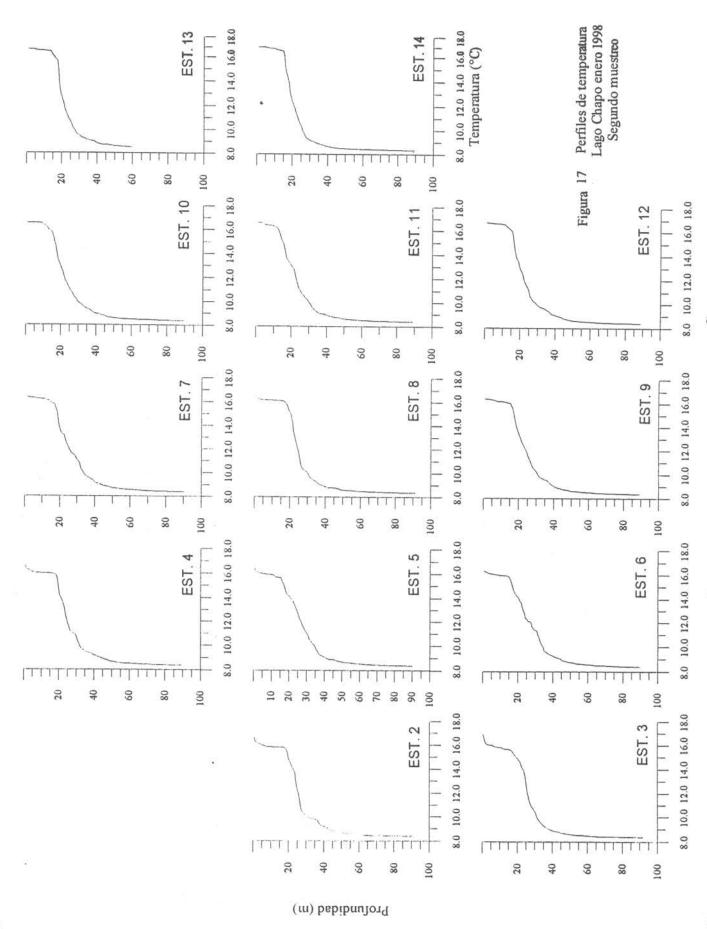
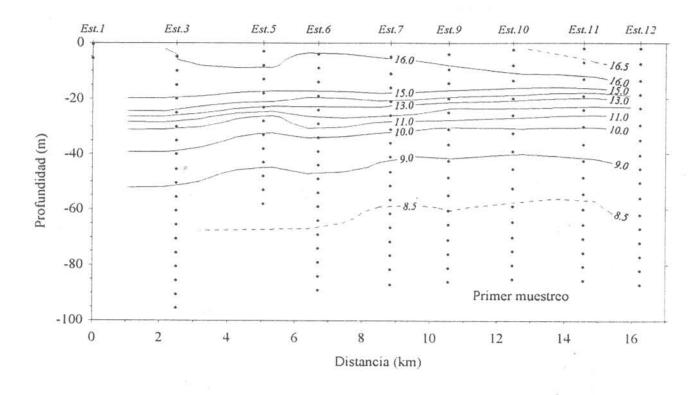


Figura 15 Diagrama de ubicación de las estaciones de muestreo del lago Chapo



Determinación de la capacidad de carga y balance de P y N de los lagos Chapo, Yelcho Popetán y San Antonio





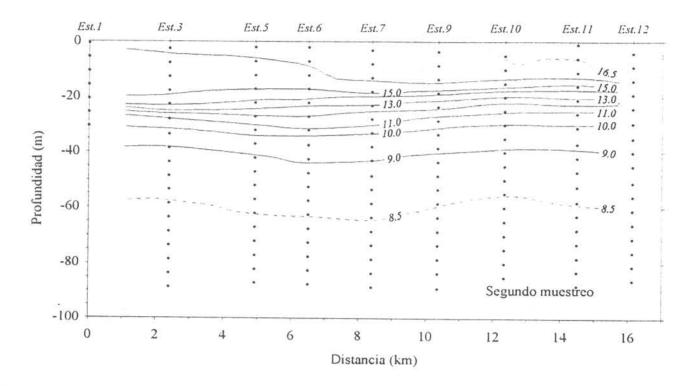


Figura 18 Distribución vertical de temperatura. Lago Chapo, enero 1998

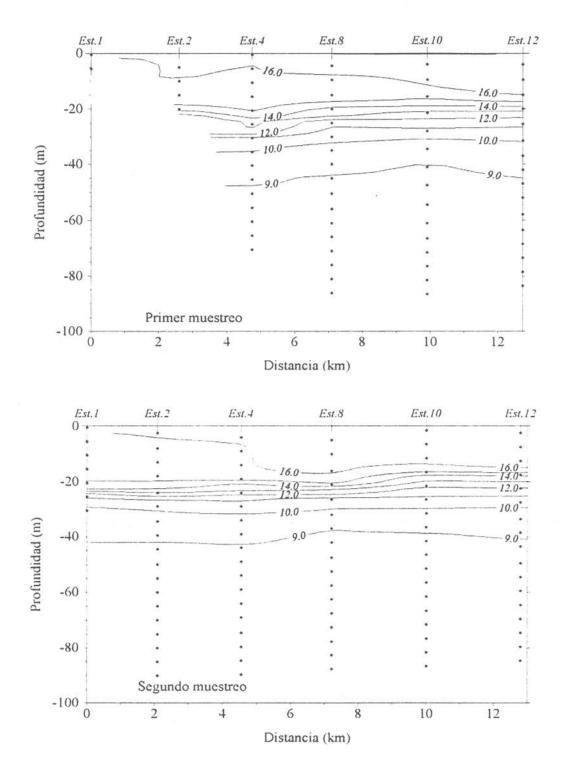
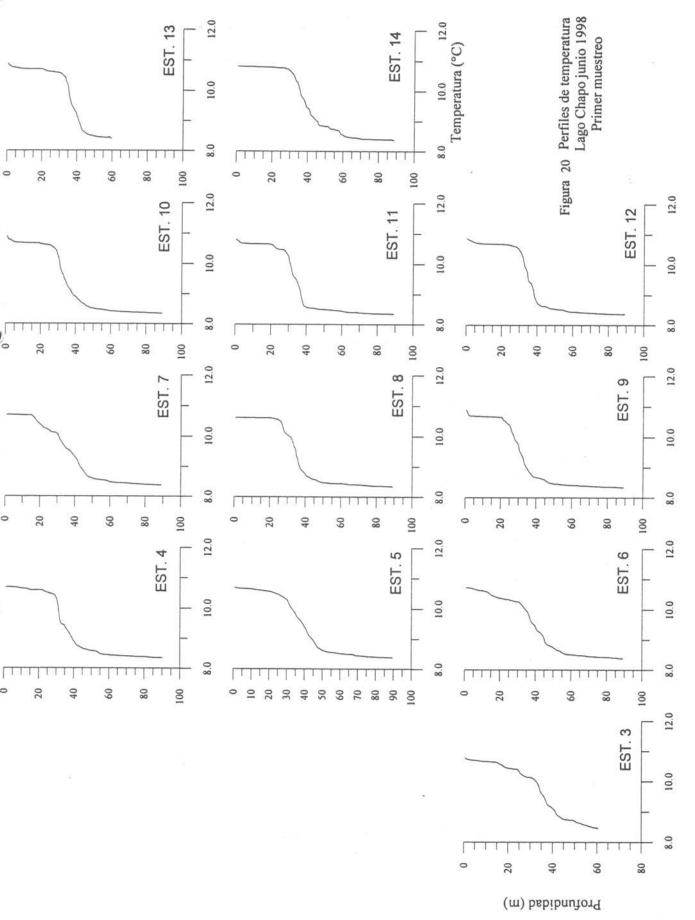
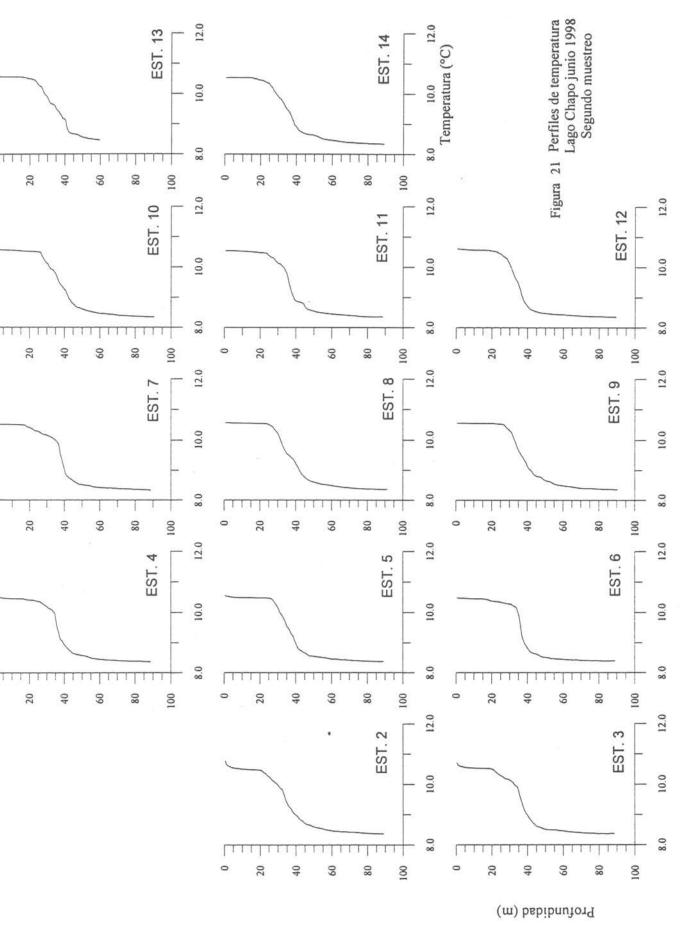
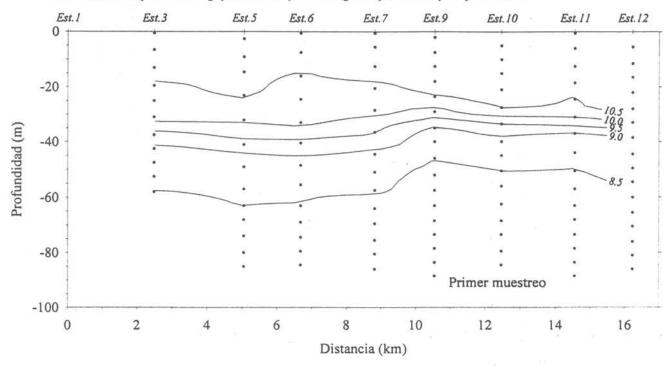


Figura 19 Distribución vertical de temperatura. Lago Chapo, enero 1998





Determinación de la capacidad de carga y balance de P y N de los lagos Chapo, Yelcho Popetán y San Antonio



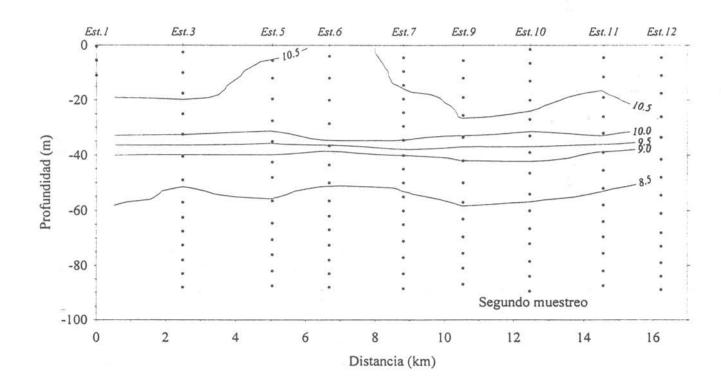
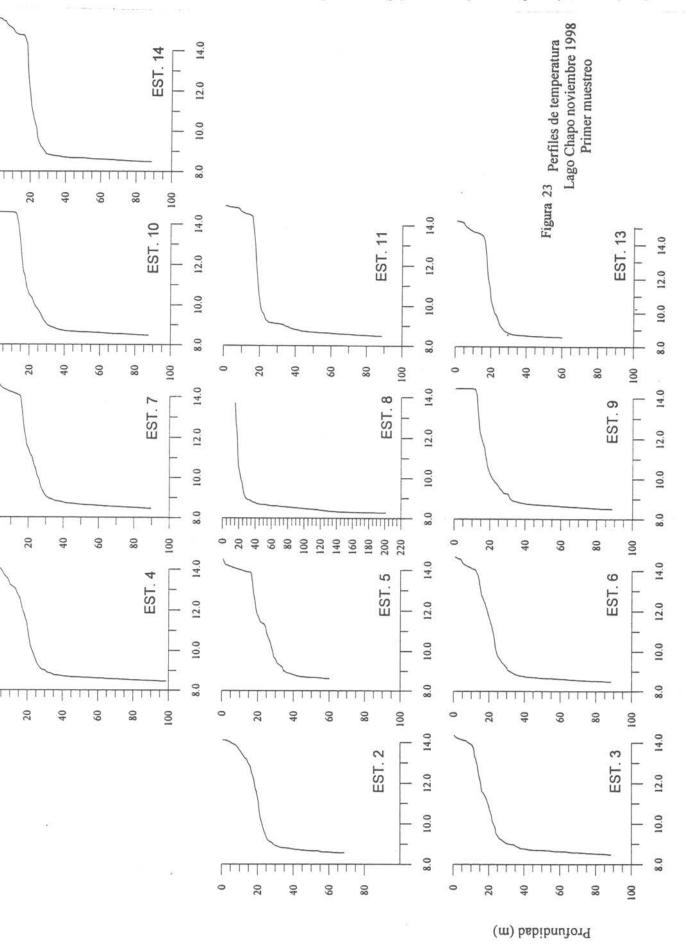
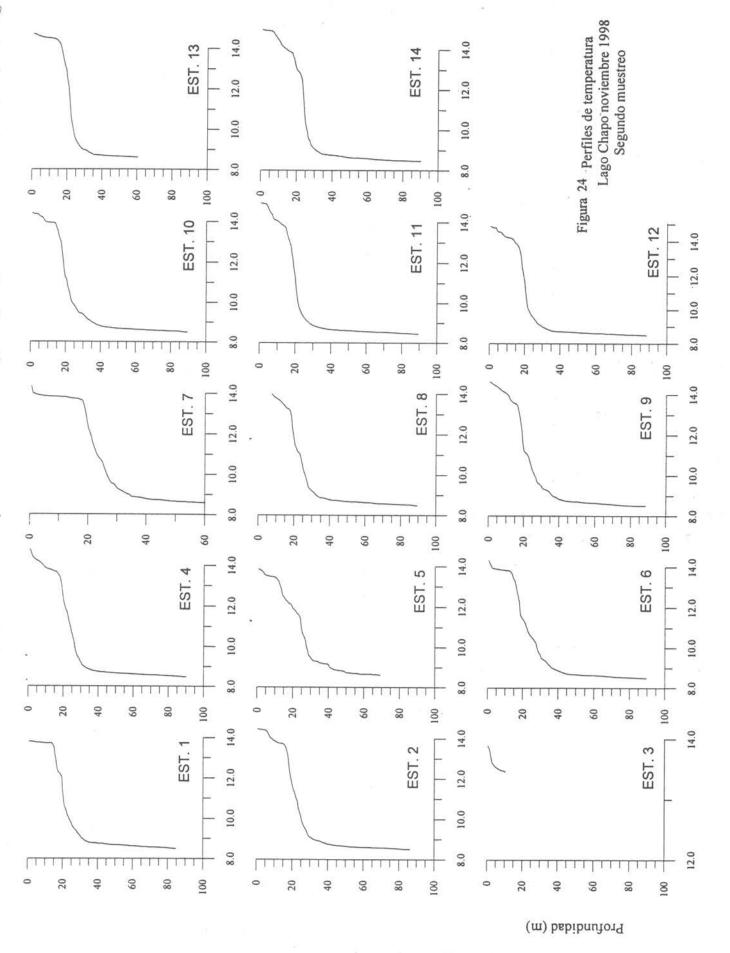
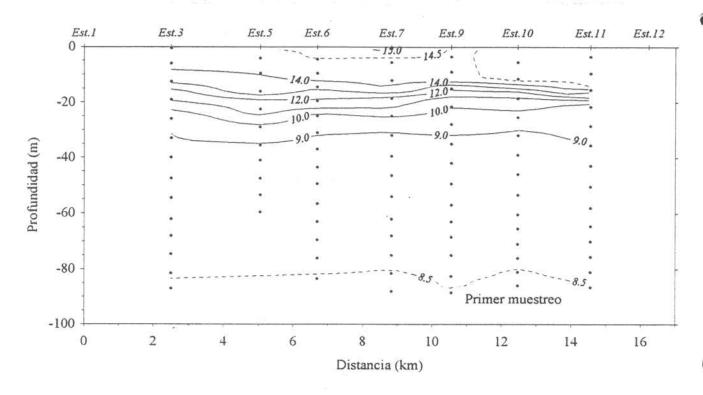


Figura 22 Distribución vertical de temperatura. Lago Chapo, junio de 1998.







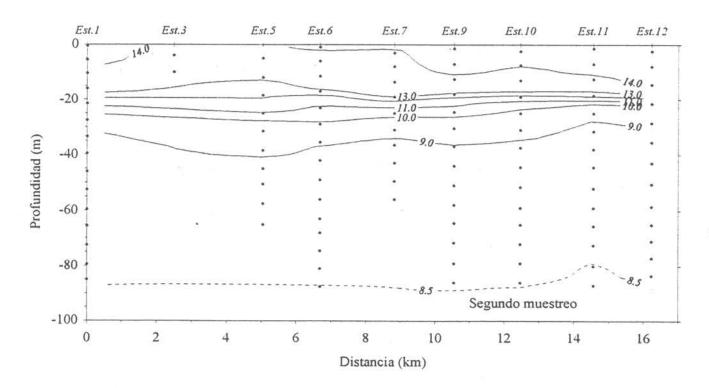
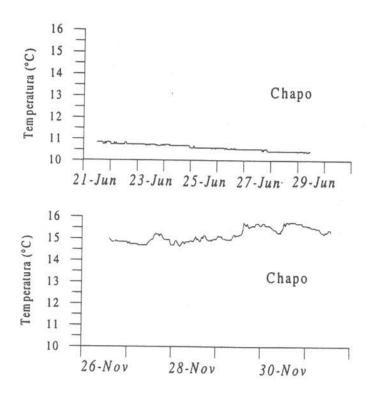


Figura 25 Distribución vertical de temperatura. Lago Chapo, noviembre de 1998.



Variación diaria de temperatura del agua en el lago Chapo registradas durante la segunda y tercera fase de mediciones, correspondiente a invierno y primavera de 1998.

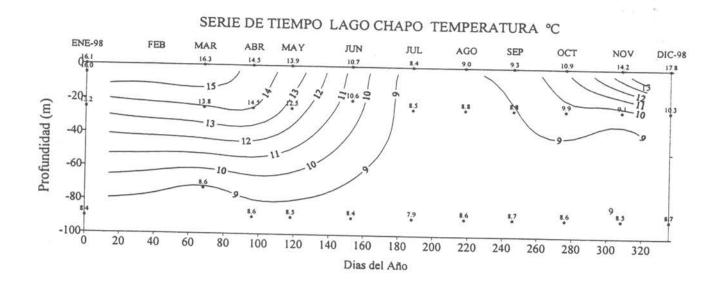
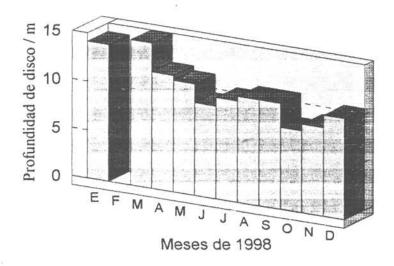


Figura 26 Variación temporal de temperatura de corto y largo periodo (anual) en Cº en el lago Chapo.

Transparencia de Lago Chapo

Variación Mensual con Disco Secchi



SERIE DE TIEMPO LAGO CHAPO TURBIDEZ NTU

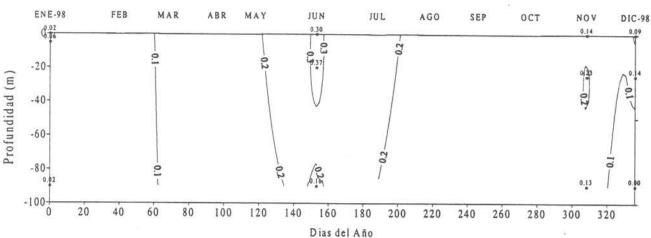
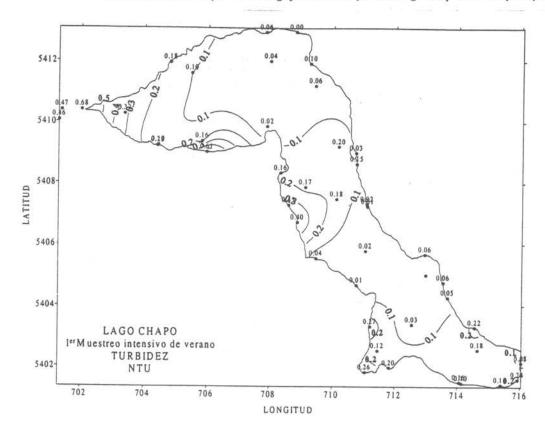


Figura 27 Variación temporal anual de Transparencia con disco Secchi y Turbidez en NTU en el lago Chapo.



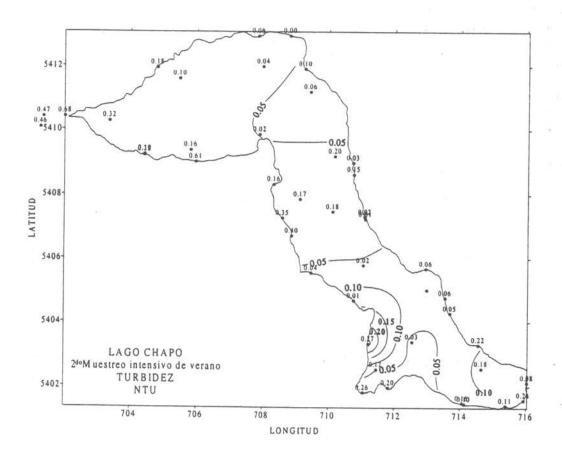


Figura 28 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo.

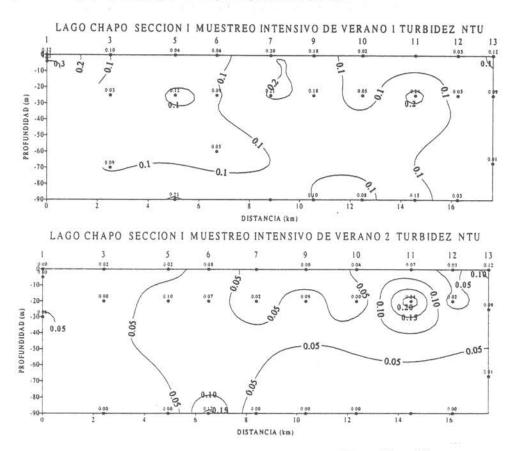
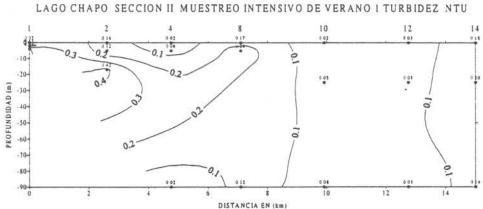


Figura 29 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.



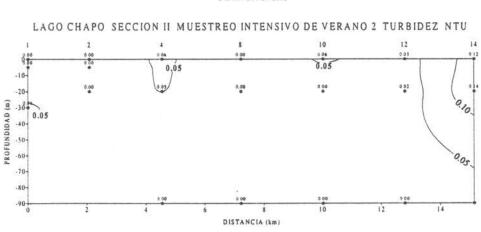
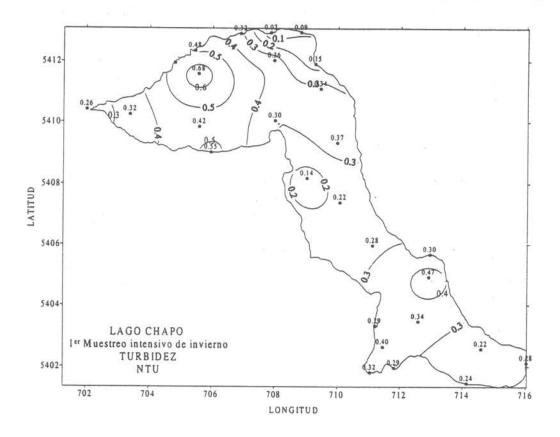


Figura 30 Sección vertical Nº2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.



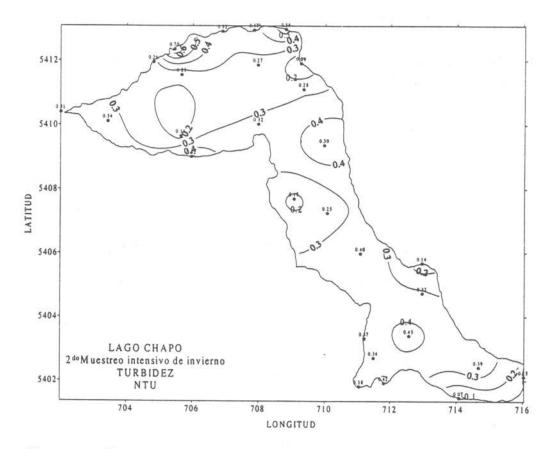


Figura 31 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo.

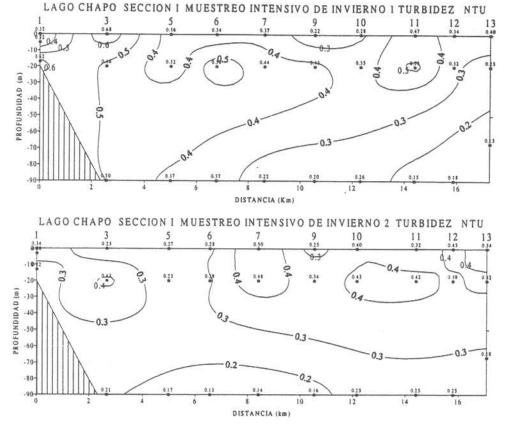


Figura 32 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.

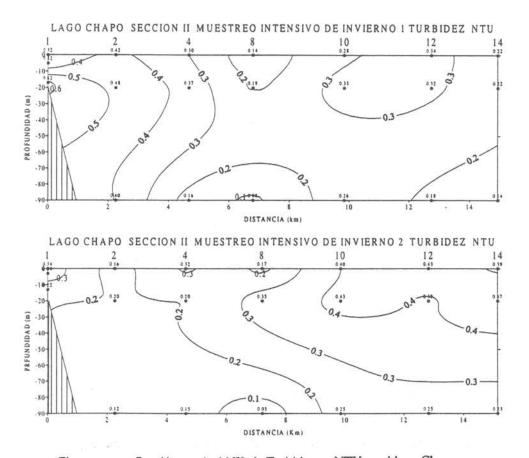
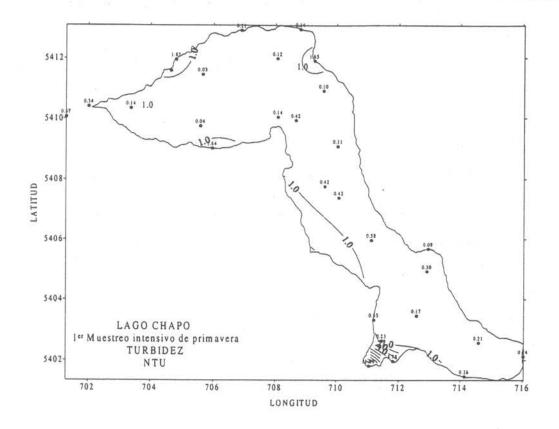


Figura 33 Sección vertical Nº2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.



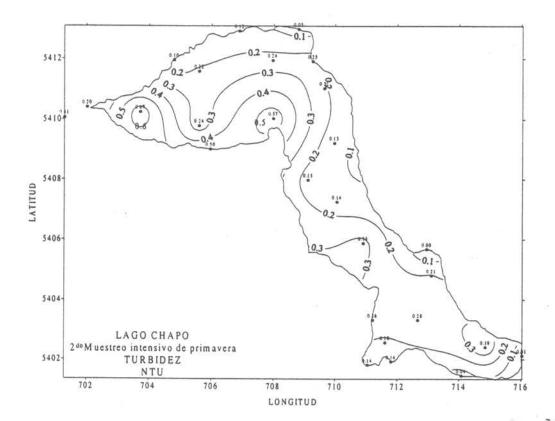


Figura 34 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Chapo.

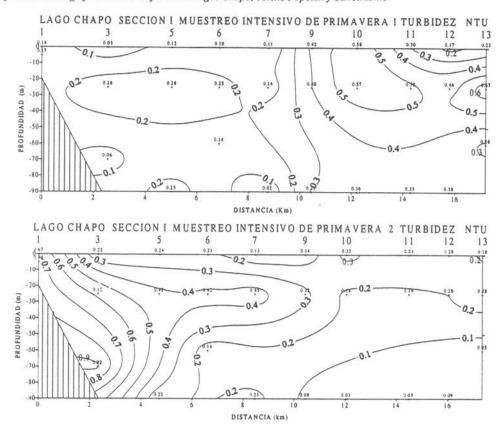


Figura 35 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.

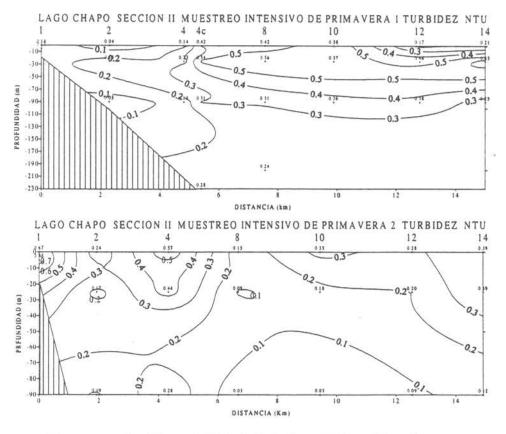
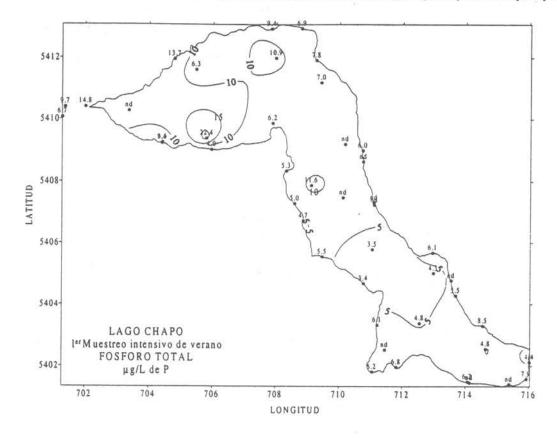


Figura 36 Sección vertical Nº2 de Turbidez en NTU en el lago Chapo.



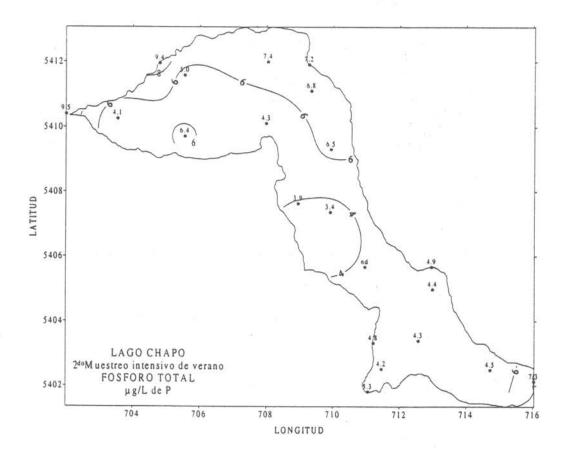


Figura 37 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.

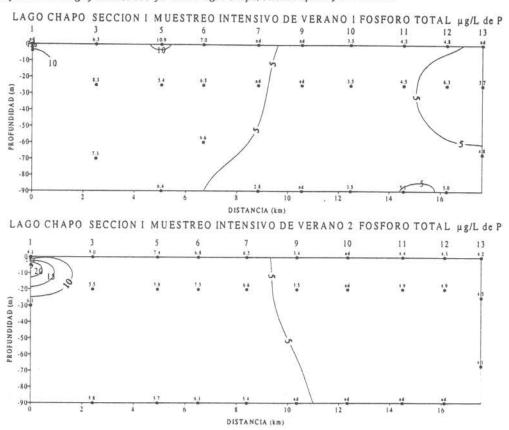
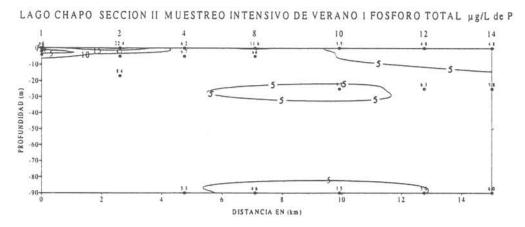


Figura 38 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo.



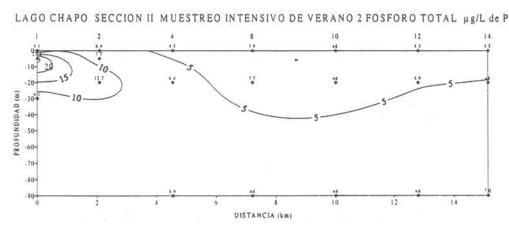
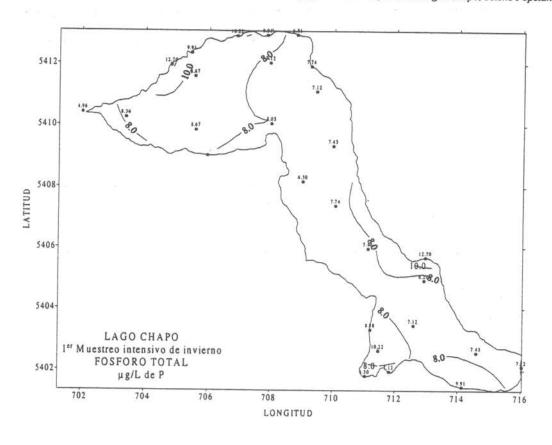


Figura 39 Sección vertical Nº2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Chapo.



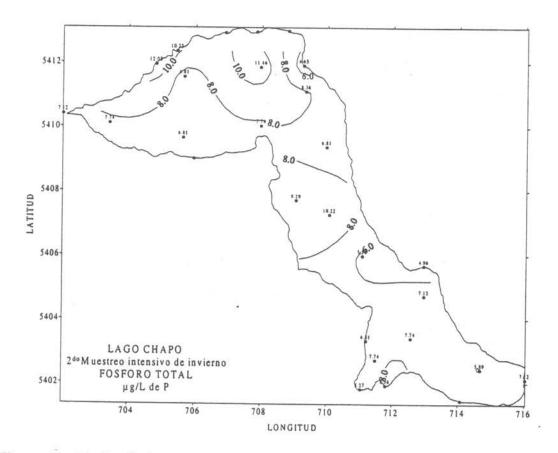


Figura 40 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.

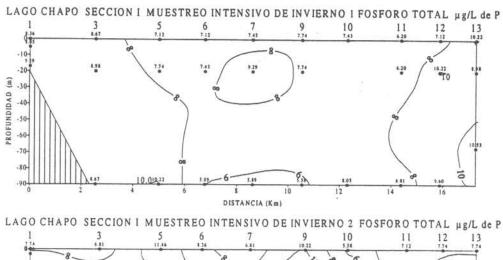
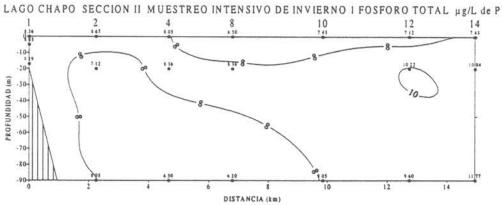


Figura 41 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo.



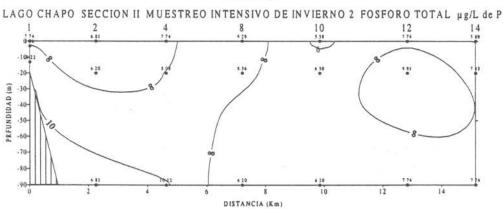
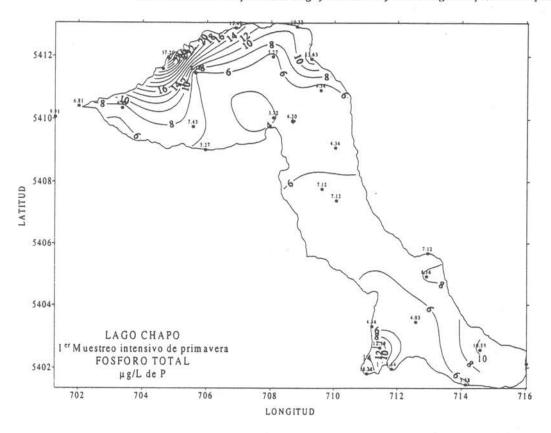


Figura 42 Sección vertical N°2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Chapo.



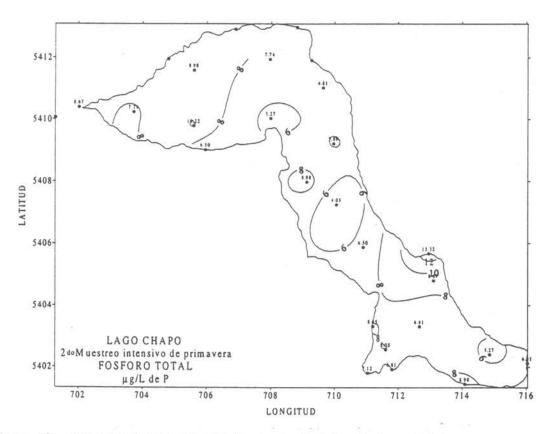
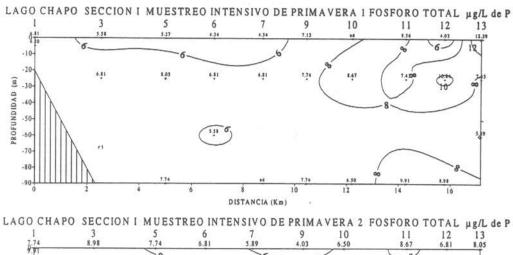


Figura 43 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.



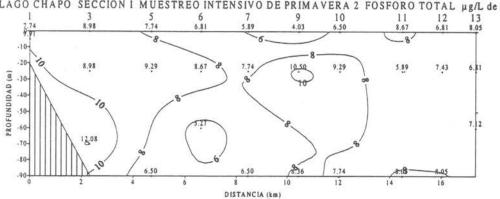
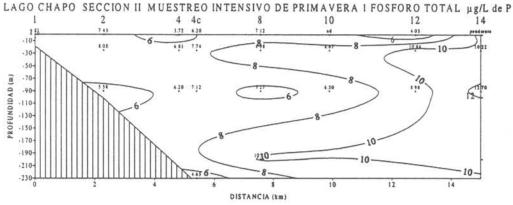


Figura 44 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Chapo.



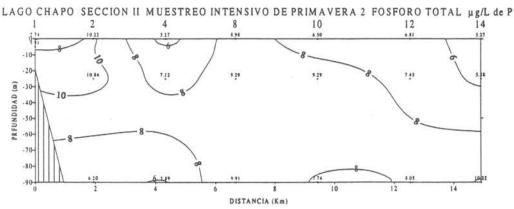
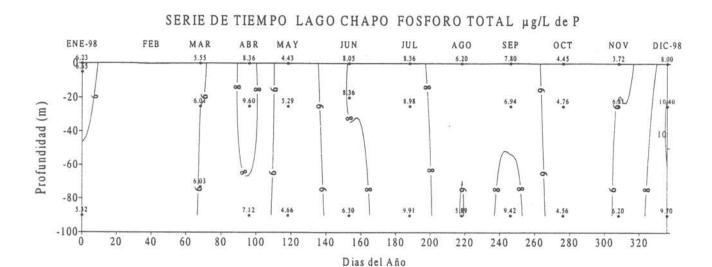


Figura 45 Sección vertical N°2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Chapo.



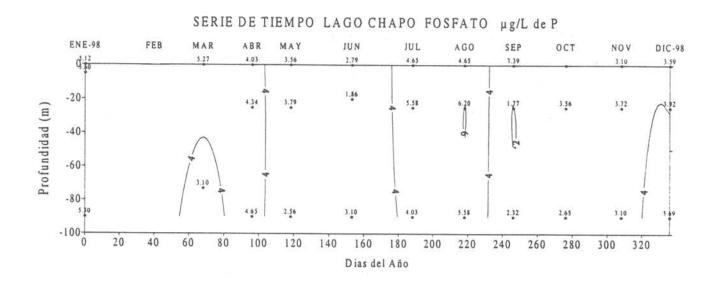
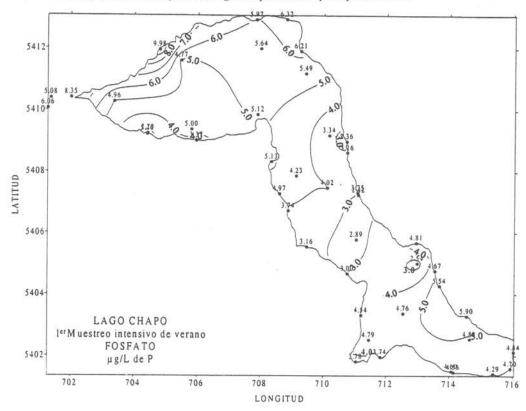


Figura 46 Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en µg/L de P en el lago Chapo.



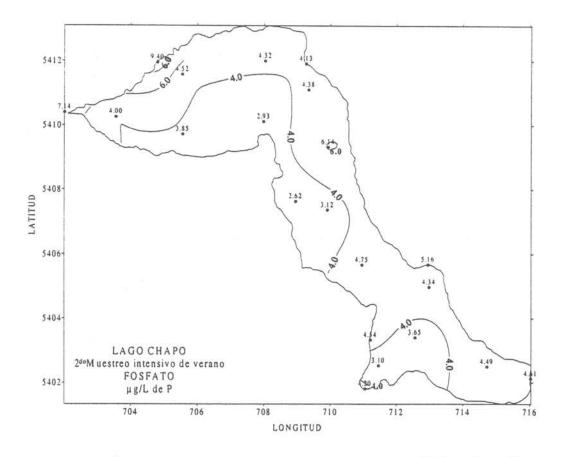


Figura 47 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.

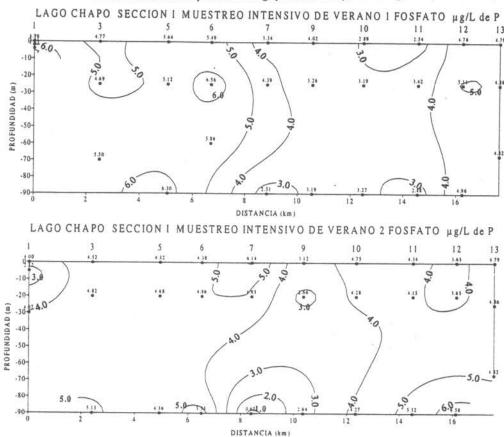
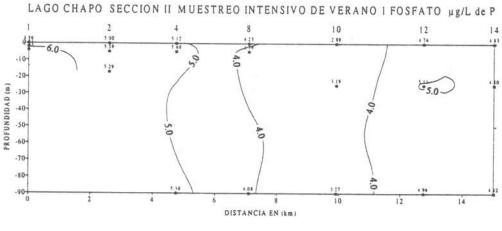


Figura 48 Sección vertical Nº1 de Fosfato μg/L de P en el lago Chapo.



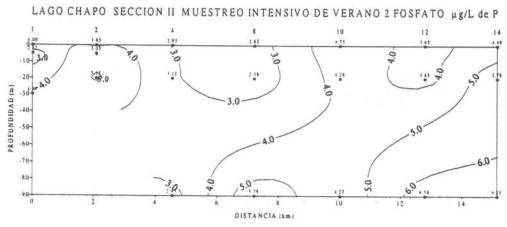
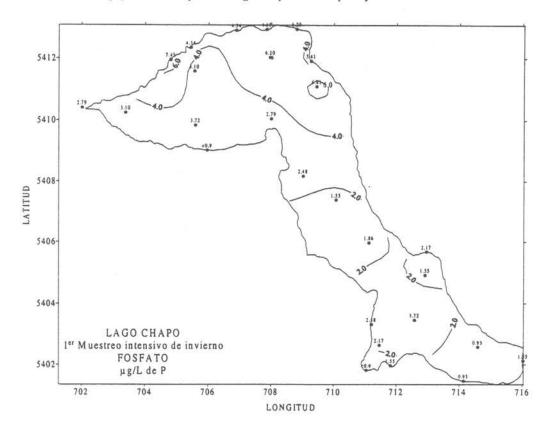


Figura 49 Sección vertical Nº2 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo.



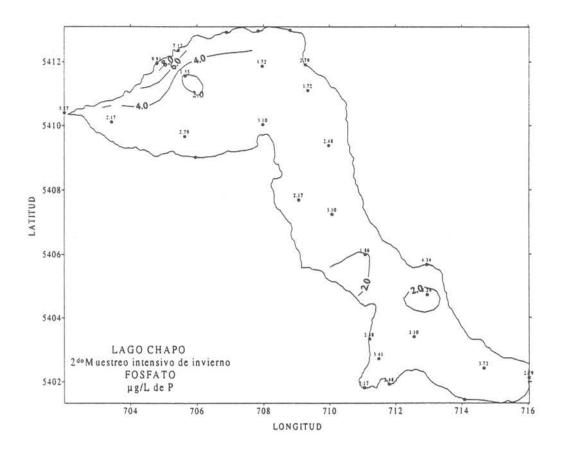


Figura 50 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.

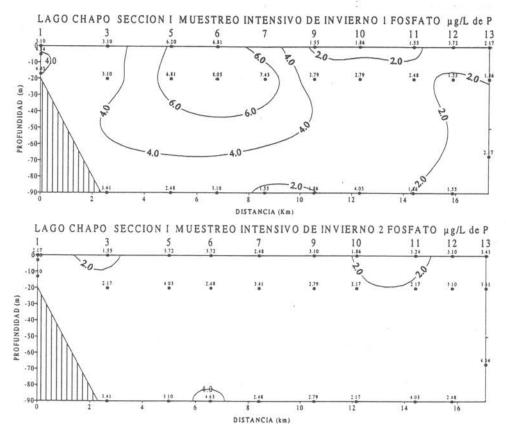


Figura 51 Sección vertical Nº1 de Fosfato μg/L de P en el lago Chapo.

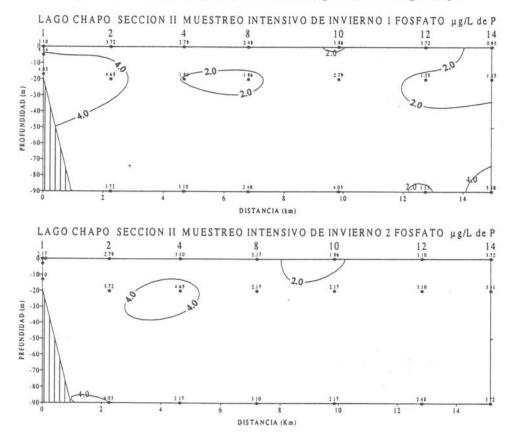
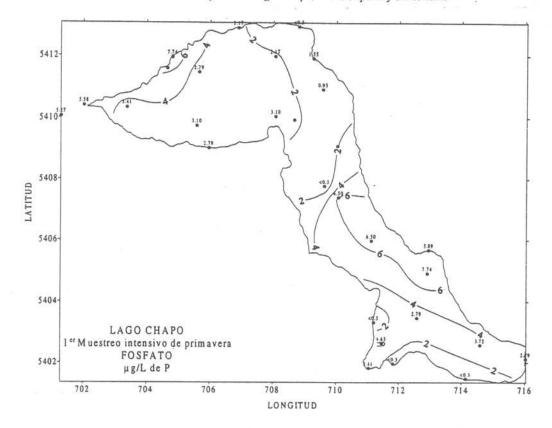


Figura 52 Sección vertical Nº2 de Fosfato µg/L de P en el lago Chapo.



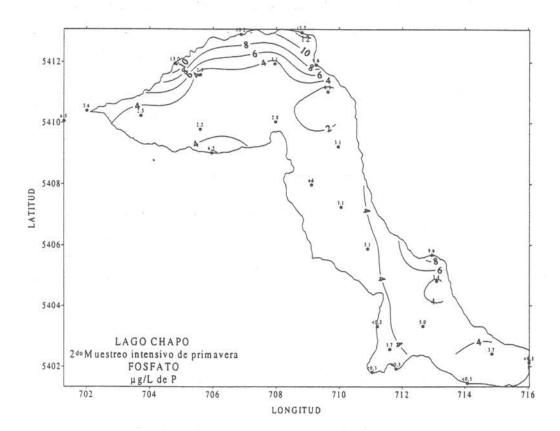


Figura 53 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Chapo.

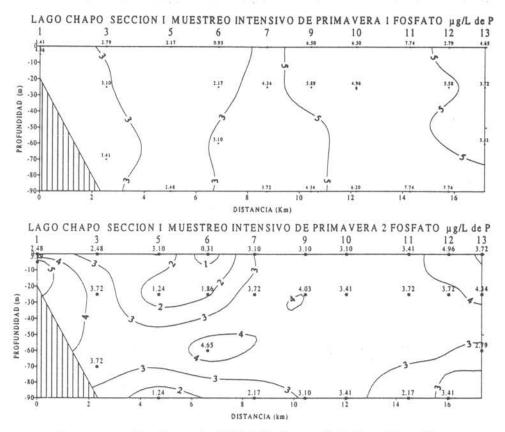


Figura 54 Sección vertical Nº1 de Fosfato μg/L de P en el lago Chapo.

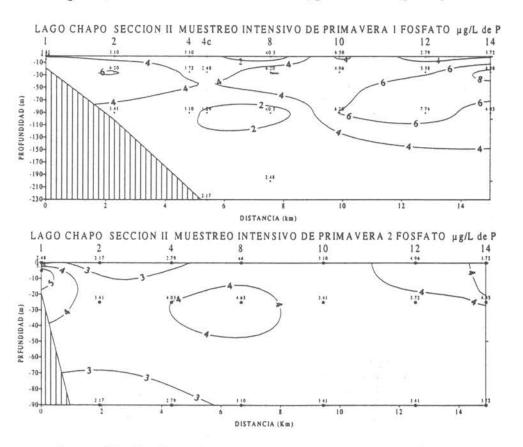
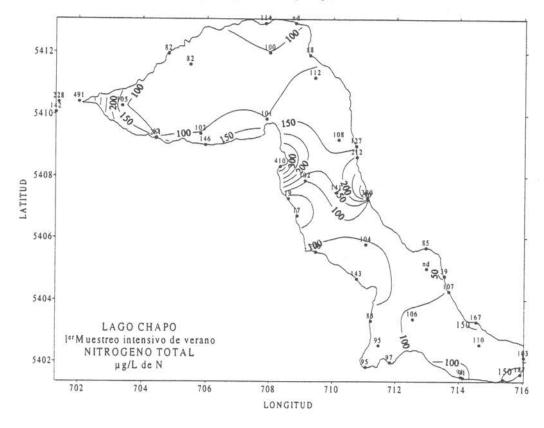


Figura 55 Sección vertical Nº2 de Fosfato μg/L de P en el lago Chapo.



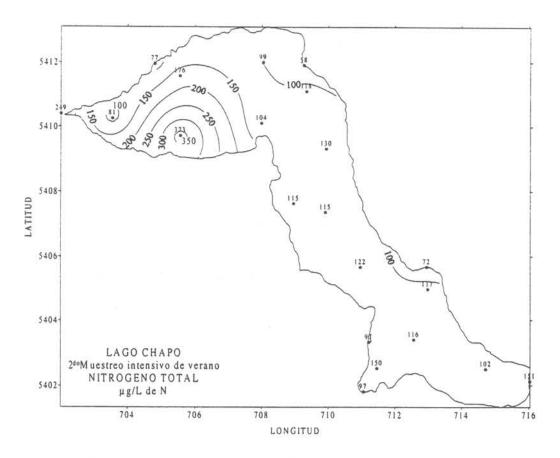
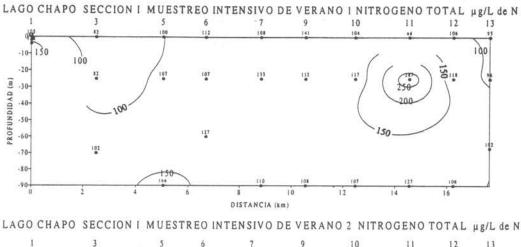


Figura 56 Distribución horizontal de Nitrógeno total μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO



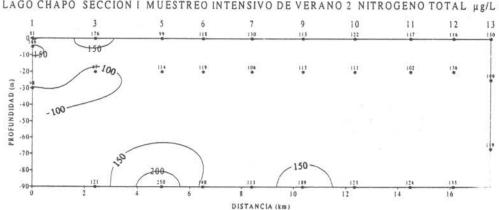
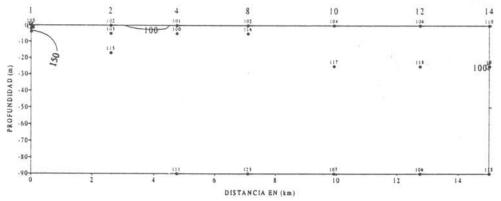


Figura 57 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo.

LAGO CHAPO SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO I NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO CHAPO SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

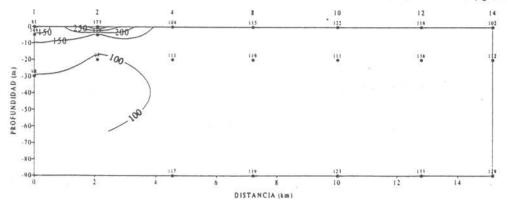
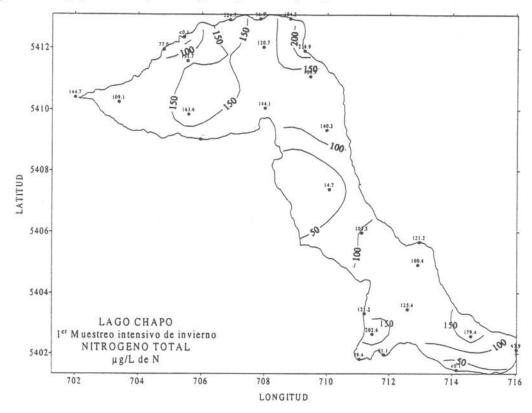


Figura 58 Sección vertical N°2 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Chapo.

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO



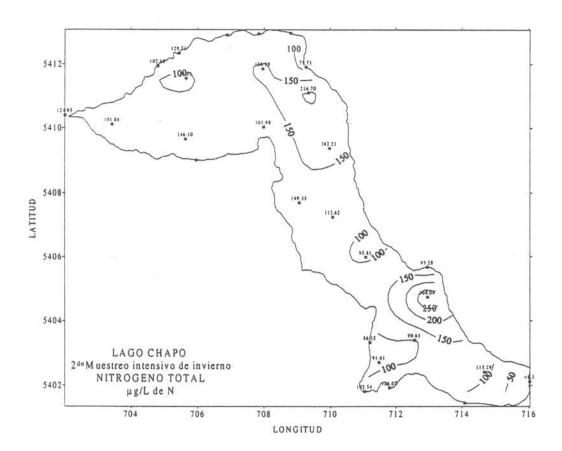
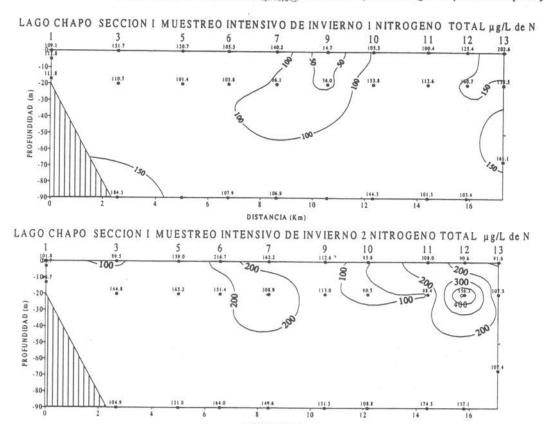
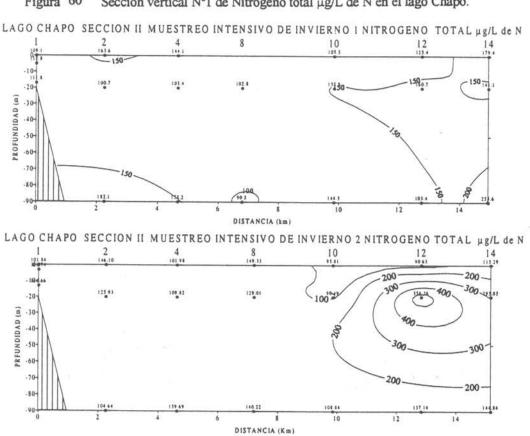


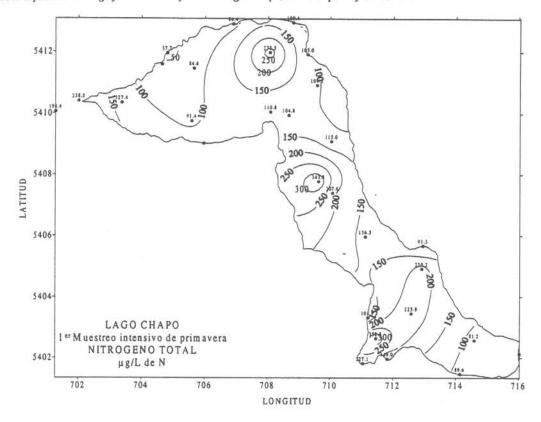
Figura 59 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.



Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo.



Sección vertical Nº2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo.



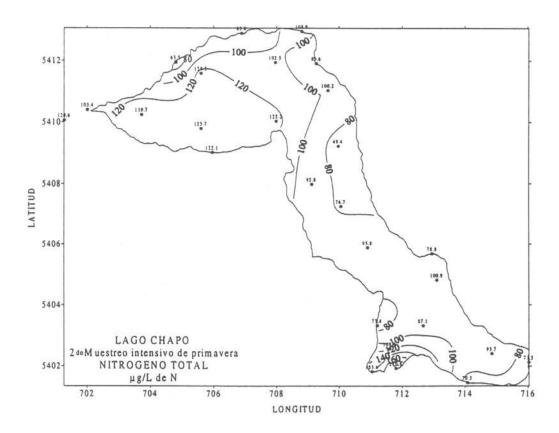


Figura 62 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

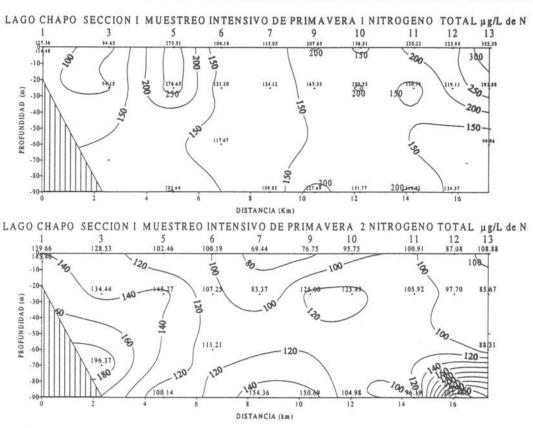


Figura 63 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Chapo.

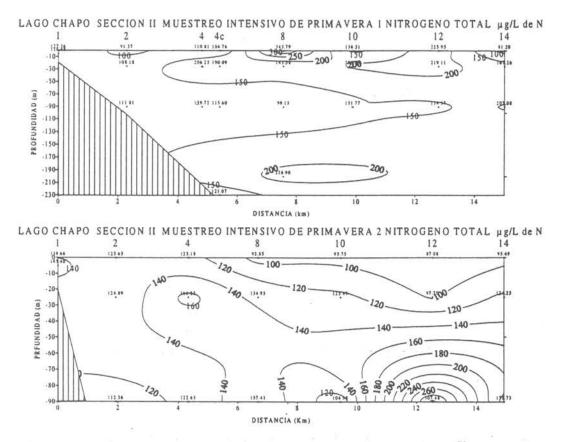
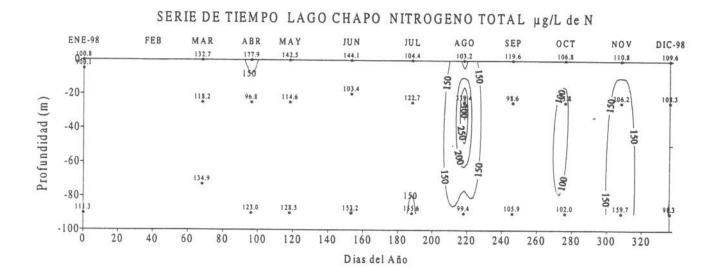


Figura 64 Sección vertical Nº2 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Chapo.



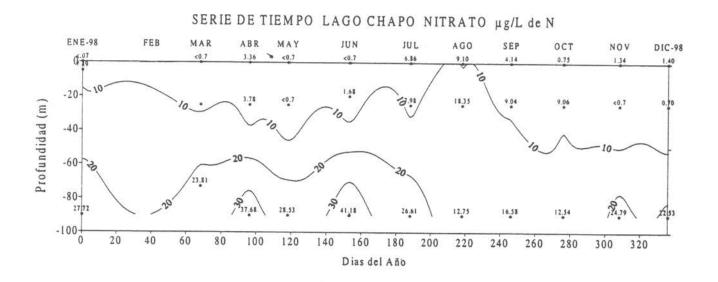
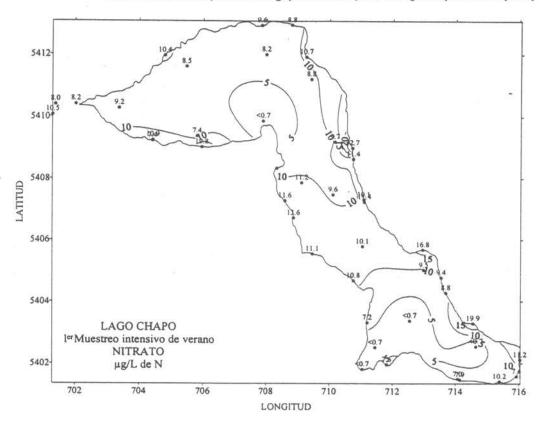


Figura 65 Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en µg/L de N en el lago Chapo.



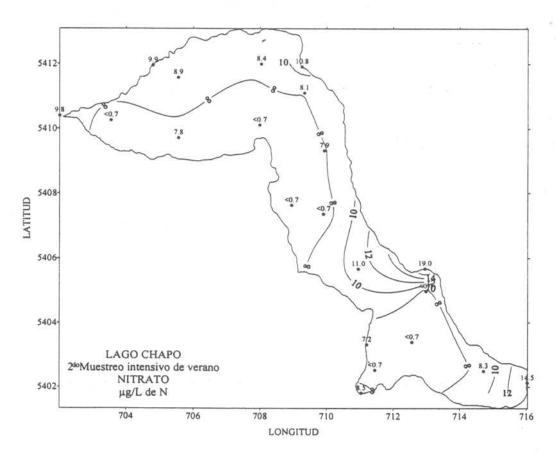


Figura 66 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.



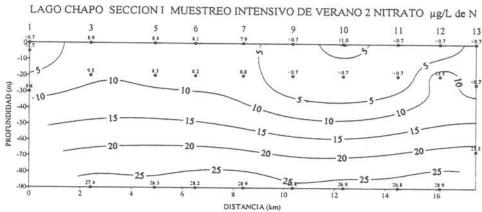
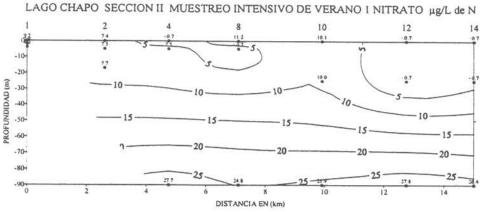


Figura 67 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo.



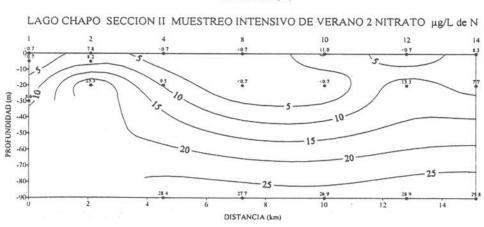
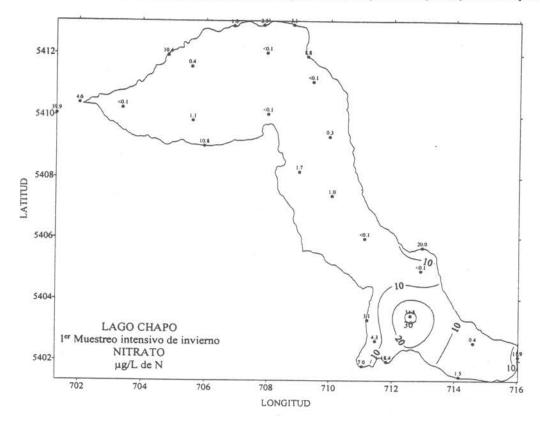


Figura 68 Sección vertical Nº2 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo.



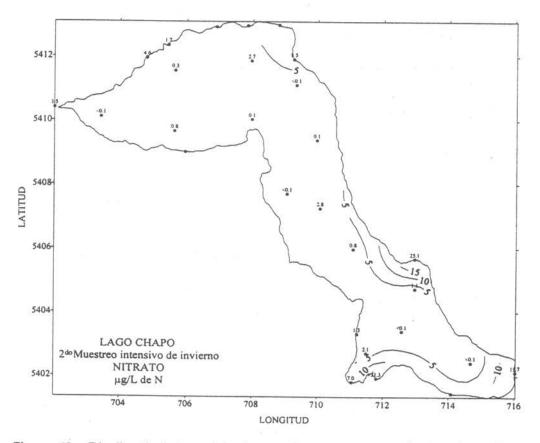


Figura 69 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

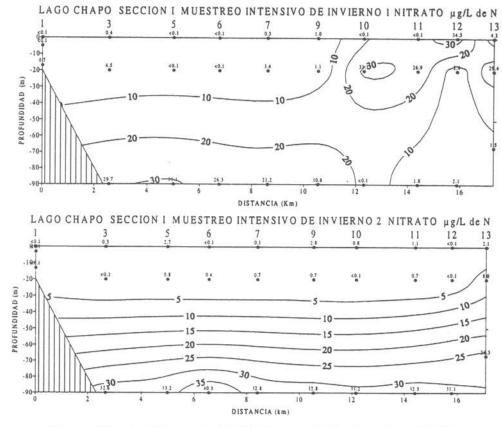


Figura 70 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo.

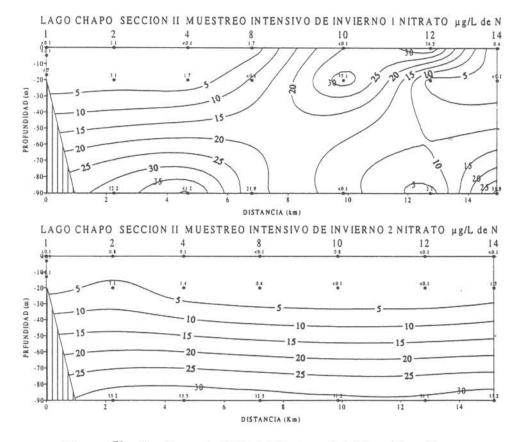
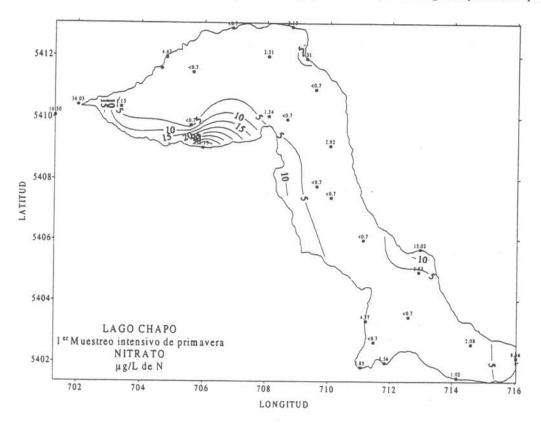


Figura 71 Sección vertical Nº2 de Nitrato μg/L de N en el lago Chapo.



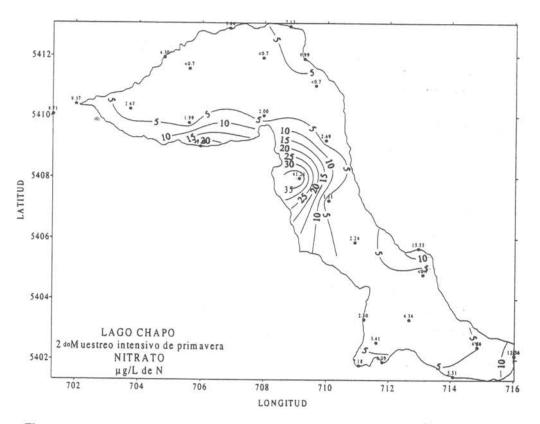


Figura 72 Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

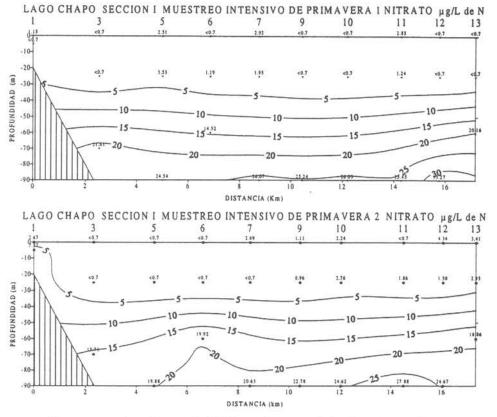


Figura 73 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo.

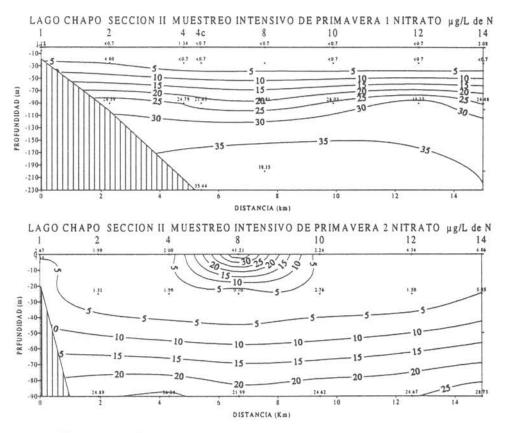
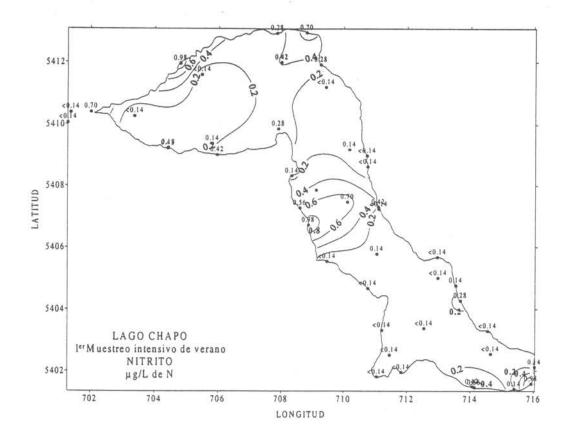


Figura 74 Sección vertical Nº2 de Nitrato µg/L de N en el lago Chapo.



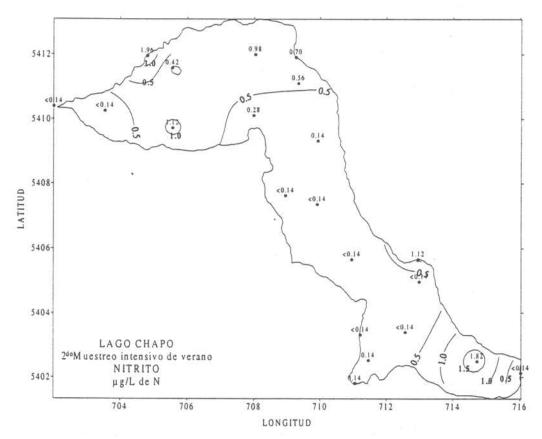


Figura 75 Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

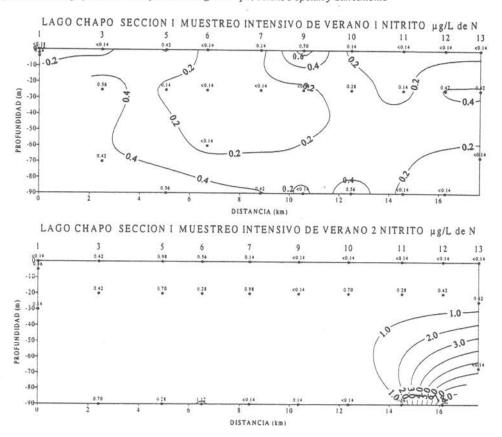


Figura 76 Sección vertical Nº1 de Nitrito μg/L de N en el lago Chapo.

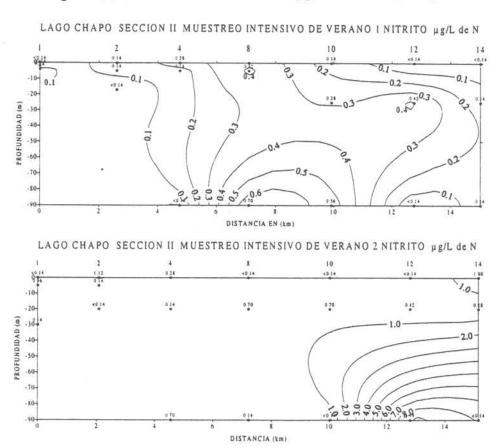
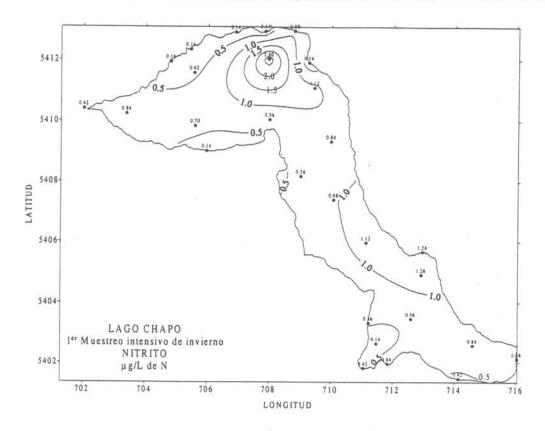


Figura 77 Sección vertical Nº2 de Nitrito μg/L de N en el lago Chapo.



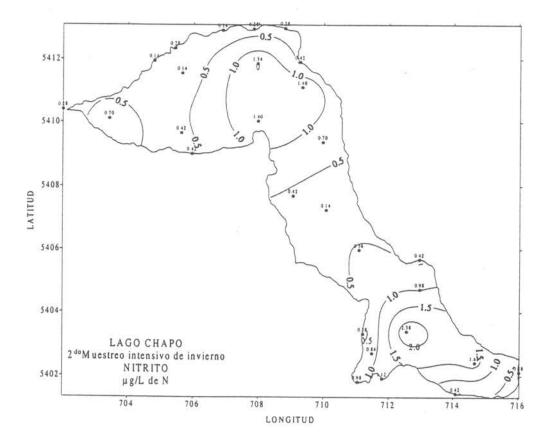


Figura 78 Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

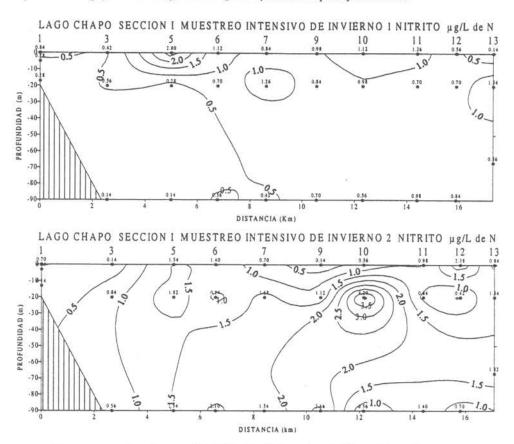


Figura 79 Sección vertical Nº1 de Nitrito μg/L de N en el lago Chapo.

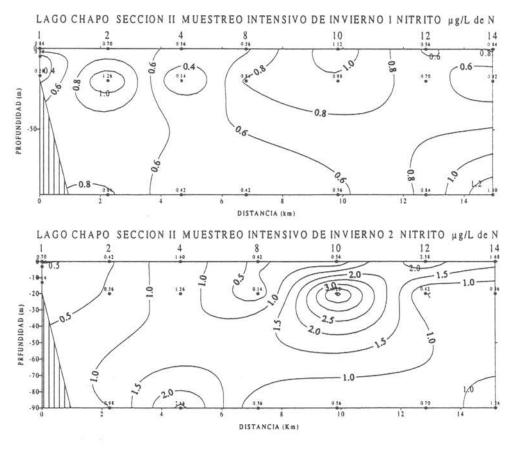
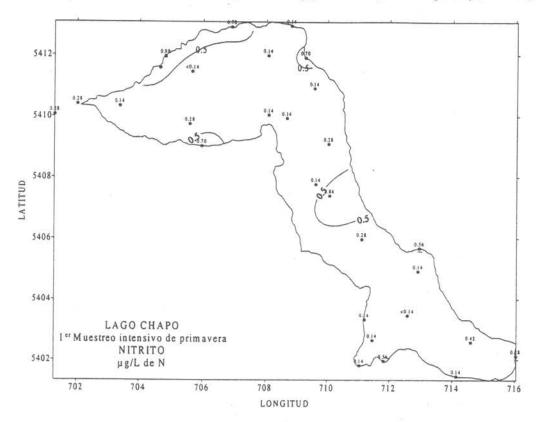


Figura 80 Sección vertical Nº2 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo.



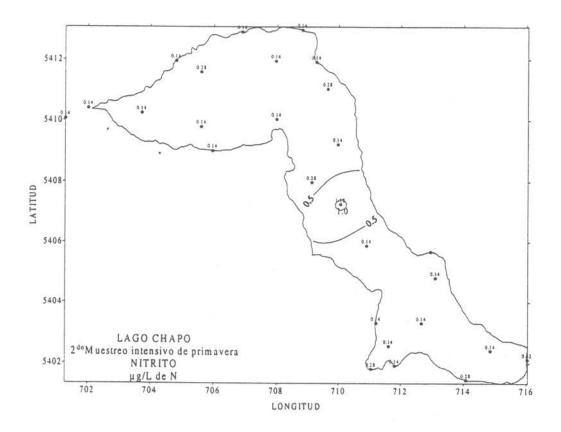


Figura 81 Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

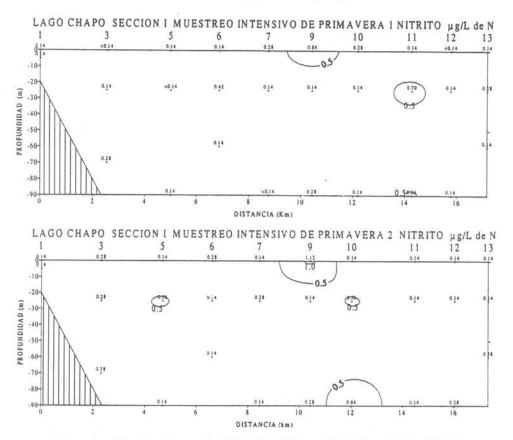


Figura 82 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Chapo.

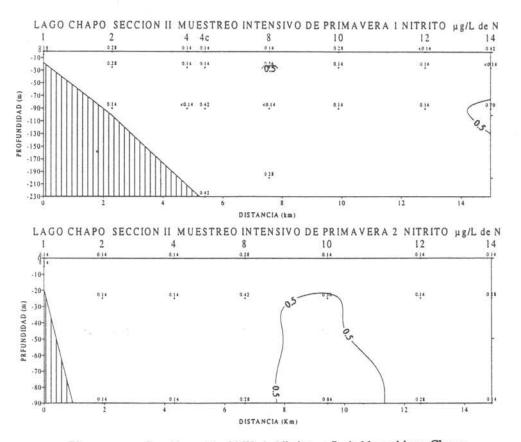
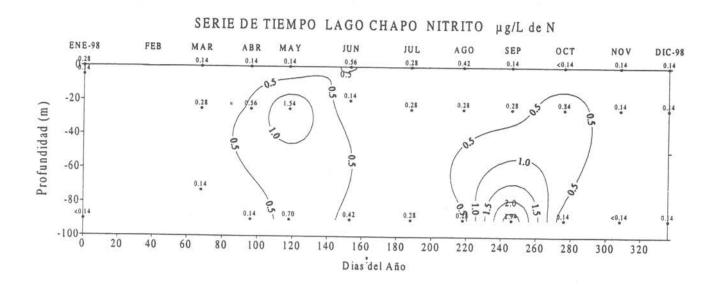


Figura 83 Sección vertical Nº2 de Nitrito μg/L de N en el lago Chapo.



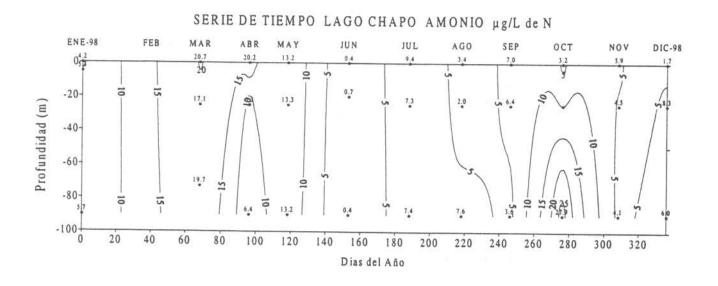
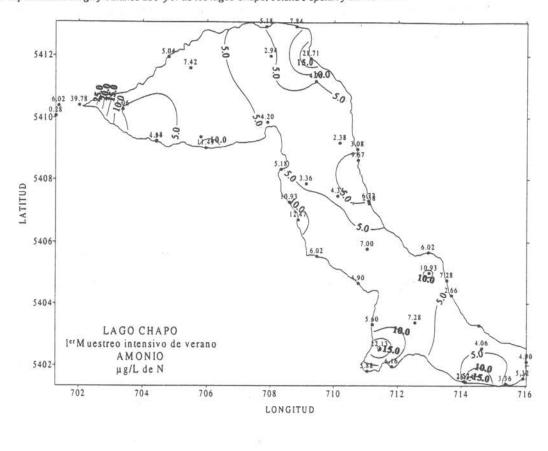


Figura 84 Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en μg/L de N en el lago Chapo.



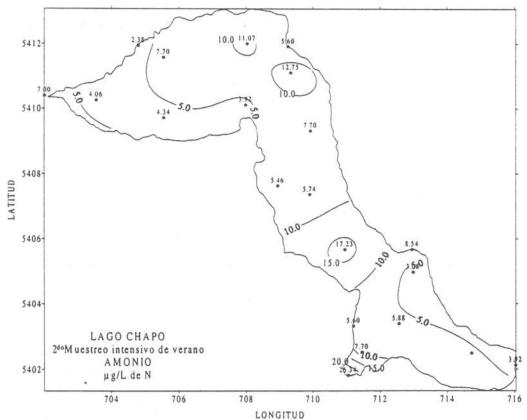


Figura 85 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

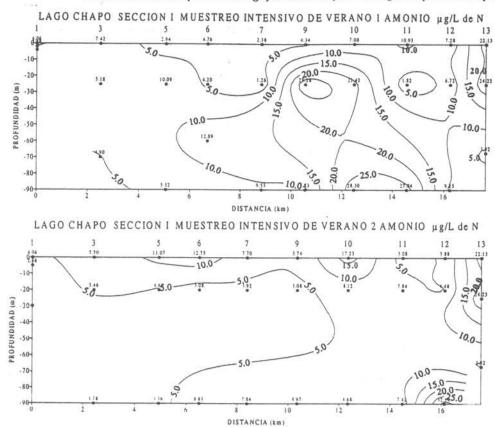


Figura 86 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago Chapo.

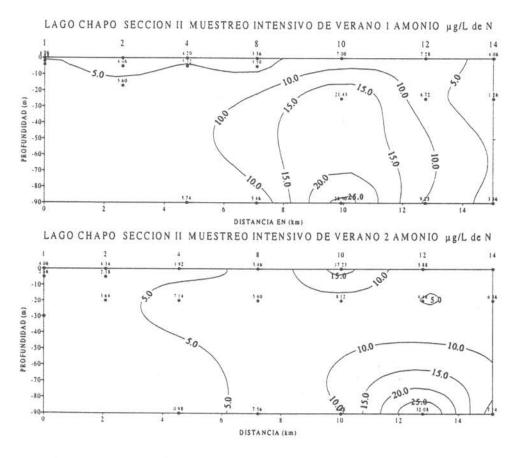
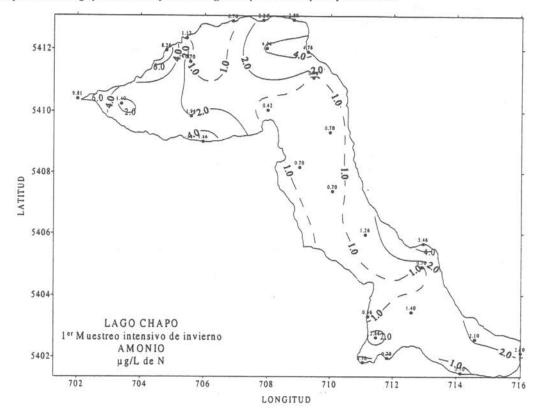


Figura 87 Sección vertical Nº2 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo.



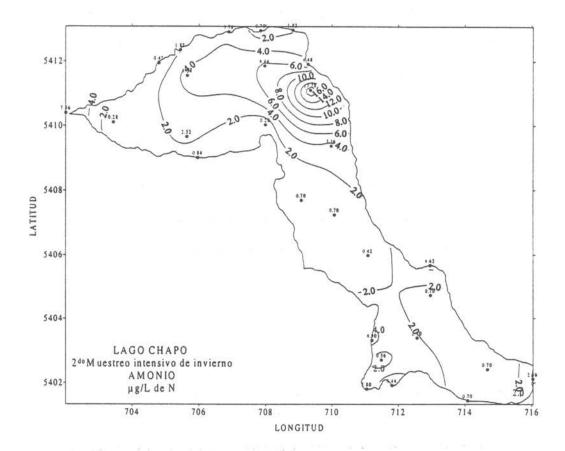


Figura 88 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

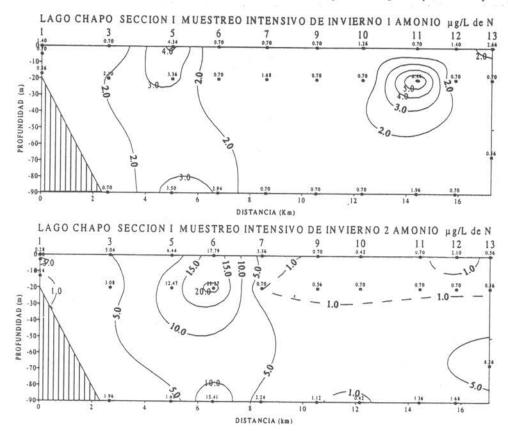


Figura 89 Sección vertical Nº1 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo.

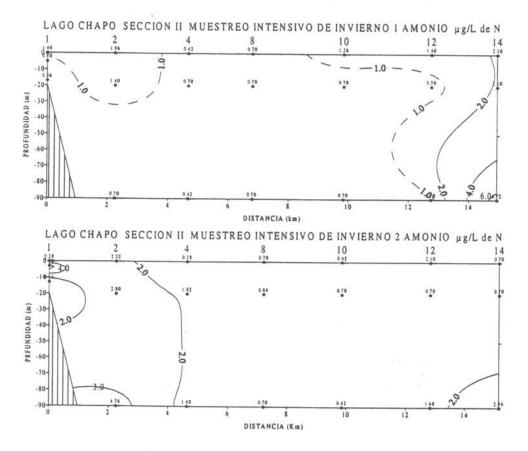
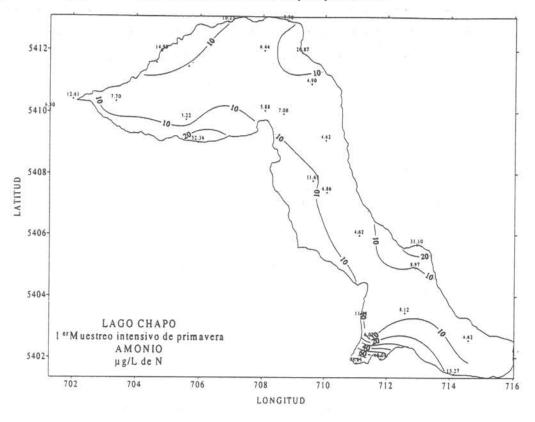


Figura 90 Sección vertical Nº2 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo.



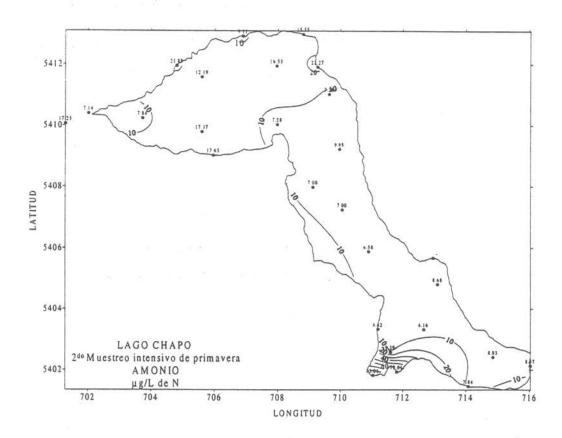


Figura 91 Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago Chapo.

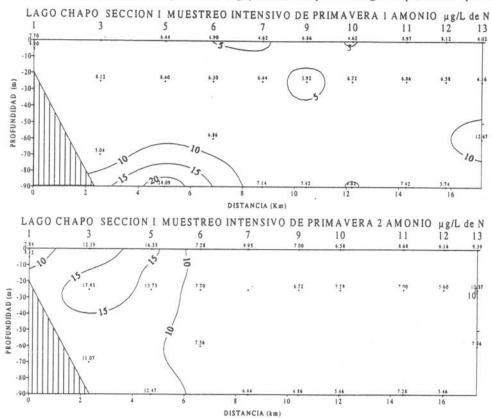


Figura 92 Sección vertical Nº1 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo.

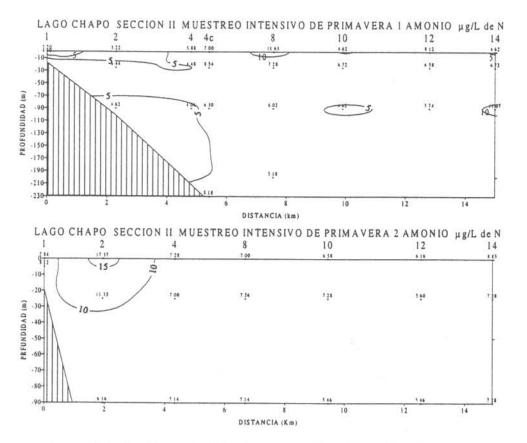
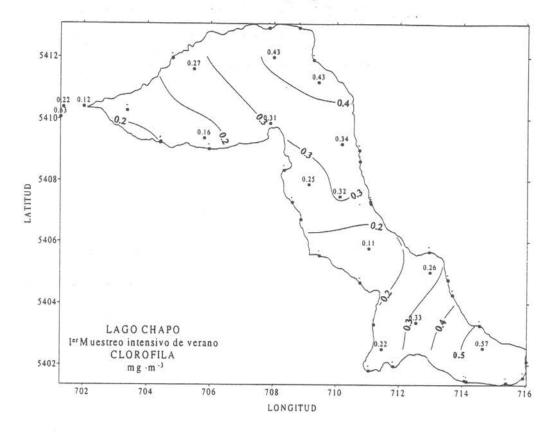


Figura 93 Sección vertical Nº2 de Amonio μg/L de N en el lago Chapo.



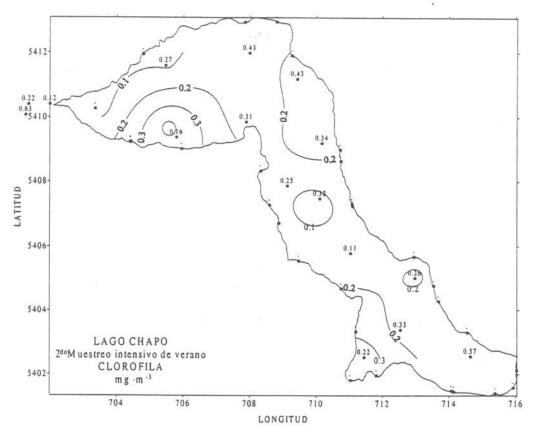


Figura 94 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Chapo.

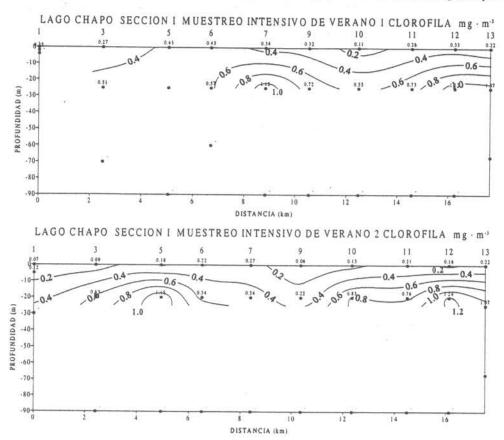


Figura 95 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago Chapo.

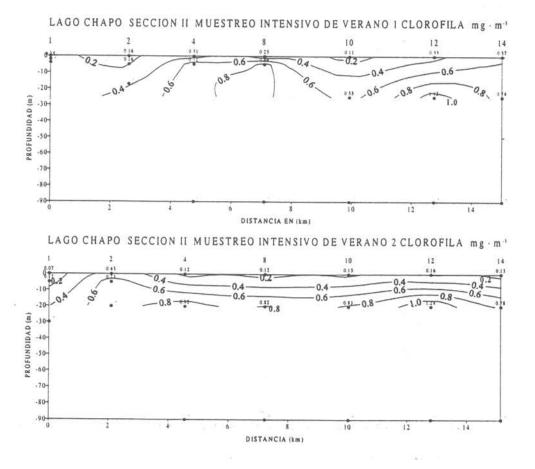
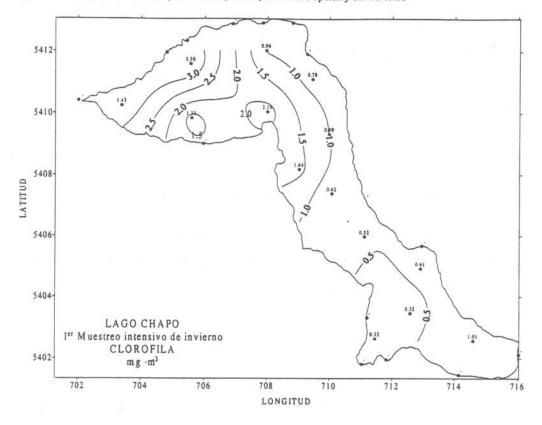


Figura 96 Sección vertical Nº2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo.



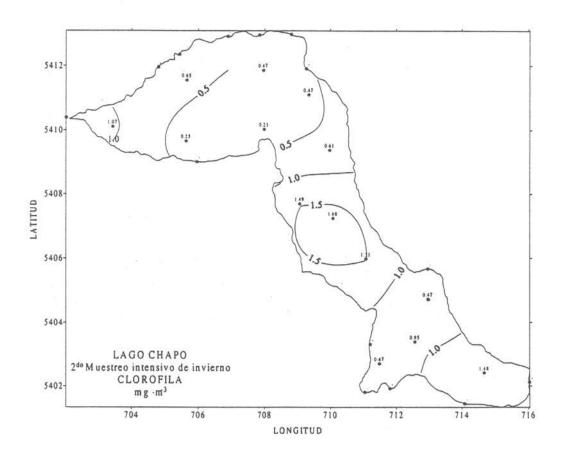


Figura 97 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Chapo.

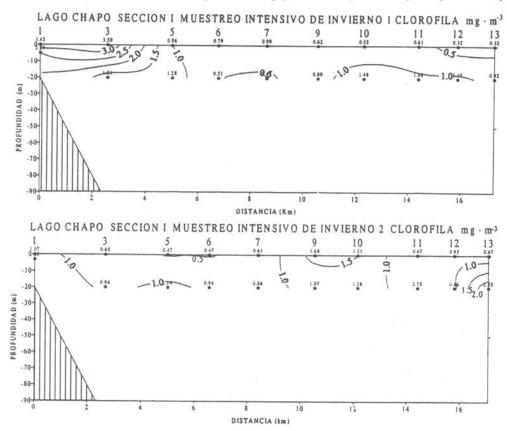


Figura 98 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo.

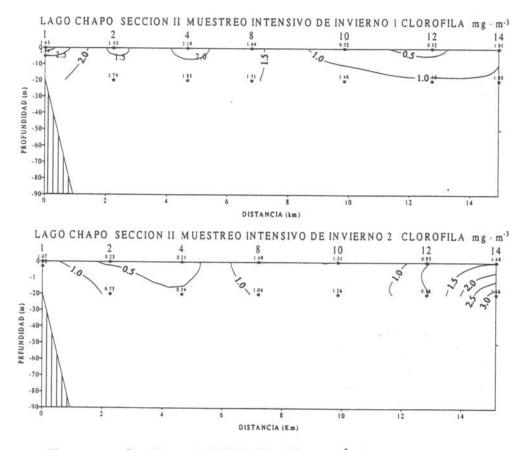
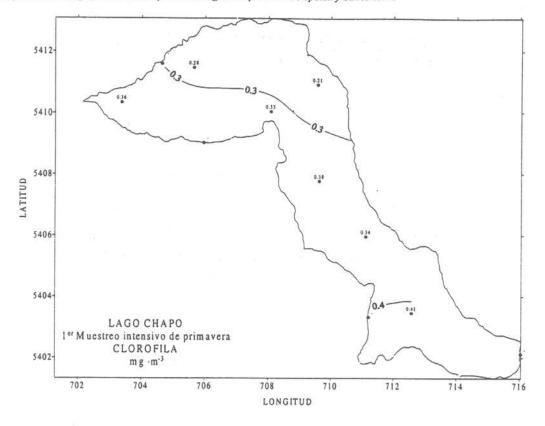


Figura 99 Sección vertical Nº2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo.



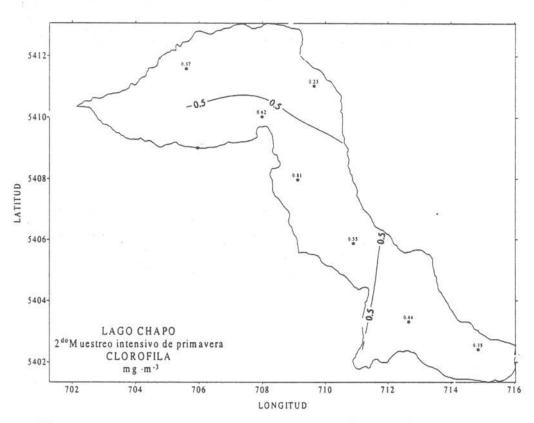


Figura 100 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Chapo.

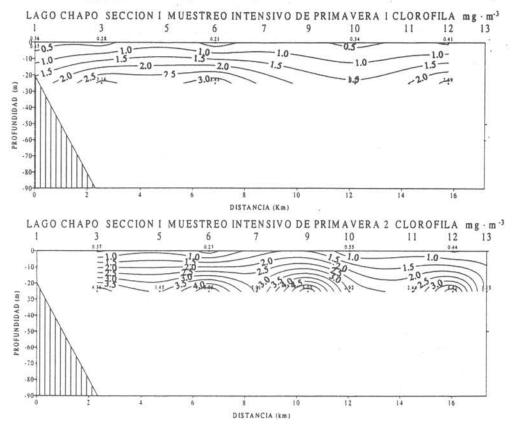


Figura 101 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago Chapo.

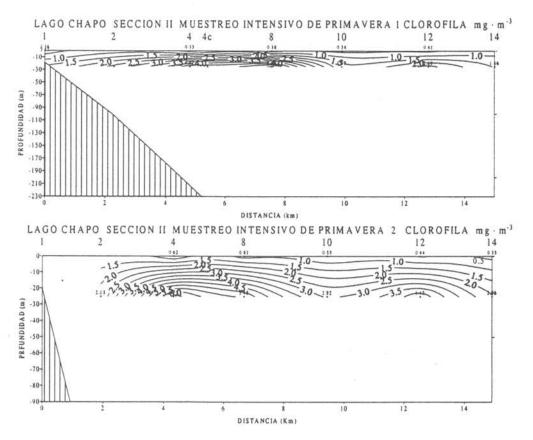
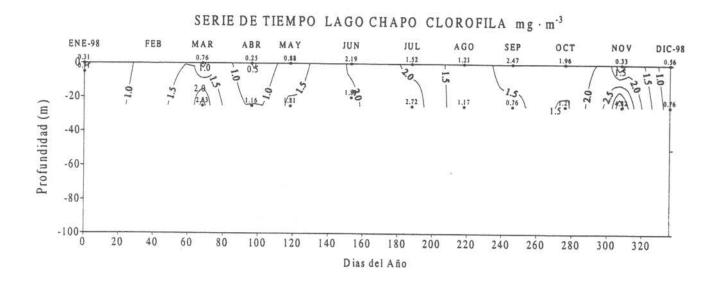


Figura 102 Sección vertical Nº2 de Clorofila mg·m³ en el lago Chapo.



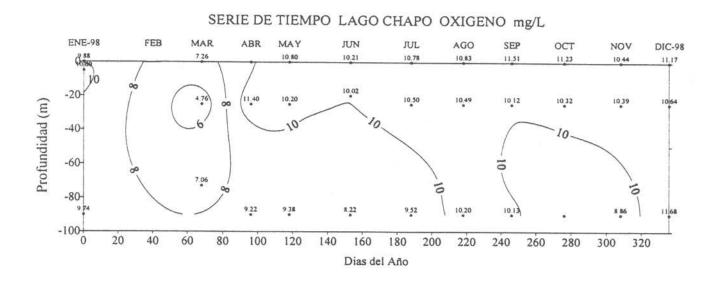
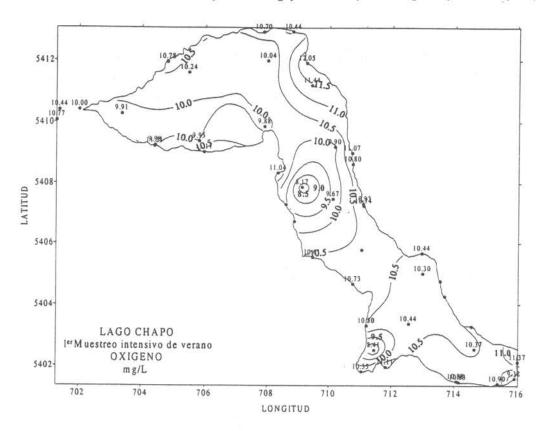


Figura 103 Variación temporal anual de Clorofila en mg·m⁻³ y de Oxígeno en mg/L en el lago Chapo.



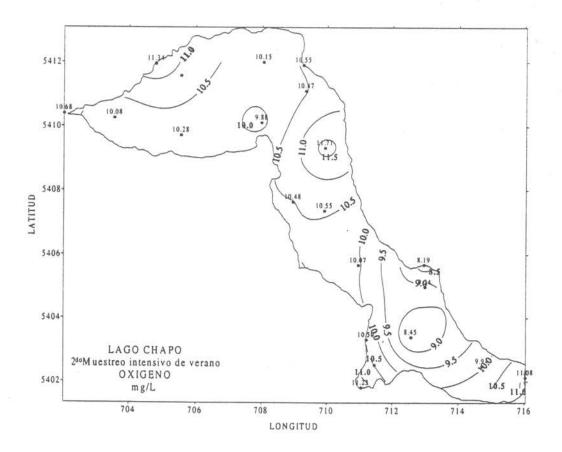
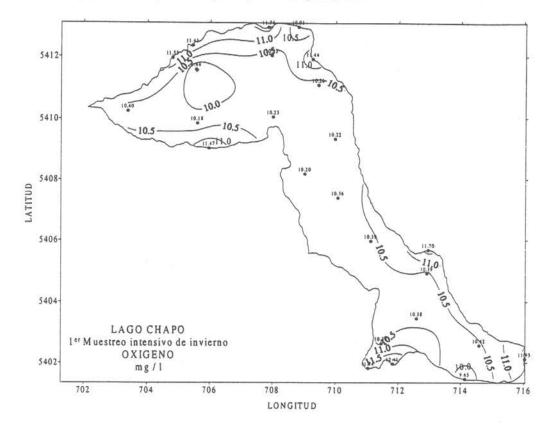


Figura 104 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Chapo.



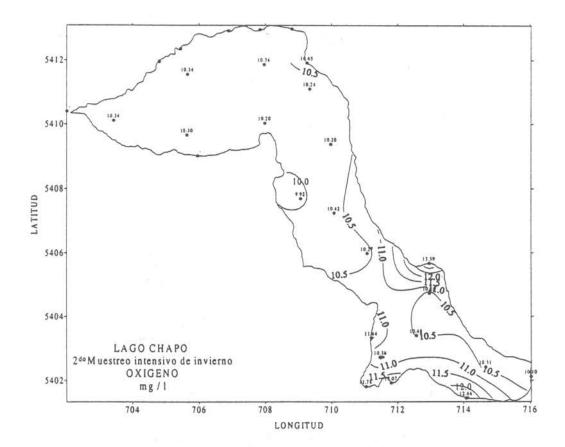
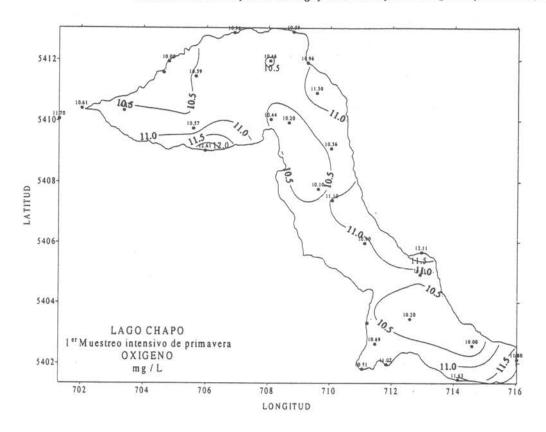


Figura 105 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Chapo.



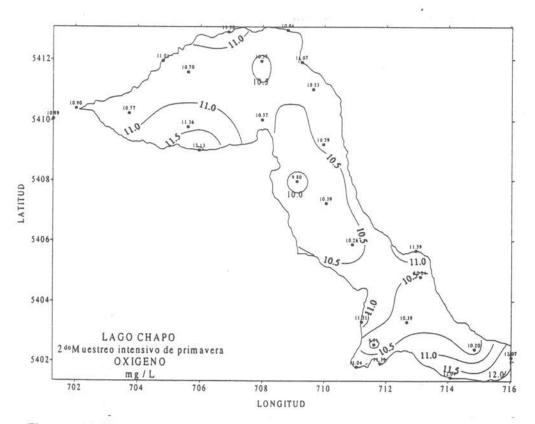


Figura 106 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Chapo.

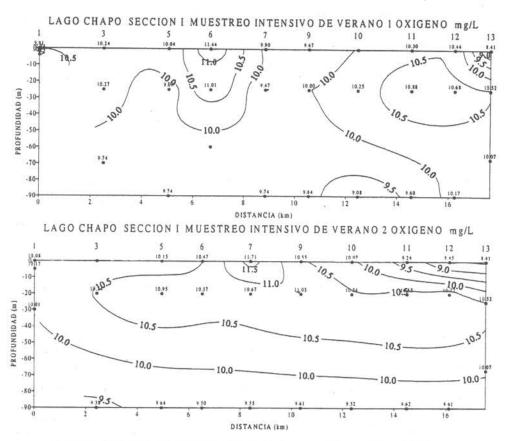
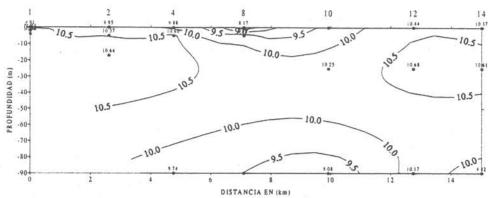


Figura 107 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.





LAGO CHAPO SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 OXIGENO mg/L

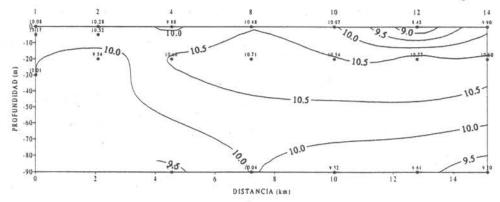


Figura 108 Sección vertical Nº2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.

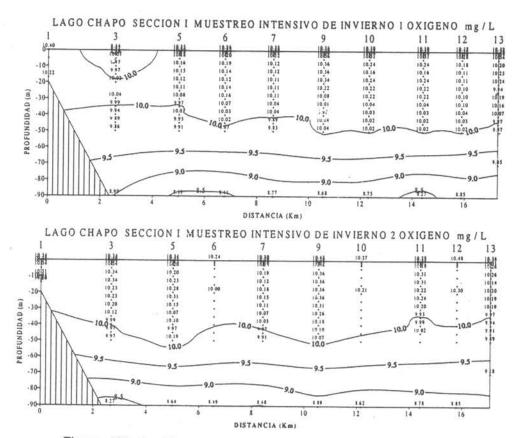


Figura 109 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.

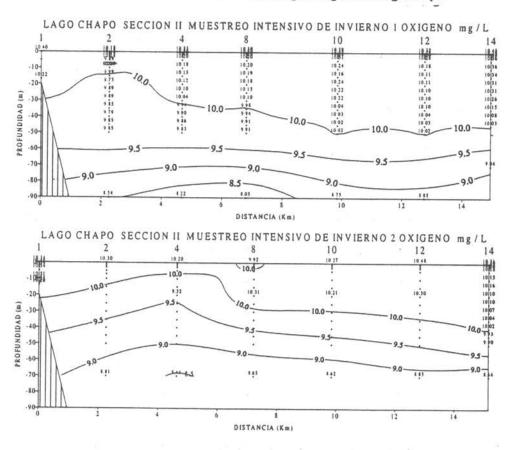


Figura 110 Sección vertical Nº2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.

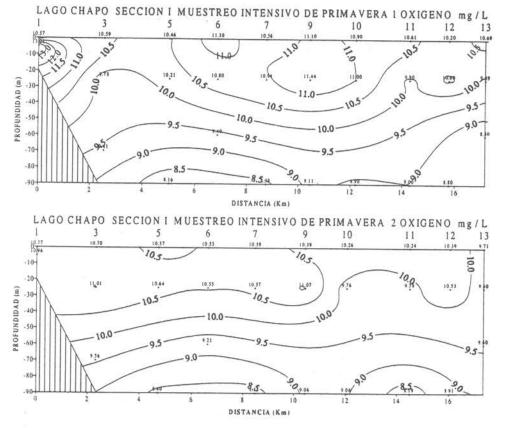


Figura 111 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.

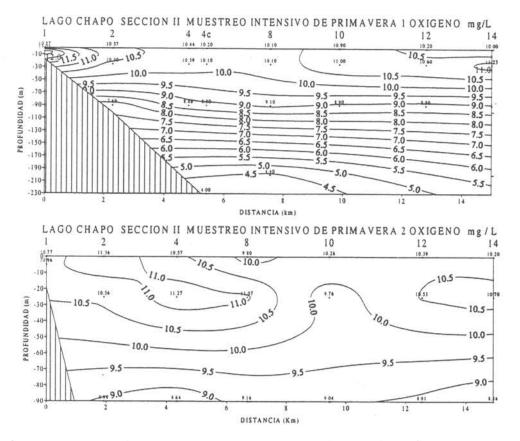
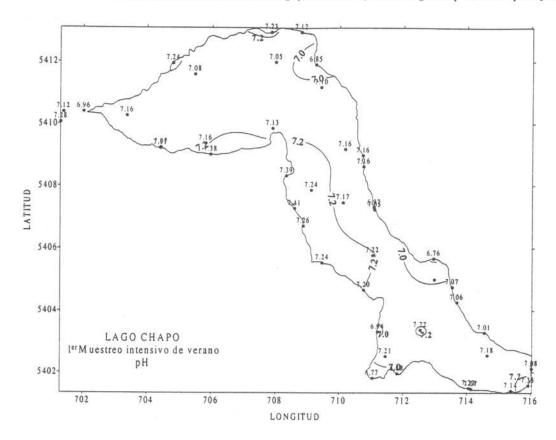


Figura 112 Sección vertical Nº2 de Oxígeno mg/L en el lago Chapo.



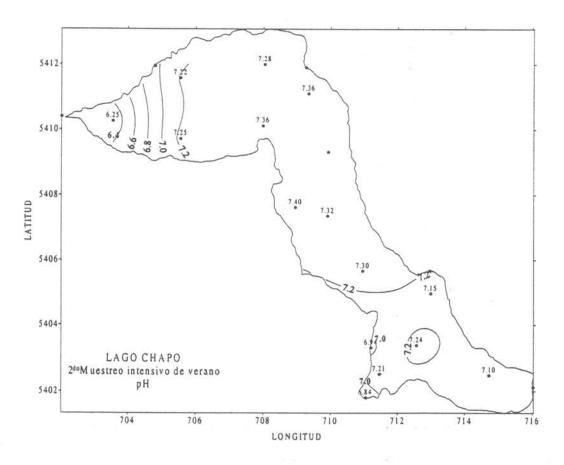


Figura 113 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo.

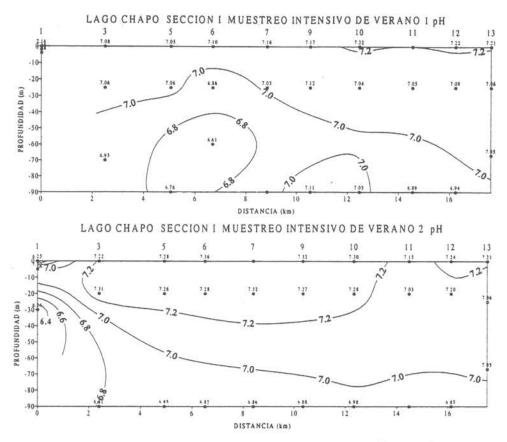


Figura 114 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Chapo.

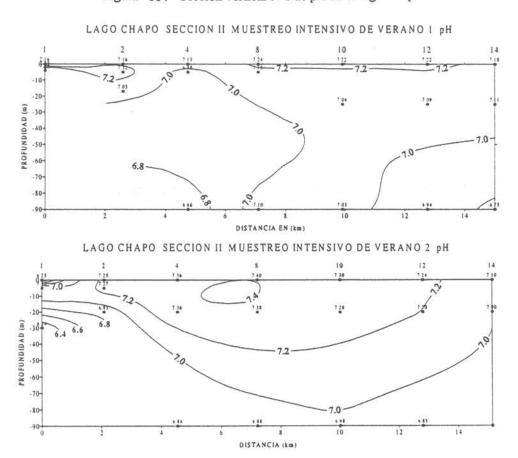


Figura 115 Sección vertical Nº2 de pH en el lago Chapo.

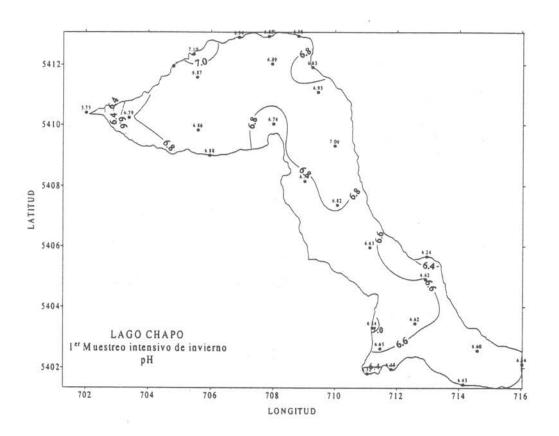


Figura 116 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo.

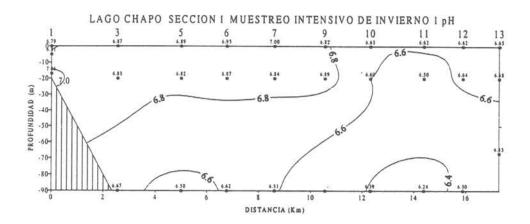


Figura 117 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Chapo.

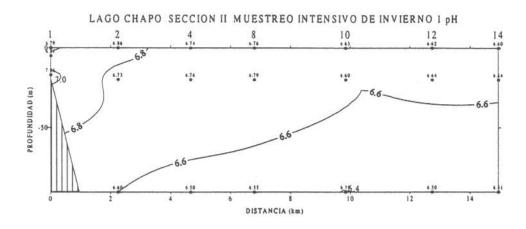
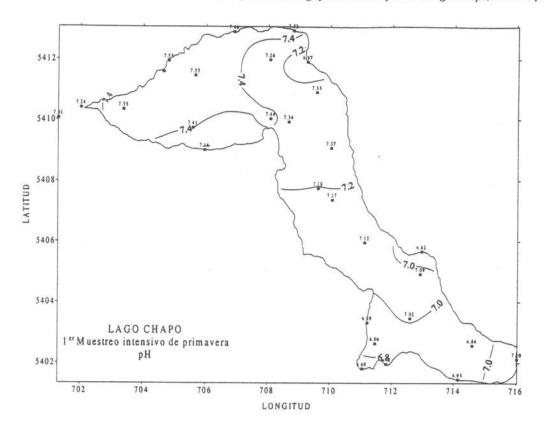


Figura 118 Sección vertical Nº2 de pH en el lago Chapo.



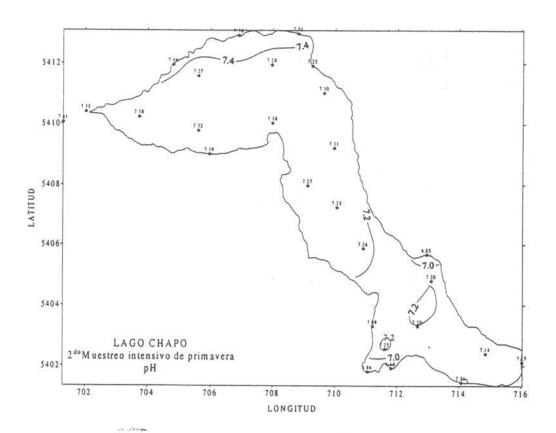


Figura 119 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Chapo.

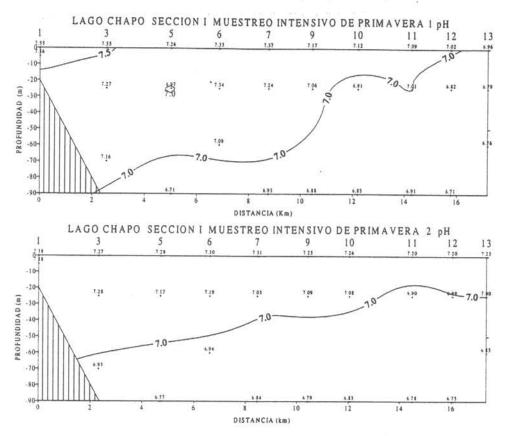


Figura 120 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Chapo.

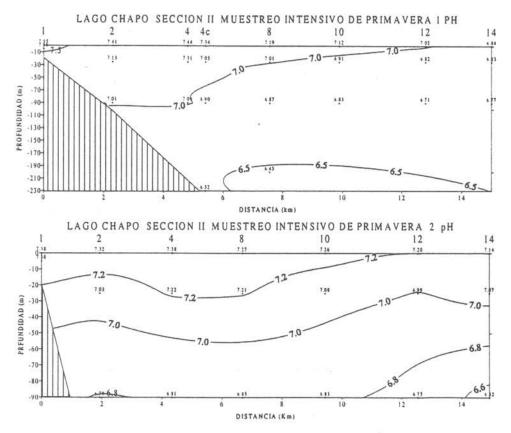
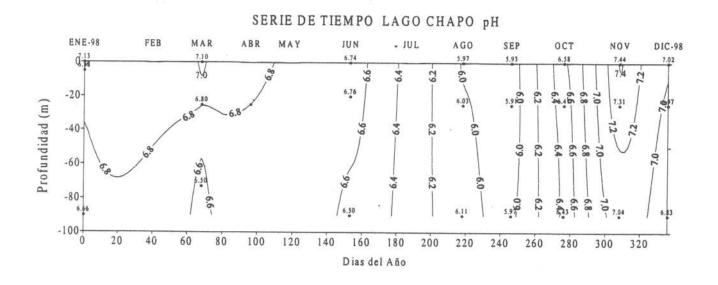


Figura 121 Sección vertical Nº2 de pH en el lago Chapo.



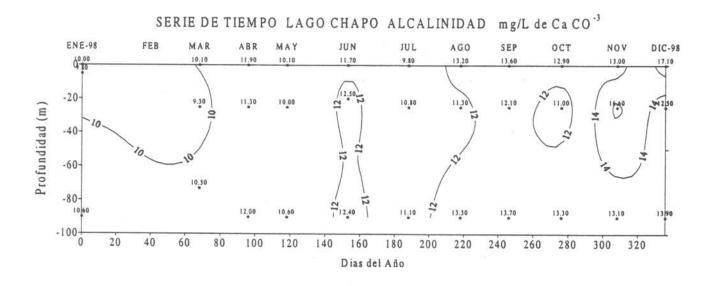
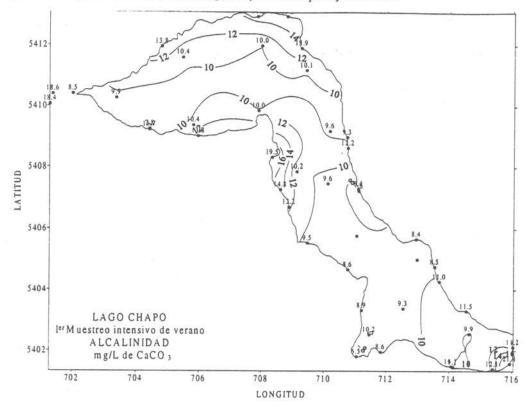


Figura 122 Variación temporal anual de pH y Alcalinidad en mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.



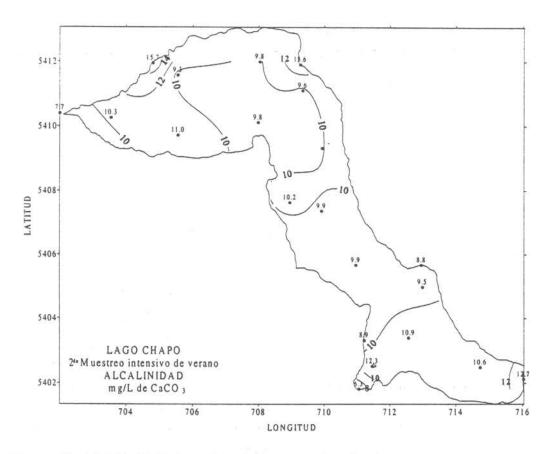
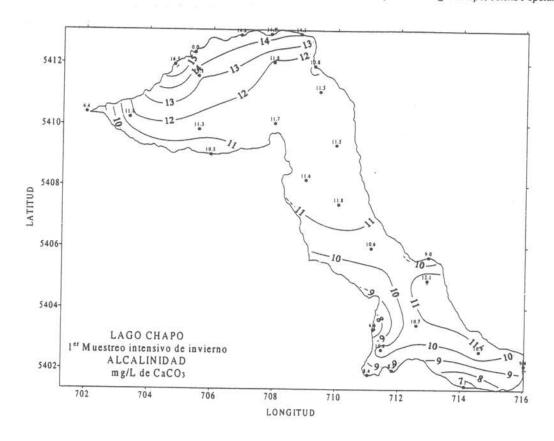


Figura 123 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago Chapo.



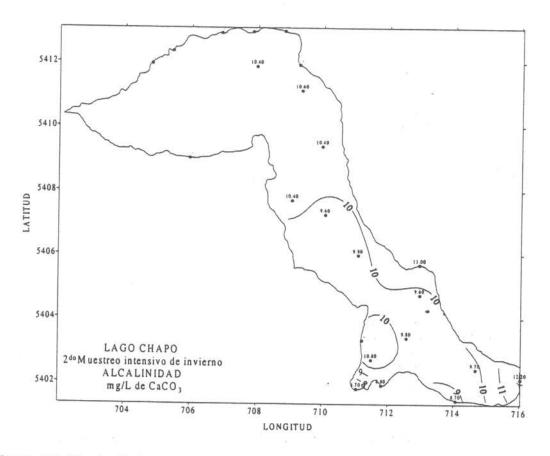
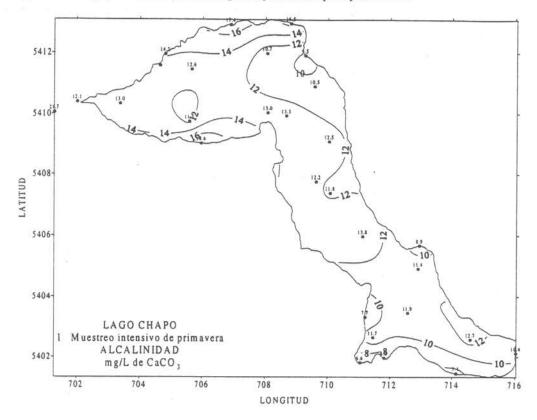


Figura 124 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Chapo.



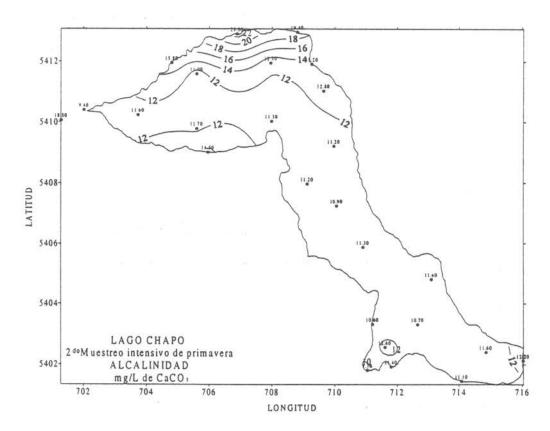
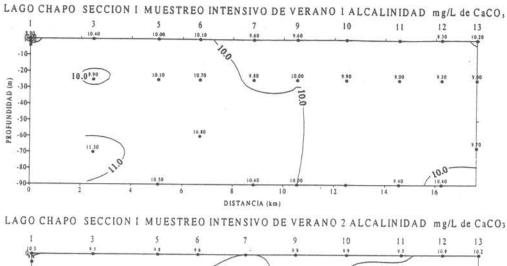


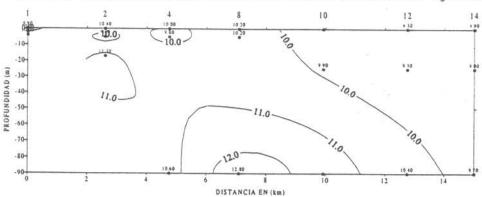
Figura 125 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago Chapo.



-10--20-PROFUNDIDAD (m) -30 -40--50--60--80-

Figura 126 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ en el lago Chapo.

LAGO CHAPO SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO I ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO CHAPO SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

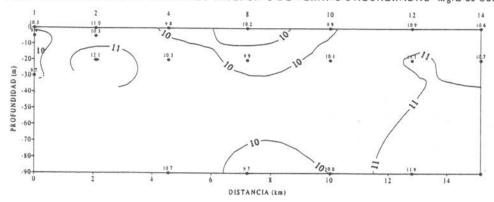


Figura 127 Sección vertical Nº2 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.

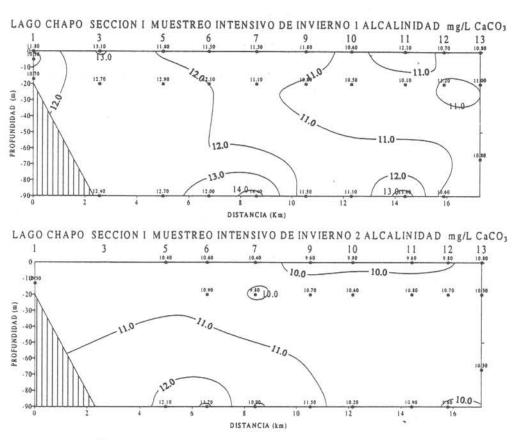


Figura 128 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.

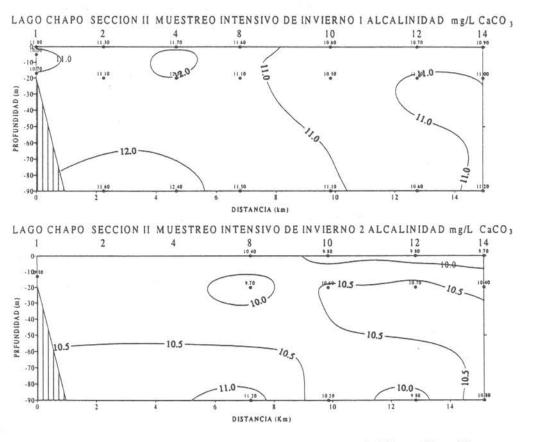


Figura 129 Sección vertical Nº2 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.

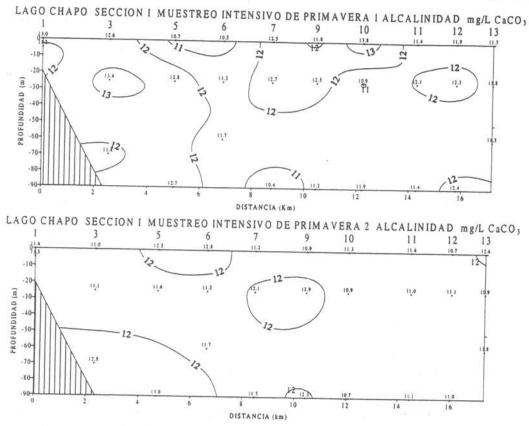


Figura 130 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.

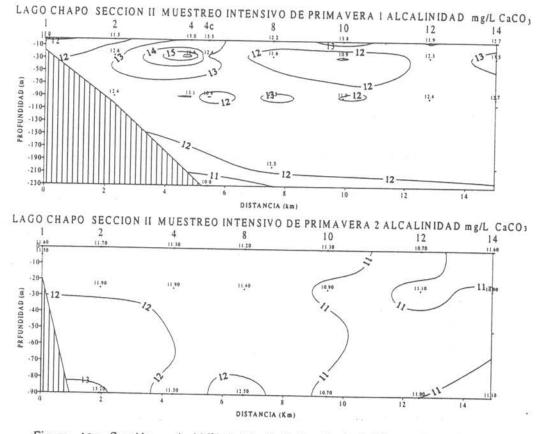
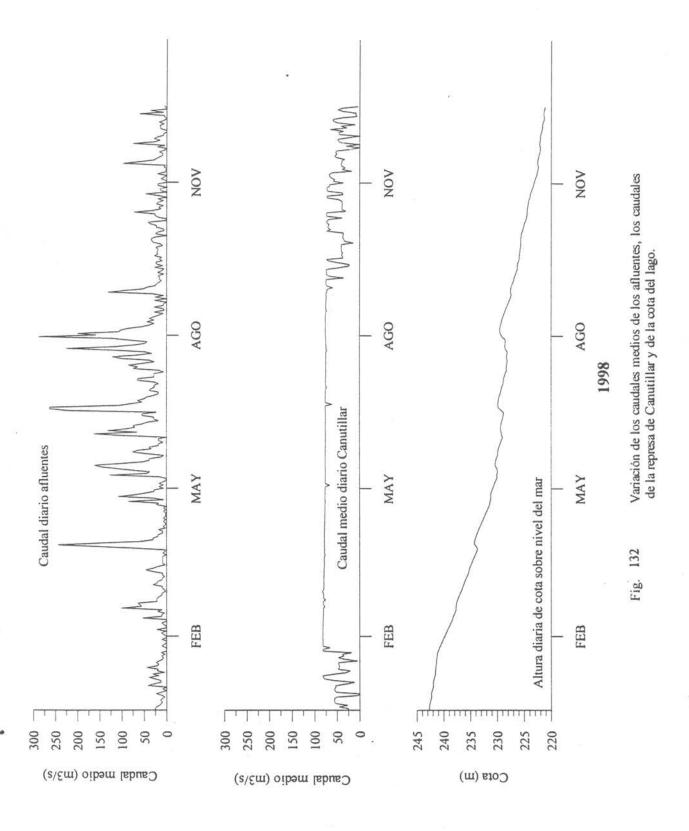
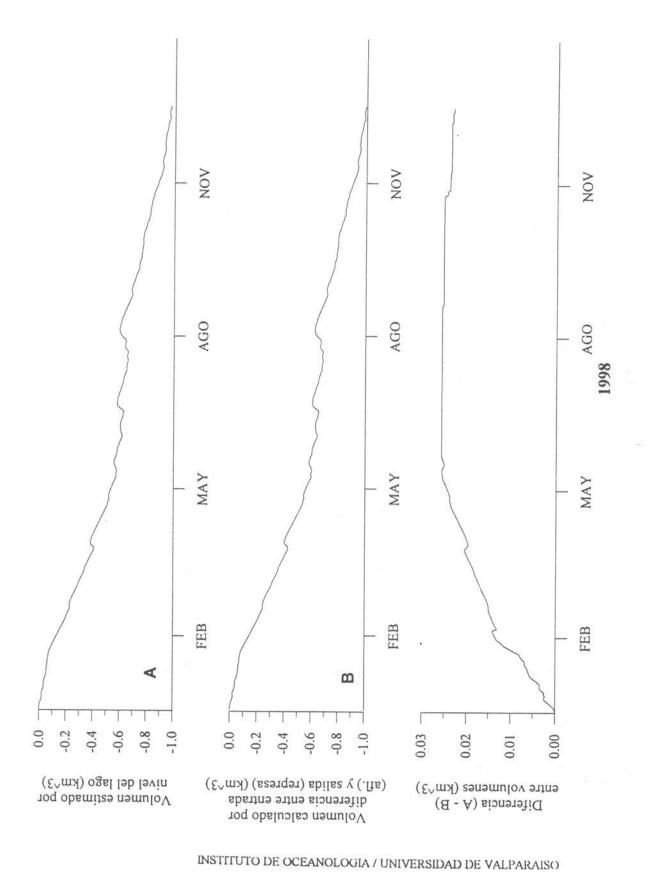


Figura 131 Sección vertical Nº2 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Chapo.





(A) corresponde al volumen estimada a partir de la variación de cota Evolución del volumen acumulado durante 1998 en el lago Chapo. (B) corresponde al volumen calculado de la diferencia entre la entrada de agua por afluentes y la salida por efecto de la represa y (C) es la diferencia entre A y B. Fig. 133

LAGO YELCHO

LAGO YELCHO

ANTECEDENTES DEL LAGO

El lago Yelcho, situado en la X Región de Chile, tiene un marcado uso turístico y especialmente en pesca deportiva de alto nivel, llegando pescadores de todas partes del mundo, existiendo una fama internacional por la calidad de aguas para la pesca deportiva. Existe una infraestructura turística desarrollada, considerando agencias de viajes, empresas de transportes, cotos de pesca, hosterías, embarcaciones acondicionadas para la pesca con guías turísticos y circuitos establecidos al interior del lago, ríos afluentes y efluente y lagunas cercanas. Estas actividades se concentran en Chaitén, como capital de la provincia ubicada a 55 Km del lago, y en Puerto Cárdenas, Puerto Ramírez, Isla Mona y Caví como localidades del área del Lago Yelcho.

Por otro lado, actualmente presenta un buen acceso desde la carretera austral, especialmente el sector de Puerto Cárdenas y Bahía Caví. Esto hace que el posible uso en cultivo de salmones en sus primeras etapas, hasta la esmoltificación, este entre las posibilidades de las empresas del rubro.

El clima del lago Yelcho es templado, lluvioso, con influencia oceánica. Las estaciones meteorológicas que poseen estadísticas climáticas registradas por periodos largos (30 años) y más cercanas geográficamente al lago Yelcho son la estación de Alto Palena y de Futaleufú.

1. ESTIMACIÓN DE APORTES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO

1.1 MORFOMETRIA DEL LAGO Y CARTOGRAFIA DE LA RED DE DRENAJES

Por la morfometría de la cuenca y orientación del lago (NO-SE), la componente viento produce corrientes superficiales en dirección longitudinal del lago, y en sentido contrario a la descarga superficial del lago. Este aspecto debe ser considerado en posible localización de balsas jaulas para el cultivo de salmónidos.

Las cuencas del lago, la red de drenajes del sector terrestre y la batimetría del lago ejecutada para este estudio se aprecian en las Figuras 139, 140 y 141. La Tabla 33 señala los parámetros morfológicos del lago Yelcho. Llama la atención la forma alargada del lago,

con una longitud de 37 Km y un ancho de 7,9 Km, estando ubicado el desagüe en un sentido opuesto al principal río afluente, río Futaleufú, el cual vierte el 85 % de las aguas de los ríos principales que llegan al lago. También es singular la importante criptodepresión de éste lago, 199 m bajo el nivel del mar.

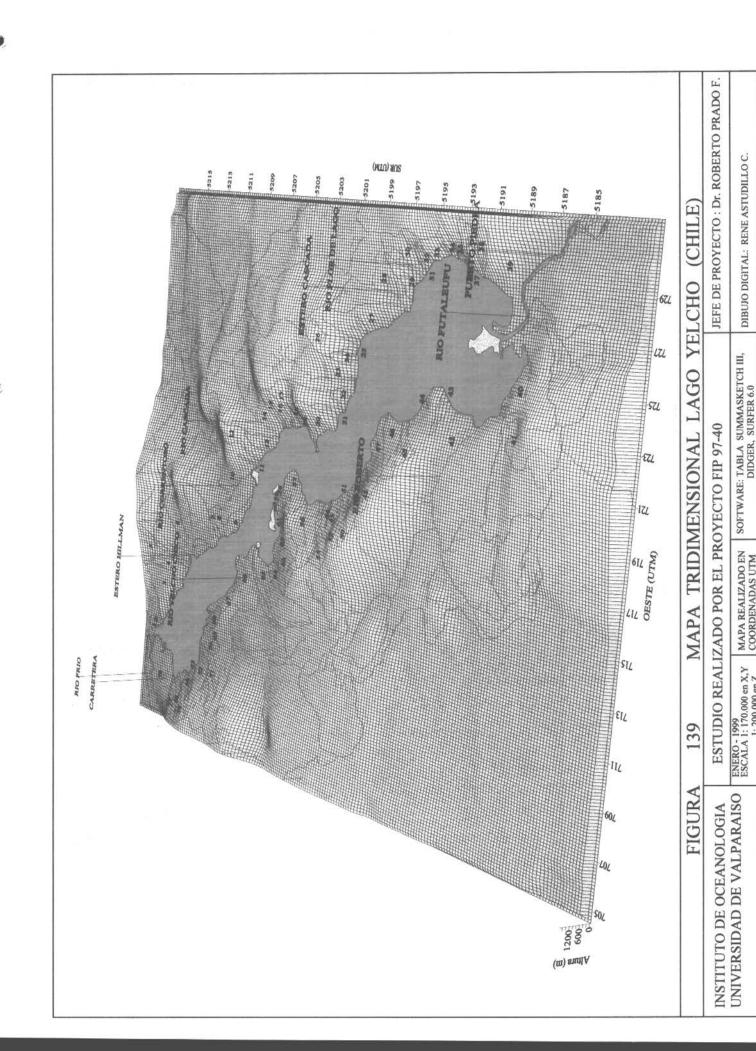
Tabla 33. Parámetros morfométricos del lago Yelcho

Altitud	44 m
Longitud máxima (I _m)	37,031 Km
Ancho máximo (b _m)	7,969 Km
Ancho medio (b)	3,26 Km
Línea de costa (L)	105,586 Km
Area superficial (A ₀)	120,912 Km ²
Desarrollo línea de costa (D _L)	2,71
Profundidad máxima (Z _m)	238 m
Profundidad media (Z)	110,1 m
Profundidad criptodepresión (Z _c)	199 m
Relación entre profundidad media a máxima (Z:Z _m)	0,50
Volumen (V)	13,31 Km ³
Zonas bajas (20 m profundidad)	19,59
Area de drenaje (A _d)	2101,27 Km ²
A_d/A_0	17,37

1.2 DIAGNOSTICO DE USO DEL SUELO

La situación actual del uso del suelo se observa en la Figura 142. El uso forestal con bosque nativo es el principal de la cuenca, los sectores de pastoreo son escasos y limitados a pequeños sectores cercanos a los pequeños valles que conforman los ríos efluentes. Se estimó en 500 cabezas de vacuno la cantidad de animales que pueblan los sectores de pastoreo. Los terrenos de pastoreo estan formados por praderas de gramíneas con árboles y/o bosquetes de renovales cada cierto trecho.

En general la vegetación climax de esta parte del país corresponde a la región del bosque siempre verde (Gajardo, 1994). Los datos disponibles en el Catastro de la Vegetación de Chile, permiten realizar una descripción de los aspectos fisionómicos y de composición de especies orientados a un enfoque de uso forestal.



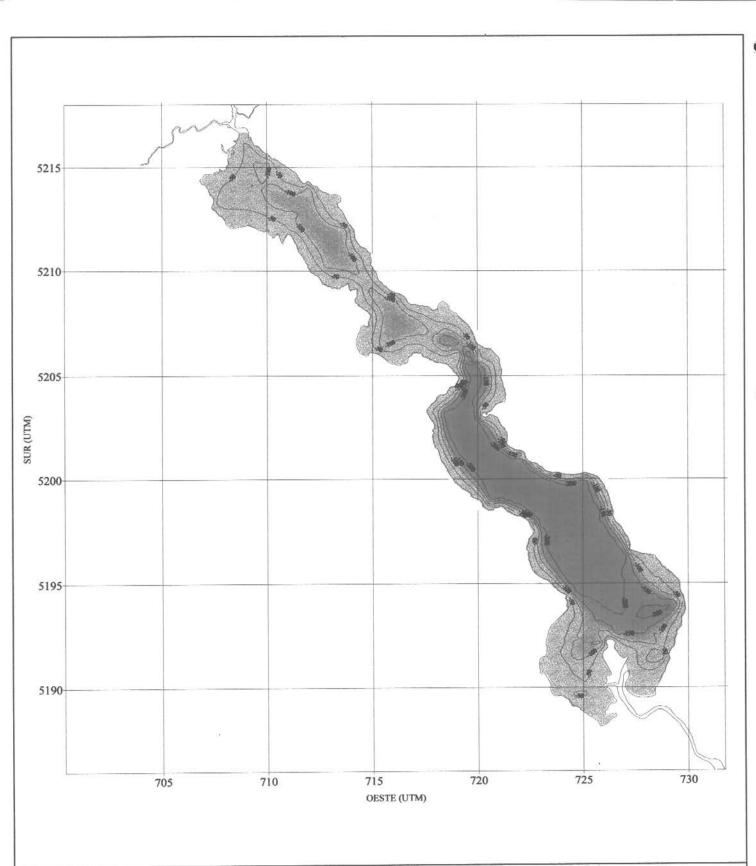


FIGURA	140	MAPA BATIM	METRICO LAGO YELCH	O (CHILE)
INSTITUTO DE OCEANOLOGIA UNIVERSIDAD DE VALPARAISO	ESTUDIO RE	ALIZADO POR EL P	PROYECTO FIP 97-40	JEFE DE PROYECTO : Dr. ROBERTO PRADO F.
	ENERO - 1999 ESCALA 1: 180.000	MAPA REALIZADO EN COORDENADAS UTM	SOFTWARE: TABLA SUMMASKETCH III, DIDGER, SURFER 6.0	DIBUJO DIGITAL: RENE ASTUDILLO C.

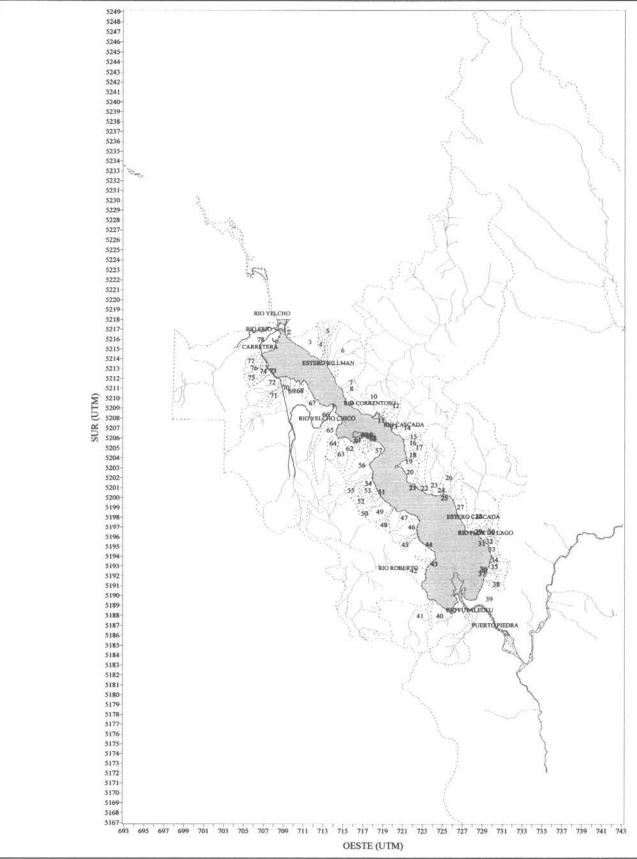


FIGURA 141 CUENCA DE LOS RIOS Y AFLUENTES DEL LAGO YELCHO (CHILE)

INSTITUTO DE OCEANOLOGIA
UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

ENERO-1999
ESCALA 1:350.000

MAPA REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 97-40

MAPA REALIZADO EN COORDENADAS UTM
OCORDENADAS UTM
OCORDENADAS UTM
OCORDENADAS UTM
ODIGIGRE, SURFER 6.0

DIBUJO DIGITAL: RENE ASTUDILLO C.

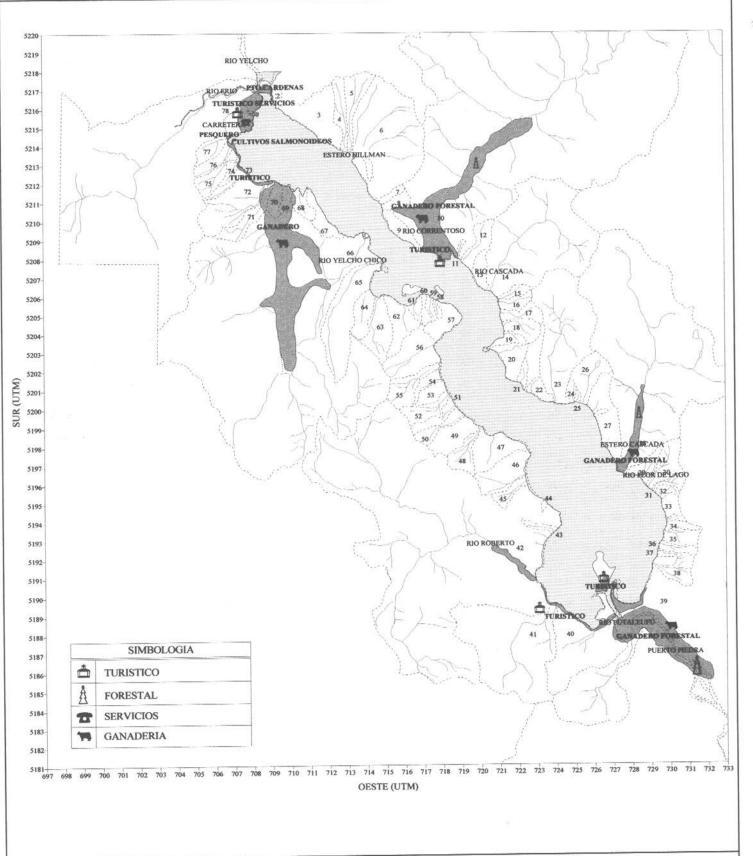


FIGURA 142	ACTIVIDA	ADES ECONON	MICAS ACTUALES EN EL	LAGO YELCHO (CHILE)
INSTITUTO DE OCEANOLOGIA	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 97-40			JEFE DE PROYECTO : Dr. ROBERTO PRADO F.
UNIVERSIDAD DE VALPARAISO	ENERO - 1999 ESCALA 1: 200.000	MAPA REALIZADO EN COORDENADAS UTM	SOFTWARE: TABLA SUMMASKETCH III, DIDGER, SURFER 6.0	DIBUJO DIGITAL: RENE ASTUDILLO C.

En este estudio se efectuó un detallado análisis de la vegetación en las cuencas hidrográficas del lago Yelcho.

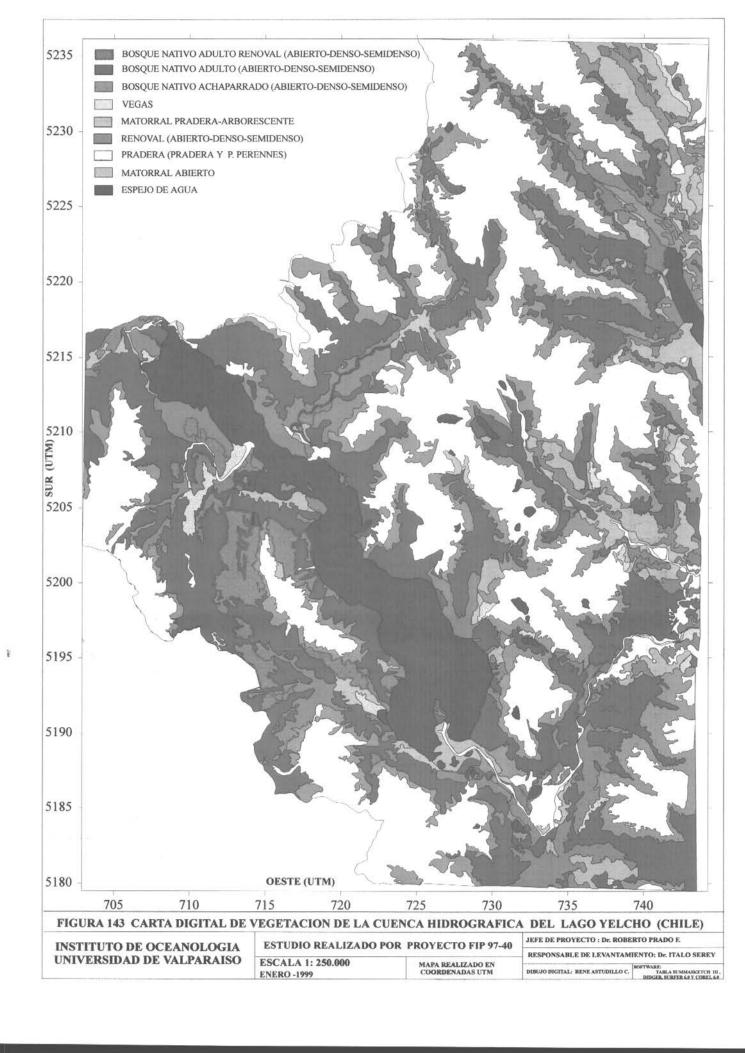
Los tipos dominantes de vegetación reconocidos en el área son bosques o regeneración natural, bosque achaparrado y estadios sucesionales de perturbaciones de origen antrópico. La vegetación está dominada en ceca de un 30% por bosques adultos. Las partes altas están cubiertas por bosques naturales achaparrados que alcanzan alrededor del 16% de la superficie de la cuenca. Los renovales ocupan aproximadamente cerca del 10% del área. Así, estos tres tipos de vegetación representan cerca del 56 % de la vegetación de la cuenca. El resto de los tipos de vegetación significa poco en términos de superficie. El detalle de la cobertura vegetal se entrega en la Tabla 34 y se muestra en la Figura 143.

Un hecho fundamental en esta cuenca es que el 34% de su superficie no posee cubierta vegetal. De este modo está sujeta en mayor grado a perturbaciones de origen antrópico que pudieran desarrollarse en el área con vegetación de la cuenca del lago. Por otra parte, el relieve es mucho más marcado que en otros lagos del estudio, y eso lleva a considerar que esta área es más frágil respecto de las actividades que se puedan desarrollar en las cuencas que desembocan en el lago. El régimen de precipitaciones puede tener una influencia mucho mayor en los efectos sobre las superficies sin vegetación, respecto del lago Chapo. La presencia de áreas importantes con nieve puede producir efectos relevantes en los ecosistemas y por ende en las características del agua de la cuenca.

Desde el punto de vista del uso de la tierra, la cuenca del lago Yelcho debe ser tratada con cuidado, ya que acciones de deforestación en situación de fuertes pendientes podrían provocar cambios significativos en la capacidad de las cuencas para retener el agua y las partículas del suelo, determinando procesos erosivos intensos.

Tabla 34. Tipos de vegetación, con sus superficies en hectáreas y el porcentaje dentro de la cuenca hidrográfica del lago Yelcho, X Región.

Tipo de Vegetación	Superficie en hectáreas	Porcentaje de la superficie de la cuenca
Bosque Nativo Adulto		de la cherica
Denso	33.228,6	21,96
Semidenso	8738,1	5,77
Bosque Nativo Renoval	3.33,1	3,77
Denso	1.456,2	0,96
Semidenso	3391,0	2,24
Abierto	736,8	0,49
Bosque Nativo Achaparrado	7.00,0	0,49
Denso	5.471,6	3,61
Semidenso	14.527,7	9,60
Abierto	4.256,2	2,81
Bosque Nativo / Exóticas asilvestradas		2,01
Denso	213,1	0,14
Bosque Nativo Plantación	2.0,1	0,14
Semidenso	117,9	0,08
Renoval	117,0	0,08
Denso	2.570,3	1,70
Semidenso	66.611,5	4,40
Abierto	4.511.0	10.000
Matorral Arborescente	4.511,0	2,98
Semidenso	1.151,4	0.76
Abierto	2.611,7	0,76
Matorral	2.011,7	1,72
Semidenso	2.995,1	1.00
Abierto	2.261,1	1,98
Matorral-Pradera	2.201,1	1,50
Regular-semidenso	661,3	0,44
Regular-abierto	876,2	U 17707434445
Praderas Perennes	1.423,9	0,57
Turbales	177,3	0,94
Estepa patagónica	870,3	0,17
Nadis herbáceos arbustivos	788,9	0,57
Otros terrenos húmedos	113,7	0,52
Total área con Vegetación	99.811,21	0,007
Superficies sobre el límite	33.011,21	65,92
_atitudinal de vegetación	19 275 7	10.1
Otros terrenos sin vegetación	18.275,7	12,1
Glaciares	910,8	0,6
Ríos	178,5	0,1
Cajas de ríos	672,1	0,4
agunas y embalses	106,2	0,07
offoramientos rocosos	1.305,4	0,8
Perrumbes sin vegetación	2.414,1	1,6
Playas y dunas	153,4	0,1
lieve	2,5	0,0001
otal Área sin Vegetación	27.428	18,1
out Area sill vegetacion	51.447	33,87%



Las categorías de la vegetación descrita en la Tabla 34 se señalan a continuación:

A) Bosques Nativos adultos:

Incluye a los bosques que presentan árboles que alcanza la máxima altura dentro de las condiciones locales y los individuos alcanzan una altura máxima.

a.1) Denso

Son bosques con coberturas mayores que el 75% de la superficie del suelo, y con alturas variables entre 8 y 32 metros.

- Bosques de Nothofagus nitida con Nothofagus betuloides, Laurelia philippiana, Saxegothea conspicua; Weinmannia trichosperna, Aextoxicum punctatum, Nothofagus pumilio, Chusquea quila, Drimys winteri, Luma apiculata, Gevuina avellana, N. antarctica.
- Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio o N. nitida.
- Bosques de Nothofagus pumilio, asociado con N. betuloides o N. nitida.
- Bosques de Laurelia philippiana asociado con las siguientes especies Saxegothea conspicua, Caldeluvia paniculata, N. nitida, Chusquea coleu.

a.2) Semidenso

Bosques con coberturas comprendidas entre 50 -75% de la superficie del suelo y con alturas variables entre 8-32 metros.

- Bosques de Nothofagus nitida asociado con varias especies como Laurelia philippiana, Drimys winteri, Podocarpus nubigena, Saxegothea conspicua, Aextoxicum pinctatum, Chusquea quila, N. betuloides, Luma apiculata, Amomyrtus luma, Weinmannia trichosperma, N. dombeyi, Aextoxicum punctatum, Gevuina avellana, Lomatia ferruginea.
- Bosques de Nothofagus pumilio, y a veces asociado a Laurelia philippiana y Saxegothea conspicua.
- Bosques de Laurelia philippiana con Chusquea quila, Saxegothea conspicua, Luma apiculata, Nothofagus nitida, Weinmannia trichosperma.
- Bosques de Aextoxicum punctatum, Laurelia philippiana, Weinmannia trichosperma, N. nitida y Luma apiculata.

B) Bosque Nativo Renoval

Se caracterizan por presentar árboles jóvenes que se encuentran en un período de crecimiento intenso.

b.1) Denso

- Bosques de Nothofagus nitida, Nothofagus betuloides, Drimys winteri, Laurelia philippiana, Weinmannia trichosperma, Saxegothea conspicua, N. dombeyi, Chusquea coleu, Luma apiculata, Gunnera chilensis, Amomyrtus luma, Caldcluvia paniculata.
- Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio.
- Bosques de Laurelia philippiana, con Nothofagus nitida, Saxegothea conspicua, Weinmannia trichosperma.

b.2) Semidenso

• Bosques de Nothofagus nitida con N. betuloides, Laurelia philippiana, Drimys winteri, N. dombeyi, Saxegothea conspicua, Weinmannia trichosperma, Lomatia hirsuta, Amomyrtus luma, Aextoxicum punctatun, Chusquea quila, Chusquea coleu, Maytemus boaria.

b.3) Abierto

- Bosques de Nothofagus nitida con Drimys winteri, Chusquea quila, Luma apiculata, Amonyrtus luma y Juncus sp., chusquea coleu, Fuchsia magellanica, Holcus lanatus, Berberis darwinii, Embothrium coccineum.
- Bosques de Laurelia philippiana, con N. nitida, Holcus lanatus, Saxegothea conspicua, Chusquea coleu, Gaultheria phyllireifolia.

C) Bosque Nativo Achaparrado

Generalmente se encuentra en las partes más altas de los elementos del relieve, donde los árboles adultos alcanzan alturas de entre 4-8 metros.

c.1) Denso

- Bosques de Nothofagus betuloides, Nothofagus pumilio.
- Bosques de Nothofagus pumilio, N. antarctica.
- Bosques de Myrcegenia exsucca, Amomyrtus luma, Drimys winteri, Nothofagus antarctica, Nothofagus niotida, Luma apiculata, Digitalis purpurea.

c.2). Semidenso

- Bosques de Nothofagus pumilio, con N. betuloides, N. antarctica.
- Bosques de Nothofagus betuloides con N. pumilio y N. nitida.
- Bosques de Nothofagus antarctica y Juncus sp.

c.3). Abierto

- Bosques de Nothofagus pumilio, N. betulopides.
- Bosques de Nothofagus nitida, con N. antarctica y Juncus sp.
- Bosques de Nothofagus antarctica con N. nitida, N. pumilio, Pernetty mucronata y Juncus sp.
- Bosques de Myrceugenia exsucca, Luma apiculata, Drimys winteri, Juncus sp.

D) Renoval

Son bosques que han sufrido perturbaciones naturales o de origen antrópico que han provocado un proceso de regeneración de los bosques y que presentan altas densidades de árboles jóvenes, donde el proceso de competencia es muy fuerte, y origina altas mortalidades entre los individuos.

d.1) Denso

 Bosques de Nothofagus nitida, con Drimys winteri, Amomyrtus luma, Luma apiculata, Caldeluvia paniculata.

d.2) Semidenso

- Bosques de Nothofagus nitida asociado con diferentes especies tales como Drimys winteri, Fuchsia magellanica, Ribes punctatun, Gunnera chilensis, Blechmun chilensis, Embothrium coccineun, Laurelia philippiana, Berberis darwinii, Gevuina avellana, Chusquea quila, Luma apiculata, Chusquea coleu, Lomatia hirsuta, Nothofagus dombeyi, Nothofagus dombeyi, Amomyrtus luma, Wienmannia trichosperma, N. pumilio, Saxegothea conspicua, Lophosoria quadripinnata, Caldcluvia paniculata, Juncus sp.
- Bosques de Nothofagus dombeyi.
- Bosques de Nothofagus antarctica
- Bosques de Nothofagus pumilio.
- Bosques de *Drimys winteri*, con otras especies como *N. nitida*, *Amomyrtus luma*, *Myrceugenia exsucca*, *Juncus* sp.

d.3) Abierto

- Nothofagus nitida, Embothrium coccineum, Chusquea quila, Chusquea coleu, Holcus lanatus, Fuchsia magellanica, Maytenus boaria, Caldeluvia paniculata, Austrocedrus chilensis, Luma apiculata, Gaultheria philleirifolia, Nothofagus dombeyi, Drimys winteri, Luma apiculata, Amomyrtus luma, Fuchsia magellanica, Lophosoria quadripinnata, Ribes magellanicum, Juncus sp. Nothofagus betuloides.
- Bosques de Lomatia hirsuta, con Nothofagus nitida y Chusquea coleu.

E) Matorral arborescente.

Formado por plantas de árboles bajos y plantas jóvenes de especies arbóreas y especies arbustivas. Estas plantas frecuentemente presentan varios ejes desde la base, determinando un aspecto de matorral.

e.1) Semidenso

- Matorral de Chusquea quila con Fuchsia magellanica, Luma apiculata, Embothrium coccineum, Cladcluvia paniculata.
- Matorral de Embothrium coccineum, Chusquea coleu, Berberis darwinii, Fuchsia magellanica, Nothofagus nitida, Nothofagus pumilio.

e.2) Abierto

- Matorral de Embothriun coccineum, con Chusquea coleu, Hypochoeris radicata, Nothofagus nitida, Nothofagus pumilio, Fuchsia magellanica.
- Matorral de Chusquea coleu, Nothofagus nitida, Fuchsia magellanica.
- Matorral con Laurelia philippiana, Aextoxicum punctatum, Rhaphithamnus spinosus, Caldeluvia paniculata.
- Nothofagus nitida, Holcus lanatus, Azara lanceolata.
- Matorral de Fuchsia magellanica, con Chusquea quila, Nothofagus nitida, Holcus lanatus, Acaena ovatifolia, Embothrium coccineum.
- Matorral de Juncus sp., con Holcus lanatus, Nothofagus nitida, Chusquea quila y Luma apiculata.

F) Matorral

f.1) Semidenso

- Matorral de Chusquea coleu, con Fuchsia magellanica, Nothofagus nitida, Embothrium coccineum; Rubus ulmifolius, Berberis buxifolia, Berberis darwinii, Lomatia hirsuta, Holcus lanatus, Fuchsia magellanica.
- Matorral de Embothrium coccineum con Pernettya mucronata, Nothofagus nitida, Chusquea coleu, Holcus lanatus, Berberis darwinii.
- Matorral con Raphithamnus spinosus, Luma apiculata, Nothofagus nitida, Lophosoria quadripinnata, Fuchsia magellanica, Amomyrtus luma, Chusquea quila.
- Matorral de Nothofagus antarctica, con Pilgerodendron uviferum, Tepualia stipularis, Nothofagus nitida.

f.2) Abierto

- Matorral de Chusquea quila con Fuchsia magellanica, Lophosoria quadripinnata, Nothofagus nitida.
- Matorral con Raphithammus spinosus, Luma apiculata, Amonyrtus luma, Laurelia philippiana, Nothofagus nitida.
- Matorral con Nothofagus antarctica, Pilgerodendron uviferum, Juncus sp.
- Matorral de Embothrium coccineum con Nothofagus nitida, Chusquea coleu, Pernettya mucronata, Nothofagus pumilio.
- Matorral con Nothofagus nitida, N. pumilio, Pernettya mucronata, Gaultheria phillearifolia.

G) Matorral - Pradera - Regular

g.1) Semidenso

• Praderas de Holcus lanatus, con Acaena ovatofolia, Chusquea coleu, Gaultheria phillareafolia, Hypochaeris radicata, Fuchsia magellanica, Luma apiculata.

g.2) Abierto

 Praderas de Holcus lanatus con Myrceugenia planipes, Juncus sp., Luma apiculata, Nothofagus nitida, Chusquea coleu, Fuchsia magellanica, Embothrium coccineum, Acaena ovatifolia.

H) Praderas perennes.

- Nothofagus nitida, Holcus lanatus, Juncus sp., Fuchsia magellanica, Drimys winteri, Caldeluvia paniculata.
- Holcus lanatus, con Acaena ovatifolia, Chusquea coleu, Gaultheria phillyreifolia, Fuchsia magellanica, Luma apiculata.

Nadis Herbaceos-arbustivos.

- Nadis de Juncus sp. con Amonyrtus luma, Luma apiculata, Nothofagus nitida, Chusquea quila, Drimys winteri, Nothofagus nitida, N. betuloides, N. antarctica.
- Ñadis de Amomyrtus luma, Austrocedrus chilensis y Fuchsia magellanica.
- Nadis de Juncus sp., Blechnum chilensis, Nothofagus nitida, Drimys winteri, y Amomyrtus luma.

J) Turbales

• Turbales de Astelia pumila

j.1) Estepa Patagónica.

- Festuca pallima
- Empetrum rubrum, Festuca argentea, Ribes magellanicum, Nothofagus pumilio, Pernettya mucronata, Baccharis sp., Nothofagus pumilio.

j.2) Bosque Nativo Plantaciones. Semidenso

· Podocarpus nubigena, Drimys winteri, Luma apiculata, Chusquea quila.

j.3) Bosque Nativo/ Exóticas asilvestradas. Denso

• Bosques de Myrceugenia exsucca con Salix babilonica, Nothofagus antarctica, Drimys winteri, Juncus sp., Nothofagus nitida.

j.4) Otras Áreas Húmedas.

- Bosques bajos de Myrceugenia exsucca, Luma apiculata y Juncus sp.
- Vegas dominadas por Juncus sp.

En base a los antecedentes vegetacionales e hidrográficos, se puede establecer un resumen de los usos del suelo y superficies involucrados en la Tabla 35.

Tabla 35. Análisis de las superficies incluídas en el area de estudio

	Super	Porcentaje		
	ha	km²	%	
Area Total estudio	222218,6	2222,19	100	
Total cuenca terrestre	210127,4	2101,27	94,6	
Superficie Lago	12091,2	120,91	5,4	
Laderas terrestres	18285,4	182,85	8,2	
Cuenca ríos principales	191842	1918,42	86,3	
Ladera Bosque	14475,9	144,76	6,5	
Ladera Pradera	2147,5	21,48	1,0	
Ladera Mixta	1662,0	16,62	0,7	

1.3 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS AFLUENTES

Caudales de afluentes

El cálculo de caudal para cada tributario se realizó usando la medida del área de la sección y la velocidad de la corriente según lo señalado en el capítulo metodología del presente informe.

La Tabla 36 señala la estimación de caudales mensuales (m³/s) de ingreso al lago Yelcho de los principales ríos afluentes. La tabla 37 muestra los caudales acumulados o corregidos a cada mes del año, indicando el ingreso total de agua al lago por estos efluentes.

Tabla 36. Estimación de caudales mensuales (m³/s) de los afluentes del lago Yelcho.

Rios	R. Futaleufú	R. Yelcho Chico	R. Correntoso	R. Roberto	R. Flor del Lago
Febrero-98	693	6	27	6	4
Marzo-98	715	8	41,18	5	5,68
Abril-98	715	8	41,18	5	5,68
Mayo-98	737	10	55,37	4	7,04
Junio-98	759	12	70	3	9
Julio-98	759	12	70	3	9
Agosto-98	781	13	83,74	2	10
Septiembre-98	711	19	97	2	16
Octubre-98	641	25	111	2	22
Noviembre-98	571	30	125	3	27
Diciembre-98	501,26	36	138,62	3	33,39
Enero-99	597	21	83	5	18,8

Tabla 37. Estimación de caudales corregidos mensuales (m³/s) de los afluentes del lago Yelcho.

Afluente	Río	R. Yelcho	Río	Río	Río Flor	Total mes
	Futaleufú	Chico	Correntoso	Roberto	del lago	(m³/ mes)
Febrero-98	1736380800	15033600	67651200	15033600	10824192	1844923392
Marzo-98	1915056000	21427200	110296512	13392000	14231808	2074403520
Abril-98	1853280000	20736000	106738560	12960000	14231808	2007946368
Mayo-98	1973980800	26784000	148303008	10713600	17639424	2177420832
Junio-98	1967328000	30300480	18273600	8138880	21347712	2207388672
Julio-98	2032945776	31310496	186282720	8410176	21347712	2280296880
Agosto-98	2091830400	34819200	224289216	5356800	24454656	2380750272
Septiembre-98	1842912000	49662720	252616320	5702400	39237696	2190131136
Octubre-98	1717202592	66504672	297784512	6428160	54045792	2141965728
Noviembre-98	1480368960	79030080	323740800	6480000	68853888	1958473728
Diciembre-98	1342574784	96422400	371279808	7526304	83661984	1901465280
Enero-99	1599352992	56246400	221798304	12052800	47105280	1936555776
Total año	21553213104	528277248	2491054560	112194720	416981952	25101721584

Concentraciones de Fósforo total y de Nitrógeno total aportadas por ríos al lago

Las tablas 38 y 39 señalan las concentraciones de Fósforo total y Nitrógeno total en las aguas de los principales ríos afluentes. Se aprecia las mayores concentraciones aportadas por el río Yelcho Chico.

Tabla 38. Estimación de la concentración mensual de Fósforo total (mg*m⁻³) de los afluentes del lago Yelcho

Ríos	R. Futaleufú	R. Yelcho Chico	R. Correntoso	R. Roberto	R. Flor del Lago
Febrero-98	16,71	48,89	24,32	12,86	6,66
Marzo-98	11,15	55,66	21,85	12,55	6,88
Abril-98	5,6	55,66	21,85	12,55	6,88
Mayo-98	14,6	62,44	19,38	12,25	7,105
Junio-98	13,82	69,22	16,91	11,95	7,33
Julio-98	13,82	69,22	16,91	11,95	6,92
Agosto-98	13,04	76,01	14,44	11,65	7,55
Septiembre-98	4,97	68,08	13,3	11,76	6,52
Octubre-98	8,66	60,15	12,17	11,87	5,48
Noviembre-98	11,45	52,22	11,04	11,98	4,45
Diciembre-98	14,25	44,30	9,91	12,10	3,41
Enero-99	14,4	46,60	17,12	12,48	5,04

Tabla 39. Estimación de la concentración mensual de Nitrógeno total (mg*m⁻³) de los afluentes del lago Yelcho

Ríos	R. Futaleufú	R. Yelcho Chico	R. Correntoso	R. Roberto	R. Flor del Lago
Febrero-98	162,04	116,17	122,12	198,91	128,1
Marzo-98	141,02	89,13	122,12	172,46	113,84
Abril-98	120,0	89,13	114,4	172,46	113,84
Mayo-98	232,0	62,09	106,68	146,01	99,57
Junio-98	152,25	35,05	106,68	119,56	85,305
Julio-98	152,25	35,05	98,96	119,56	85,31
Agosto-98	72,5	8,01	91,24	93,11	71,04
Septiembre-98	445,0	31,5	106,68	98,83	75,01
Octubre-98	91,2	55,0	122,12	104,5	79,07
Noviembre-98	97,6	78,5	137,56	110,25	83,01
Diciembre-98	104,0	102,0	153,0	116,0	87,1
Enero-99	250,0	109,01	137,56	157,46	107,6

Carga de ingreso al lago desde ríos afluentes

Las Tablas 40 y 41 señalan las cargas de ingreso al lago de Fósforo total y Nitrógeno total, expresadas en mg·m⁻²·año⁻¹. Se aprecia la importancia del río Futaleufú en las cargas de ingreso al lago.

Tabla 40. Estimación de la carga mensual de Fósforo total (mg·m⁻²·año⁻¹) de los afluentes del lago Yelcho.

Afluente	Río	R. Yelcho	Río	Río	Río Flor	Total mes
	Futaleufú	Chico	Correntoso	Roberto	del lago	(m³/ mes)
Febrero-98	239,97	6,08	13,61	1,60	0,60	261,8
Marzo-98	176,60	9,86	19,93	1,39	0,81	208,6
Abril-98	85,83	9,55	19,29	1,35	0,81	116,8
Mayo-98	238,36	13,83	23,77	1,09	1,04	278,1
Junio-98	224,86	17,35	25,21	0,80	1,29	269,5
Julio-98	232,36	17,92	26,05	0,83	1,22	278,4
Agosto-98	225,60	21,89	26,79	0,52	1,53	276,3
Septiembre-98	75,75	27,96	27,79	0,55	2,11	134,2
Octubre-98	122,99	33,08	29,97	0,63	2,45	189,1
Noviembre-98	140,18	34,13	29,56	0,64	2,53	207,1
Diciembre-98	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

Tabla 41. Estimación de la carga mensual de Nitrógeno total (mg·m⁻²·año⁻¹) de los afluentes del lago Yelcho.

Afluente	Río Futaleufú	R. Yelcho Chico	Río Correntoso	Río Roberto	Río Flor del lago	Total mes (m³/ mes)
Febrero-98	2327,01	14,44	68,33	24,73	11,47	2445,98
Marzo-98	2233,54	15,80	111,40	19,10	13,40	2393,23
Abril-98	1839,30	15,29	100,99	18,49	13,40	1987,46
Mayo-98	3787,58	13,75	130,85	12,94	14,53	3959,64
Junio-98	2477,22	8,78	159,05	8,05	15,06	2668,17
Julio-98	2559,85	9,08	152,46	8,32	15,06	2744,76
Agosto-98	1254,28	2,31	169,25	4,13	14,37	1444,33
Septiembre-98	6782,58	12,94	222,88	4,66	24,36	7047,42
Octubre-98	1295,23	30,25	300,76	5,56	35,34	1667,14
Noviembre-98	1194,95	51,31	368,32	5,91	47,31	1667,80
Diciembre-98	1154,79	81,34	469,81	7,22	60,27	1773,43
Enero-99	3306,85	50,74	252,34	15,70	41,92	3667,55
Total año	30213,18	306,03	2506,43	134,79	306,48	33466,90

1.4 INGRESO POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO DE LADERAS

Los usos del suelo en las zonas de laderas de pequeñas cuencas que vierten al lago (Tabla 35) se pueden resumir en tres clases típicas: praderas, bosques y mixtos. Corresponde a áreas mixtas los sectores donde crece un bosque nativo alterado de más baja densidad de árboles, con arbustos, renovales jóvenes y pequeñas praderas entre los árboles. Cada una de estas tres clases de uso del suelo genera distintas pérdidas por escurrimientos superficiales que en último término llegan al lago, ya sea a través de los ríos afluentes o directamente de las laderas a la orilla del lago como flujos laminares.

Las mediciones de las cargas de nutrientes que ingresan en forma difusa o de flujos laminares se efectuaron a través de experimentos con parcelas de observación efectuados en sectores seleccionados en las tres clases típicas de uso del suelo ya señaladas en la Tabla 35. Los escurrimientos captados por las trampas construidas especialmente a la salida de las parcelas de captación de estos flujos fueron analizados en laboratorio para conocer las concentraciones de Fósforo total, Fosfato, Nitrógeno total y Nitrato.

La tabla 42 señala los caudales anuales estimados, mientras la tabla 43 señala las descargas de nutrientes por tipo de vegetación utilizada como base de cálculo las concentraciones medidas y los volumenes anuales estimados.

Tabla 42. Estimación de caudales de descarga (km³/año) provenientes de laderas del lago Yelcho.

Tipo de vegetación		Bosque	Pradera	Mixto	Total
Superficie	km²	144,76	21,48	16,62	182,86
Descargas	km³/año	0,05388	0,00999	0,00711	0,07098

Tabla 43. Estimación de concentraciones (mg/m³) y descargas (Ton/año) de Fósforo y Nitrógeno proveniente de laderas

Tipo de vegetación	Unidad	Bosque	Pradera	Mixto	Total descarga laderas	
					Ton/año	mg-m ⁻² /año
Superficie	km ²	144,76	21,48	16,62		
Volumen	m ³	53877356	9993140	7113553		
Concentración de N total	mg/m ³	100,3	887,2	369,1		
Concentración de Nitrato	mg/m ³	99,5	873,4	361,4		
Concentración de P total	mg/m ³	21,2	153,5	42,7		
Concentración de Fosfato	mg/m ³	20,6	150,6	42		- 10
Carga de Nitrógeno total	Ton/año	5,40	8,87	2,63	16,90	139,73
Carga de Nitrato	Ton/año	5,36	8,73	2,57	16,66	137,78
Carga de Fósforo total	Ton/año	1,14	1,53	0,30	2,98	24,65
Carga de Fosfato	Ton/año	1,11	1,50	0,30	2,91	24,10

214

1.5 AGUAS RESIDUALES

El lago Yelcho no tiene en la actualidad descargas de aguas residuales que sean vertidas directamente a las aguas del lago. El escaso poblamiento existente en terrenos aledaños a la orilla tiene sistemas de fosas sépticas. El número de personas que viven en las orillas y usan estas fosas sépticas no es mayor de 50 y en verano aumentaría a unas 150 personas aproximadamente. Las fosas sépticas utilizadas no descargan directamente al lago sino que a través de drenajes internos.

El mayor poblamiento a orillas del río Futaleufú, incluyendo el poblado de Futaleufú, de 2000 habitantes, usan en la mayoría de los sitios que habitan sistemas de fosas sépticas. Si hay descargas provenientes de este poblado, los aportes de fósforo y nitrógeno están representados en las mediciones efectuadas en el río Futaleufú al ingresar al lago Yelcho.

1.6 INGRESO POR PRECIPITACIONES

Condiciones meteorológicas

La distribución mensual de la pluviometría en el área señala una concentración de las lluvias en los meses de invierno. La Tabla 44 muestra la distribución mensual de las lluvias en Alto Palena y en Futaleufú.

Tabla 44. Precipitación mensual (mm/mes) en Alto Palena y Futaleufú (Dirección Meteorológica de Chile).

Mes	Alto Palena	Futaleufú	Promedio área	
Enero	80,6	104,0	92,3	
Febrero	70,8	83,1	76,95	
Marzo	80,4	83,0	81,7	
Abril	124,2	161,1	142,65	
Mayo 241,4		298,5	269,95	
Junio	nio 216,5		247,6	
Julio	io 223,2		257,7	
Agosto	gosto 173,2		217,05	
Septiembre	139,3	177,7	158,5	
Octubre	tubre 93,3		111,9	
Noviembre	iembre 85,8		98,1	
Diciembre	107,4	105,6	106,5	
Total anual (mm)	***		1860,92	

Se instaló in situ en una estación meteorológica portátil ubicándola en Puerto

Cárdenas, lago Yelcho, la cual registró la dirección, intensidad y componentes E-W y N-S del viento durante algunos meses de 1998. Esta estación sufrió continuos desperfectos, siendo operativa solo unos meses de primavera de ése año y unos días del verano de 1998.

Según los registros *in situ* de la estación meteorológica se pudo observar que los vientos dominantes fueron los de dirección N-S. Para ese período la intensidad osciló entre 0 y 8 m/s, dominando el viento norte en toda la serie. La temperatura del aire para los meses de primavera fluctuó entre 5 y 25°C con un marcado ciclo diurno. La pluviosidad alcanzó valores máximos del orden de 3 mm/hora.

1.7 SALIDAS DE FOSFORO Y NITROGENO

Descarga del río Yelcho

216

El río Yelcho se constituye en el único río que descarga el lago Yelcho. Este río desemboca en el mar en las cercanías de Chaitén y durante su trayecto es usado para pesca deportiva y paseos recreativos en embarcaciones. Se han construído algunas cabañas con uso turístico en sus cercanías. Las Tablas 45 y 46 señalan las concentraciones de fósforo total y Nitrógeno total de las descargas del río Yelcho.

Tabla 45. Descarga mensual de Fósforo total (mg·m²año¹) del efluente río Yelcho.

Mes	PT (mg·m ⁻² año ⁻¹)	Mes	PT (mg·m ⁻² año ⁻¹)	
Febrero-98	363,6	Agosto-98	181,5	
Marzo-98	279,9	Septiembre-98	88,2	
bril-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	
Tot	tal 1983,9			

Tabla 46. Descarga mensual de Nitrógeno total (mg·m⁻²año⁻¹) del efluente río Yelcho.

Mes	NT (mg·m˙²año˙¹)	Mes	NT (mg·m ⁻² año ⁻¹)	
Febrero-98	2813,5	Agosto-98	1097,0	
Marzo-98	2385,6	Septiembre-98	1352,9	
Abril-98	1636,2	Octubre-98	1236,8	
Mayo-98	1594,2	Noviembre-98	1602,9	
Junio-98	1308,1	Diciembre-98	1898,1	
Julio-98	1351,7	Enero-99	1196,8	
То	tal 19473,9			

2. CONTENIDO DE FÓSFORO Y NITRÓGENO DE LOS SEDIMENTOS DEL FONDO

Los sedimentos del fondo fueron analizados con el objeto de conocer los contenidos de Fósforo total, Nitrógeno total, porosidad y Materia orgánica total. Este muestreo se efectuó con mayor intensidad en el área que presenta mayor aptitud para el cultivo de salmones (Bahía Caví), donde una empresa intentó desarrollar cultivos en los últimos años. Se analizaron muestras obtenidas bajo las balsas jaulas y muestras control obtenidas en una zona a distancia intermedia y más alejada. La Tabla 47 señala los resultados obtenidos. No se aprecian diferencias entre los sedimentos obtenidos bajo las balsas jaulas y sectores control más alejados.

Tabla 47. Contenido de Fósforo total, Nitrógeno total, Materia orgánica y porosidad en sedimentos del lago Yelcho (promedio ± desviación estándar)

Ubicación	Profundidad	% NT	% PT	Porosidad	MOT
Muestreo verano					
Estación 3	68 m	0.17 ± 0.00	0.09 ± 0.01	0.68 ± 0.00	$40,71 \pm 0,00$
Estación 24	5 m	$0,22 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,00$	0.70 ± 0.00	54,99 ± 0,00
Muestreo invierno					
Jaula salmonera	37 m	$0,15 \pm 0,01$	0.13 ± 0.02	0.81 ± 0.00	58,62 ± 0,24
Jaula salmonera	50 m	$1,21 \pm 0,18$	$0,15 \pm 0,02$	$0,77 \pm 0,02$	43,76 ± 2,63
Jaula salmonera,	60 m	$1,38 \pm 0,21$	0.11 ± 0.04	0.81 ± 0.02	48,03 ± 3,74
Zona intermedia lago	87 m	0.88 ± 0.08	$0,13 \pm 0,02$	0,70 ± 0,03	31,64 ± 1,70
Zona intermedia lago	95 m	1.03 ± 0.18	$0,11 \pm 0,02$	0.76 ± 0.02	36,09 ± 0,62
Zona alejada lago	109 m	0.96 ± 0.09	0.09 ± 0.02	$0,78 \pm 0,01$	37,71 ± 2,26
Zona alejada lago	136 m	0.97 ± 0.04	0.14 ± 0.06	0.80 ± 0.005	39,28 ± 1,59

3. BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO YELCHO

3.1.1 Caracterización física de la columna de agua

Circulación de las aguas

Para determinar las corrientes del lago se utilizaron derivadores liberados a tres profundidades, complementado con el anclaje de un correntómetro Sensordata a 2 m de profundidad, el que fue instalado el 3 de febrero de 1998. La Figura 144 muestra los histogramas de dirección e intensidad de la corriente. La figura 145 señala las series de dirección, intensidad, componente transversal y componente longitudinal de la corriente así como la temperatura del agua para el período de estudio.

En agosto los derivadores se desplazaron en diversas direcciones según su profundidad. Los derivadores a 0 y 5 m se desplazaron hacia el SE, mientras que el derivador a 8 m se desplazó hacia el SSE. En diciembre el derivador superficial se desplazó hacia el sur.

Las corrientes registradas en agosto tuvieron dirección predominante hacia el S, SE y EN con intensidades entre 0 y 10 cm/s. En diciembre predominaron las corrientes hacia el E con intensidades entre 0 y 12 cm·s⁻¹.

La circulación del lago Yelcho se acopla al viento local, mostrando fuerte variabilidad intra e inter-diaria. Se presenta una estructura vertical de velocidad estratificada con flujos en distintos sentidos.

La dirección predominante de la corriente superficial en el lago Yelcho quedó claramente visualizada con el histograma de dirección (Figura 144). La corriente hacia el noreste representó a más del 55 % del total, mientras que las corrientes en las otras direcciones varían entre un 3 y un 10 %. La corriente dominante está desviada en 50° con respecto al norte geográfico, orientándose esta paralela al eje longitudinal del lago.

El histograma de magnitud muestra que el 50 % de la corriente registrada tuvo intensidad menor a 1 cm·s⁻¹, encontrándose esta bajo el límite de detección del correntómetro. Cerca del 25 % del total tuvo magnitud superior a 4 cm·s⁻¹. La máxima intensidad registrada fue de 8.2 cm·s⁻¹ y la desviación estándar fue de 1.95 cm·s⁻¹.

Series de tiempo de comiente

Durante casi todo el período de estudio predominó la corriente hacia el noreste. Solo se registraron dos eventos, de un par de días de duración cada uno, en donde la corriente no fue unidireccional. Estos eventos se relacionan con períodos de baja intensidad de corriente, creándose ya sea inestabilidad en la veleta de dirección del correntómetro o cambio en el patrón de circulación del lago, y con una inversión en la dirección de la corriente.

Aparentemente la intensidad en la circulación del lago Yelcho muestra el siguiente patrón: el sistema mantiene una base de estado de no movimiento, alterado por pulsos de corriente con períodos inferiores a 1 día. Estos pulsos alcanzan por lo general intensidades sobre los 5 cm·s⁻¹ y se encuentran separados entre sí por períodos de ausencia de advección.

La serie de la componente longitudinal muestra la corriente predominante en el lago. En general durante las dos semanas de registro la corriente mantuvo una dirección predominante hacia el noreste (valores positivos), presentándose sin embargo dos eventos de corriente hacia el sudoeste (valores negativos).

Distribución de estaciones

El muestreo de aguas destinado a establecer las características físicas y la composición química de las aguas del lago se realizó en un total de 24 estaciones cubriendo el área del lago. La ubicación de las estaciones y de la sección elaborada con la información obtenida se entrega en la Figura 146. Las latitudes y longitudes se expresan en coordenadas UTM, que posibilitan la medición directa en kilómetros.

La interpolación en las distribuciones horizontales se realizó empleando el método Kriging con variograma lineal, teniendo una anisotropía de 1,0 con efecto Nugget 0 en error de varianza. La resolución obtenida es de 157 metros tanto en latitud como en longitud para temperatura y oxígeno disuelto y de 140 m para los restantes parámetros. A su vez el cálculo de isolíneas de las secciones verticales se efectuó mediante método Kriging con variograma cuadrático para todos los parámetros excepto oxígeno (lineal), teniendo en todos una anisotropía de 0,1 con efecto Nugget 0 en error de varianza. La resolución en las secciones del lago Yelcho es de 205 m en la horizontal y 10 m en la vertical, excepto para el oxígeno disuelto, en que la resolución horizontal es de 199 m y la vertical es de 1 m. Todas las secciones y sus correspondientes cálculos se realizaron empleando el software Surfer®.

Estructura térmica

Durante el muestreo estival el lago Yelcho se encontró estratificado existiendo una termoclina entre los 35 y 45 m de profundidad, patrón típico de los lagos monomícticos en la época de verano. En general, los valores de temperatura fluctuaron entre 14 y 20 grados en el epilimnio y entre alrededor de 8 y 9 en el hipolimmio.

La temperatura mostró una fluctuación de largo período, sin presentar una frecuencia diaria. En primera aproximación pareciera que los aumentos de temperaturas están relacionados con corrientes hacia el sudoeste y los enfriamientos con corrientes hacia el noreste. El rango de variación de la temperatura fue de 1,5 °C.

Los resultados de las mediciones de temperatura efectuados en el estudio muestran que el lago tiene un comportamiento térmico anual similar al descrito para los lagos

monomícticos araucanos y nordpatagónicos, con una estratificación térmica estival, formando una termoclina alrededor de los 40 m. En la época de invierno se produce una mayor homogeneidad en el perfil térmico, igualándose las temperaturas en la columna de agua entre los 9°C (Figura 147). Se debe señalar que las mediciones efectuadas en pleno invierno señalan zonas profundas con temperaturas de 8,5°C que probablemente no participan en el proceso de mezcla invernal, lo cual puede constituir verdaderas trampas nutritivas del lago (Figuras 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156 y 157).

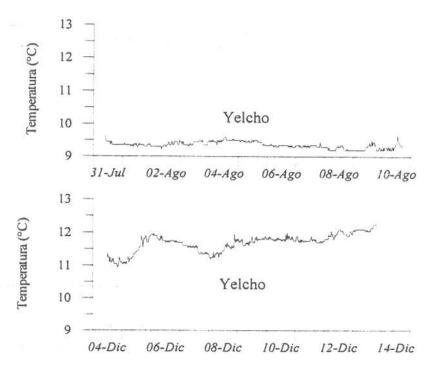


Figura 147 Variación diaria de temperatura del agua en el lago Yelcho registradas durante la segunda y tercera fase de mediciones, correspondiente a invierno y primavera de 1998.

Transparencia

La transparencia medida como profundidad de disco Secchi se caracterizó por presentar una mayor profundidad en verano, y una menor profundidad en primavera. (Tabla 48). Los muestreos realizados en cada época son similares, sobre todo en verano y en invierno, en cambio la diferencia más notable se encuentra en la época de primavera, donde se observa una menor profundidad en los dos muestreos (Figuras 158 y 159). Además se observa que en todos los muestreos, tanto en verano, invierno, y primavera, las mayores visibilidades se encuentran en la región sur del lago, lo cual se puede relacionar con las concentraciones de clorofila, que se dan en mayor cantidad en la zona norte del lago principalmente, lo que provoca la baja transparencia del agua en esta zona, respecto al resto

del lago. Se calculó la profundidad de la zona eufótica, a partir de la relación 2,7 (Z_S), a partir de la cual nos da un valor de 17,2, con lo cual se puede decir que hasta esta profundidad se estaría realizando la fotosíntesis (Reynolds, 1984). La profundidad de la zona eufótica es un valor bajo, respecto a otros lagos del sur (Campos, 1987).

En general la profundidad de Disco Secchi, como promedio es medianamente profunda en relación a la observada en los lagos araucanos y los lagos nordpatagónicos.

Tabla 48. Transparencia del lago Yelcho medida como profundidad de disco Secchi en metros.

Estación	Verano	Invierno	Primavera	Estación	Verano	Invierno	Primavera
1	7	6	4	13	8	7	6
2	7	6	5	14	9	8	6
3	5	6	5	15	10	8	5
4	8	6	5	16	13	8	6
5	8	6	5	17	9	8	6
6	6	5	6	18	9	9	6
7	8	5	4	19	9	9	6
8	7	7	4	20	9	10	6
9	8	7	7	21	8	10	5
10	8	7	7	22	8	8 _	5
11	8	7	7	23	8	8	5
12	8	8	6	24	5	8	5
			Promedio e	stacional	8	7	5
			Promedio anual		6,6		

Turbidez

La turbidez del lago Yelcho en unidades nefelométricas se caracterizó en verano por valores moderados en superficie. La distribución horizontal en superficie de los resultados obtenidos se entrega en las Figuras 160, 161 y 162. Estas figuras permiten apreciar que en buena parte de la extensión del lago, particularmente en el primer muestreo, la turbidez presentó valores entre 15 y 16 NTU. Los mayores valores se observaron asociados a las descargas fluviales del río Futaleufú. La distribución vertical aparece en las Figura 163. Esta se caracterizó por un estrato superficial de unos 30 m de espesor con valores mayores de 14 NTU, en el cual se observó un progresivo aumento de turbidez en el tiempo proveniente de la superficie, más marcado en el extremo sur del lago, desde donde se profundizaron progresivamente las isolíneas de 16 NTU y posteriormente 18 NTU. Bajo esta capa

relativamente homogénea y hasta los 80 a 90 m de profundidad se apreció un gradiente de disminución de la turbidez.

En primavera, las figuras 164 y 165 permiten apreciar que en buena parte de la extensión del lago, particularmente en el primer muestreo, la turbidez presentó valores entre 0,09 y 0,42 NTU en la estación 8. Los mayores valores se observaron asociados a las descargas fluviales del río Yelcho Chico, ubicado frente a la referida estación señalando claramente sus efectos en las Figura 166 de distribución vertical.

3.1.2 Caracterización química de la columna de agua

Fósforo total

El Fósforo total orgánico e inorgánico presentó en general valores altos en el lago Yelcho en relación a los lagos araucanos y norpatagónicos estudiados con anterioridad. En general las mayores concentraciones se encuentran en el sector más al norte del lago, cercanos a la desembocadura. Las concentraciones de Fósforo total variaron entre 2,55 y 55,4 mg/m³ siendo la media armónica de las concentraciones 10,64 mg/m³, valor superior a lo considerado límite de un lago oligotrófico. La distribución espacio temporal de las concentraciones se aprecia en las Figuras 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175 y 176.

Fosfato

El contenido de fósforo presente como fosfato en el lago Yelcho en verano fue bajo, caracterizado por valores entre 4 y 6 μg/L. La distribución en superficie se presenta en las Figuras 177, 178 y 179. Ellas permiten apreciar que valores levemente superiores a los señalados se encontraron en estaciones cercanas al nacimiento del río Yelcho, que corresponde a la zona del flujo de salida del lago y se encuentra cercana a las instalaciones de la salmonera Marine Harvest (bahía Caví). Adicionalmente apareció una zona con valores más elevados de fosfato cerca del río Futaleufú, o bajo la influencia de éste, aspecto más destacado en particular durante el segundo muestreo (Fig. 178). La distribución vertical, caracterizada por homogeneidad sobre todo al comienzo del período estival y bastante "patchiness" hacia el final del mismo, se presenta en la Figura 180.

En invierno, el contenido de fósforo presente como fosfato en el lago Yelcho se caracterizó por valores entre 4 y 46 µg/L. La distribución en superficie se presenta en las Figuras 181 y 182. Se aprecia que los valores mayores, especialmente en el primer

muestreo, se encuentran asociados a las descargas fluviales del río Yelcho Chico con un valor de 107,3 μg/L y en el segundo muestreo en las estaciones cercanas al nacimiento del río Yelcho. La distribución vertical que se presenta homogénea (Figura 183).

En primavera, el contenido de fósforo presente como fosfato en el lago Yelcho presenta valores entre 0,9 y 17 μg/L. La distribución en superficie se presenta en las Figuras 184 y 185. Al igual que en invierno los valores mayores, especialmente en el primer muestreo, se encuentran asociados a las descargas fluviales del río Yelcho Chico, río Futaleufú y en las estaciones cercanas al nacimiento del río Yelcho. La distribución vertical se presenta en la Figura 186.

Nitrógeno total

El nitrógeno total, el cual incluye al nitrógeno orgánico e inorgánico, presentó un rango entre 0,1 y 398 mg/m³ en todos los muestreos efectuados. Los valores más bajos ocurrieron en los meses de invierno, mientras en primavera y verano se alcanzaron los mayores valores. La media armónica anual de la concentración de nitrógeno total para el lago Yelcho alcanzó un valor bajo, de 9,34 mg/m³. Los altos valores son determinados por nitrógeno orgánico probablemente alóctono, pues las formas inorgánicas de nitrógeno presentaron concentraciones bajas.

El análisis espacio temporal se presenta en las Figuras 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195 y 196. Se aprecia que en los extremos del lago se encuentran las mayores concentraciones, cercanía del río Futaleufú, principal afluente y cercanía del río Yelcho, único efluente, además de algunos focos en ciertos puntos que no siguen una homogeneidad especio temporal, sino responden a situaciones puntuales, probables influencias de las laderas boscosas ricas en materia orgánica.

Nitrato

El contenido de nitrógeno en forma de nitrato en el lago Yelcho se presentó bajo, con valores menores que 10 μg/L en la mayor parte del cuerpo de agua. A nivel superficial, los resultados de verano se presentan en las Figuras 197, 198 y 199. Es posible apreciar que no hubo grandes diferencias de concentración de nitratos en la zona cercana al afluente (Río Futaleufú), respecto a la zona del efluente (río Yelcho). excepto quizá por lo observado en el tercer muestreo, oportunidad en que el nitrato en la zona del lago inmediata al desagüe fue aproximadamente un 50% mayor. En profundidad, la distribución se caracterizó por un

estrato superficial de 30 a 40 m con concentraciones en general menores de 10 μ g/L, bajo la cual se observó un aumento gradual hasta concentraciones mayores de 15 μ g/L a 80 m (Figura 200).

En invierno el contenido de nitrógeno en forma de nitrato en el lago Yelcho se presentó bajo, con valores menores que 10 μg/L en la mayor parte del cuerpo de agua (Figuras 201 y 202) Destacan los valores mayores en las estaciones cercanas a las desembocaduras de los ríos Yelcho Chico y Correntoso. En profundidad, la distribución se caracterizó por concentraciones en general menores de 10 μg/L (Figura 203).

El contenido de nitrógeno en forma de nitrato en el lago Yelcho en primavera se presentó con valores entre 0,1 y 34,69 μg/L especialmente en la zona central del lago en ambos muestreos y valores algo menores en las estaciones cercanas al río Futaleufú (Figuras 204 y 205). En profundidad, la distribución se caracterizó por concentraciones en general mayores de 30 μg/L bajo los 180 m (Figura 206).

Nitrito

El contenido de nitrógeno en forma de nitrito del lago Yelcho en condiciones de verano fue en general bajo en toda la columna de agua (< 1 μg/L) y en su mayor extensión, cercano al límite de detección (Figuras 207, 208, 209 y 210). Salvo en algunos puntos en superficie cercanos a descargas fluviales, no hubo variabilidad temporal. A nivel profundo las concentraciones tendieron a mantenerse homogéneamente bajas, con la mayor extensión de la columna bajo 0,2 μg/L.

En condiciones de invierno el contenido de nitrógeno en forma de nitrito del lago Yelcho mostró valores entre 0,42 y 5,50 µg/L, con el mayor valor en la zona central del lago influenciada por las descargas fluviales del río Yelcho Chico (Figuras 211, 212 y 213). A nivel profundo las concentraciones fueron bajas.

En condiciones de primavera el contenido de nitrógeno en forma de nitrito del lago Yelcho mostró valores bajo los 0,6 μ g/L, con el mayor valor en la estación 5 (1,68 μ g/L) en el extremo NW del lago (Figuras 214, 215 y 216). Esta situación se repite a nivel profundo para el muestreo 1, para el muestreo 2 la columna de agua se muestra estable con valores menores a 0,5 μ g/L.

Amonio

Las concentraciones estivales de nitrógeno amoniacal se manifestaron bajas en todo el lago Yelcho (< 10 µg/L). Las correspondientes distribuciones superficiales se muestran en las Figuras 217, 218 y 219. Ellas permiten apreciar una tendencia a la progresiva diminución en el tiempo durante el período de muestreos, hasta caer bajo 4 µg/L en una considerable extensión del lago. En profundidad las concentraciones también se presentaron bajas (Figura 220), no existiendo diferencia significativa entre las concentraciones superficiales del Amonio respecto de las encontradas en la zona profunda; incluso las isolíneas tendieron a adoptar una dirección vertical. Existiendo bastante variabilidad horizontal, se detectaron valores relativamente más altos en la estación 2.

Las concentraciones en invierno de nitrógeno amoniacal se manifestaron bajas en todo el lago Yelcho (< 12 µg/L). Las distribuciones superficiales se muestran en las Figuras 221 y 222. Se observan los mayores valores en el extremo SW y algo menores en el sector NW del lago. En profundidad las concentraciones también se presentaron bajas (Figura 223), y siguiendo lo señalado para la superficie.

Las concentraciones en primavera de nitrógeno amoniacal se mantienen bajas en todo el lago Yelcho (<15 μ g/L). Las Figuras 224 y 225 muestran las distribuciones superficiales. En profundidad las concentraciones también se presentaron bajas (Figura 226), al igual que en superficie.

Clorofila

La clorofila en el lago Yelcho presenta en general una baja concentración en el lago, aunque presenta un ciclo anual, que lo caracteriza. La concentración anual (1998), presenta una mayor concentración en primavera, y en invierno, en relación a la concentración encontrada en la época de verano (Fig. 228a). La concentración de clorofila fluctuó entre 0,07 y 1,04 µg/l. La mínima concentración se encontró en el mes de febrero, y la máxima en el mes de abril (Fig. 228b).

En cuanto a la distribución espacial, las mayores concentraciones de clorofila durante el verano, se encontraron en la zona norte, cercano a la desembocadura de este. En cambio la distribución de las concentraciones de clorofila, durante la primavera e invierno, se presentan relativamente uniforme a lo largo del lago (Figuras 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237 y 238).

Oxígeno disuelto

En epoca de verano el contenido de oxígeno disuelto fluctuó entre 8,6 y 9,6 mg/L. A nivel superficial estas concentraciones correspondieron a una saturación entre 90 y 99 %, en tanto que en profundidad tal concentración correspondió a una saturación entre 90 y 95 %. Los valores en superficie se mostraron bastante homogéneos durante todo el período (Figuras 239, 240 y 241). No se observaron diferencias significantes entre la zona del principal afluente y la del desagüe del lago. El análisis de la distribución horizontal de los contenidos de oxígeno en superficie señalan leves alzas en los valores en los sectores más expuestos al viento predominante. La distribución vertical (Figura 242) se caracterizó por concentraciones bastante uniformes, observándose en las zonas más profundas cantidades de oxígeno bastante similares a la superficie, con los menores valores precisamente en la capa superficial. Esta última característica evidencia una evasión neta de oxígeno hacia la atmósfera por el intenso calentamiento observado en esta época del año. El lago se mantiene por lo tanto altamente oxigenado, a pesar de la estratificación térmica observada.

En condiciones de invierno el contenido de oxigeno disuelto fluctuó entre 11,2 y 12,0 mg/L, valores más elevados y corresponden a las temperaturas observadas y a los efectos de mezcla por acción del viento y ríos (Figuras 243, 244 y 245).

En primavera, el contenido de oxígeno fluctuó entre 9,5 y 12,0 mg/L lo cual corresponde a la etapa de transición del lago, entre las condiciones típicas de invierno hacia las condiciones de verano. No se observó estratificación en los contenidos de oxígeno, lo cual indica buena calidad de las aguas en todo el perfil del lago (Figuras 246, 247 y 248).

pH

Los valores de pH observados in situ durante el verano fueron levemente ácidos y se ubicaron en un rango entre 5,86 y 6,95. En general, los valores observados son los normales para aguas dulces de lagos. Aquellos correspondientes a superficie se presentan en las Figuras 249, 250 y 251. Los valores de las zonas profundas (Figura 252) se mostraron levemente menores que los superficiales (0,2 unidades en 80 m). El pH registrado es inferior al que se ha obtenido en época de verano, para otros lagos similares (Caburga, Puyehue). Los valores de pH observados en invierno en superficie (Figuras 253 y 254) se mantuvieron levemente ácidos, ubicándose entre 5,89 y 6,95, rango muy similar al del verano. Para las zonas profundas (Figura 255) los valores fueron levemente menores que los superficiales.

Para condiciones de primavera, ell pH observado en superficie se ubicó en un rango más amplio, desde valores moderadamente ácidos con un mínimo de 5,60 y valores levemente alcalinos con un máximo de 7,86 (Figuras 256 y 257). Para las zonas profundas (Figura 258) al igual que para verano e invierno fueron levemente menores que los superficiales.

Alcalinidad

La alcalinidad en mg/L de CaCO³ mostró valores entre 15,9 y 36,7 durante todo el periodo de estudio de 1998. El valor medio fue 18,72 mg/L.

En general la mayor variabilidad observada en el análisis espacio temporal aparece relacionado a la influencia de ríos afluentes del lago figuras 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268 y 269.

3.2 BALANCE HIDRICO DEL LAGO YELCHO

En base a los ingresos estimados de aguas, provenientes de precipitaciones atmósféricas, ingresos de los ríos y laderas, y en base a la única salida desde el lago, el río Yelcho se ha construído el balance hídrico del sistema lago Yelcho (Tabla 49). Además se señalan los parámetros descriptores de la renovación de las aguas del lago (tasa de descarga y tiempo de residencia)

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	km³/año	4,14	0,23	
(1860,9 mm/año)				
Evaporación	km³/año	18,49	1,06	19,55
Descargas laderas	km³/año	0,71		
Descargas ríos	km³/año	25,10	24,80	24,80
Tasa de descarga	año ⁻¹	300,000,000	1,9	
Tiempo de residencia	(V/Q, año)		0,54	

3.3 MASA TOTAL DE FÓSFORO Y NITRÓGENO CONTENIDA EN EL LAGO

Las masas totales de las principales formas de fósforo y nitrógeno obtenidas a partir de las sumas de sus contenidos por estrato en el lago Yelcho se presentan en la Tabla 50. La masa total de fósforo contenida en el lago tuvo un promedio de 130,8 toneladas métricas, con una considerable variabilidad intranual, que exhibió un rango desde un máximo de 224,7 toneladas en febrero de 1988 hasta un mínimo de 94,5 toneladas en septiembre del mismo año. La masa total de nitrógeno contenida en el lago Popetán tuvo un promedio de 1416 toneladas, presentando también una elevada variabilidad de un mes a otro.

Tabla 50. Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago Yelcho.

	P total	FOSFATO	N total	NITRATO	NITRITO	AMONIO
MES	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Febrero	224694	64275	1930122	136968	2618	84637
Marzo						
Abril	115743	62173	1684092	99701	2188	66716
Mayo Junio	110798	71728	1587187	104492	3485	48375
Julio						
Agosto	120949	78221	1096888	125825	11201	40555
Septiembre	94496	58279	978412	168729	4680	45398
Octubre Noviembre	113743	54056	994417	140646	3104	49416
Diciembre	135206	64276	2142903	149626	2668	65237
Enero			914350	93659	2141	47561
PROMEDIO ANUAL	130804	64715	1416046	127456	4010	55987

3.4 DETERMINACION DE LOS BALANCES DE FOSFORO Y NITROGENO

Utilizando los antecedentes recogidos durante el estudio se puede efectuar el siguiente balance para el Fósforo total (Tablas 51, 52, 53 y 54) y el Nitrógeno total (Tablas 55, 56 y 57) para el año de estudio

Fósforo total

Tabla 51. Cálculo de L_n (carga de Fósforo de ingreso desde los afluentes y laderas en mg·m⁻²año⁻¹).

	Valor	Unidad
Carga anual de Fósforo total desde los	2693,8	mg·m ⁻² año ⁻¹
afluentes Carga de Fósforo desde las laderas	24,6	mg·m⁻²año⁻¹
Carga total	2718,4	mg·m⁻²año⁻¹

Tabla 52. Concentración de Fósforo total del lago (Ptot)

		Valores	Unidad
Lo	Carga de fósforo al lago especialmente de sus afluentes	2722	mg·m ⁻² año ⁻¹
$T_w = (V/Q)$	Renovación total del lago	0,54	año ⁻¹
R	Retención equivalente a sedimentación R=1/(1+(1/VT _w))	0,494	
Z (m)	Profundidad media (volumen/superficie)	110,1	m
Masa de Fó	sforo total para todo el volumen del lago		
P_{λ}	Contenido de Fósforo total del lago (promedio anual)	130,8	ton
V (m ³)	Volumen total del lago	13,31	km ³
P _{tot}	Concentración media de Fósforo total en el lago	9,83	mg·m ⁻³

Tabla 53. Balance de fósforo total	2722 1984	idad
	mg⋅m⁻²año⁻¹	Toneladas/año
Entrada de nutrientes		
Carga total	2722	329
Salida de nutrientes		
Cálculo de la descarga del río Yelcho	1984	239,9
Intercambio sedimentos	738	89,2

Nota: De acuerdo con este balance el lago estaría reteniendo 89,2 ton/año de fósforo total en los sedimentos

Tabla 54. Tiempo de residencia del Fósforo total (Tp)

		Valores	Unidad
P_x	Promedio actual de Fósforo total del lago	9,83	mg·m ⁻³
F	Capacidad de renovación anual del lago	1,86	año ⁻¹
Pi	Concentración según carga de fósforo actual del lago	6,71	mg·m ⁻³
P_x/P_i		1,46	
Tp	Tiempo de residencia del fósforo	0,40	año
Tw	Tiempo de residencia de aguas	0,54	año
T _p / T _w		0,74	

meses

Nitrógeno total

Tabla 55. Cálculo de L_n (carga de Nitrógeno de ingreso desde los afluentes y laderas en $mg \cdot m^{-2}$ año $^{-1}$).

	Valor	Unidad
Carga anual de Nitrógeno total desde los afluentes	33466,9	mg·m⁻²año⁻¹
Carga de Nitrógeno desde las laderas	139,7	mg·m⁻²año⁻¹
Nitrógeno provenientes de las precipitaciones	19,2	mg·m⁻²año⁻¹
Carga total	33625,8	mg·m⁻²año⁻¹

Tabla 56. Concentración de Nitrógeno total del lago (Ntot)

		Valores	Unidad
Ln	Carga de Nitrógeno al lago especialmente de sus afluentes	33626	mg·m ⁻² año ⁻¹
Tw	Renovación total del lago	0,54	año⁻¹
R	Retención equivalente a sedimentación R=1/(1+(1/VT _w))	0,494	
Z (m)	Profundidad media (volumen/superficie)	110,1	m
Masa de	Nitrógeno total para todo el volumen del lago		
N_{λ}	Contenido de Nitrógeno total en el lago (promedio anual)	1416	ton
V (m ³)	Volumen total del lago	13,31	km³
N _{tot}	Concentración media de Nitrógeno total en el lago	106,4	mg·m ⁻³

Tabla 57. Balance de Nitrógeno total.

	Unidad		
	mg·m ⁻² año ⁻¹	Toneladas/año	
Entrada de nutrientes			
Carga total	33626	4046	
Salida de nutrientes	* 2		
Cálculo de la descarga del río Yelcho	19474	2355	
Intercambio sedimentos	14229	1720	

Nota: De acuerdo con este balance el lago estaría reteniendo 1720 ton/año de Nitrógeno total en los sedimentos

4. ESTIMACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL LAGO YELCHO

Las concentraciones de nutrientes detectadas en las aguas del lago Yelcho recomiendan no aumentar en forma significativa las concentraciones actuales, por tal motivo no se considera recomendable dedicar éste lago al uso en cultivo de salmones.con el sistema de balsas jaulas que implica introducir nutrientes al lago.

El uso intensivo en salmonicultura afectaría la calidad de las aguas y en especial a la gran criptodepresión que posee este lago. Los datos existentes sobre la calidad de las aguas se señalan en la Tabla 58.

Tabla 58. Concentración actual de Fósforo total y de Nitrógeno total en el lago Yelcho (promedios)

	Fósforo	total (mg·m ⁻³)	Nitrógeno total (mg·m ⁻³		
Epoca del año	Promedio aritmético	Media armónica	Promedio aritmético	Media armónica	
Verano (muestreo A, B, C)	19,98	15,45	152,8	121,0	
Invierno (muestreo A, B)	10,29	8,92	45,4	13,7	
Primavera (muestreo A, B)	9,94	8,78	138,2	126,3	
Data total	14,92	11,17	106,5	-30,4	

Tabla 59. Cálculo de la carga crítica para el Fósforo total (Lc)

	Valor	Unidad	
Superficie del lago	120,912	km ²	
Volumen del lago	13,31	km³	
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		
L _c (P _{total})	2719 *	mg·m⁻²año⁻¹	

Nota: Este valor sería el máximo para tener el lago en condiciones de oligotrofía.

Se considera como límite aceptable en la concentración de nutrientes para que un lago no pase a un estado mesotrófico la cantidad de 10 mg/m³ de Fósforo total, límite establecido por varios autores para los cuerpos de agua oligotróficos (Chapra, 1997; Wetzel, 1981; Reckhow and Simpson, 1980; Ontario Ministry of the Environment, 1991).

El límite propuesto debe considerarse como razonable si observamos la Tabla 60 que señala otros parámetros indicadores del estado trófico del lago Yelcho, lo cual confirma que el lago en la actualidad está en el límite de las categorías de oligotrofía y de mesotrofía.

Tabla 60. Parámetros indicadores (1) de estado trófico del lago Yelcho

	Unidad	Media armónica	Rango	Primavera	Verano	Invierno
Fósforo total	mg*m ⁻³	11,17		8,78	15,45	8,92
Nitrógeno total	mg*m ⁻³	30,4		126,3	121,0	13,7
Clorofila	mg*m ⁻³	0,04		0,02	0,05	0,33
Visibilidad	m	6,6		8,0	7,0	5,0

Nota (1): media armónica de las concentraciones

Tomando en consideración la situación descrita, que es indicativa de que el cuerpo de agua se encuentra en camino de la mesotrofia y el hecho de que la carga actual de fósforo que recibe el lago Yelcho (2718 mg·m⁻²año⁻¹, Tabla 51) prácticamente iguala la carga crítica estimada (Tabla 59), se recomienda no autorizar nuevas operaciones de cultivo de salmónidos en sus aguas.

ANEXOS DE FIGURAS LAGO YELCHO

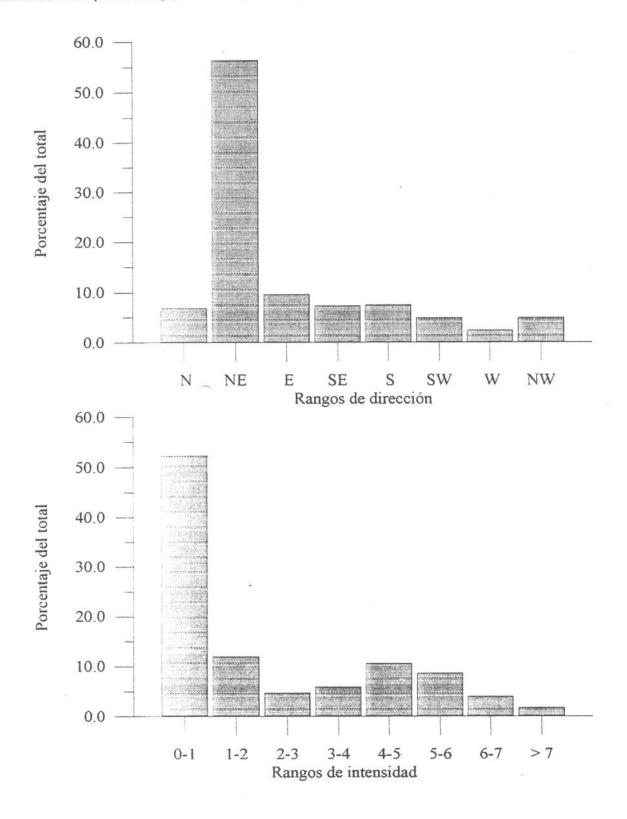


Figura 144. Histograma de dirección e intensidad de la corriente registrada en el lago Yelcho entre el 3 y el 17 de febrero de 1998.

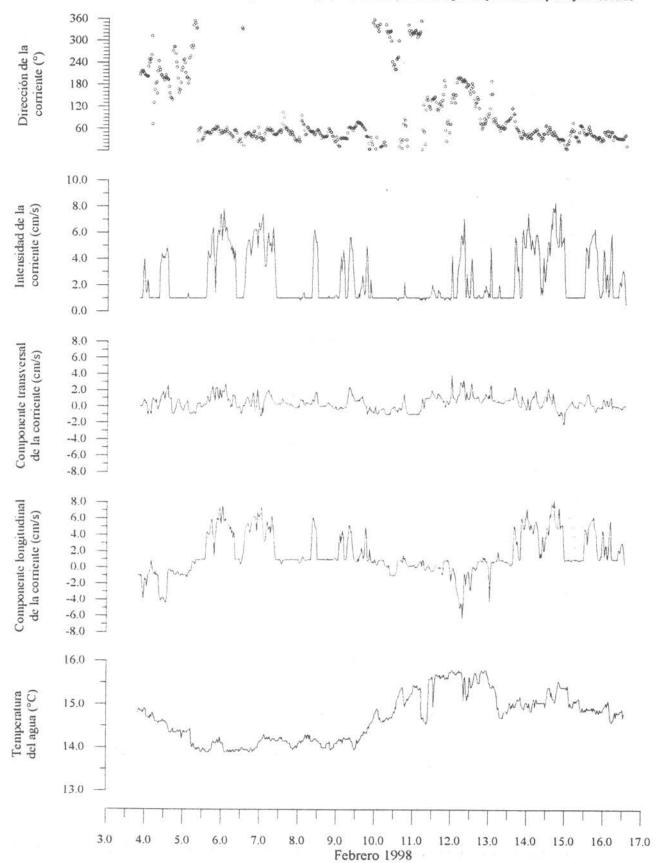


Figura 145 Series de tiempo de dirección, intensidad, componentes a lo ancho (transversal) y a lo largo (longitudinal) de la corriente y temperatura del agua. Lago Yelcho, febrero 1998.

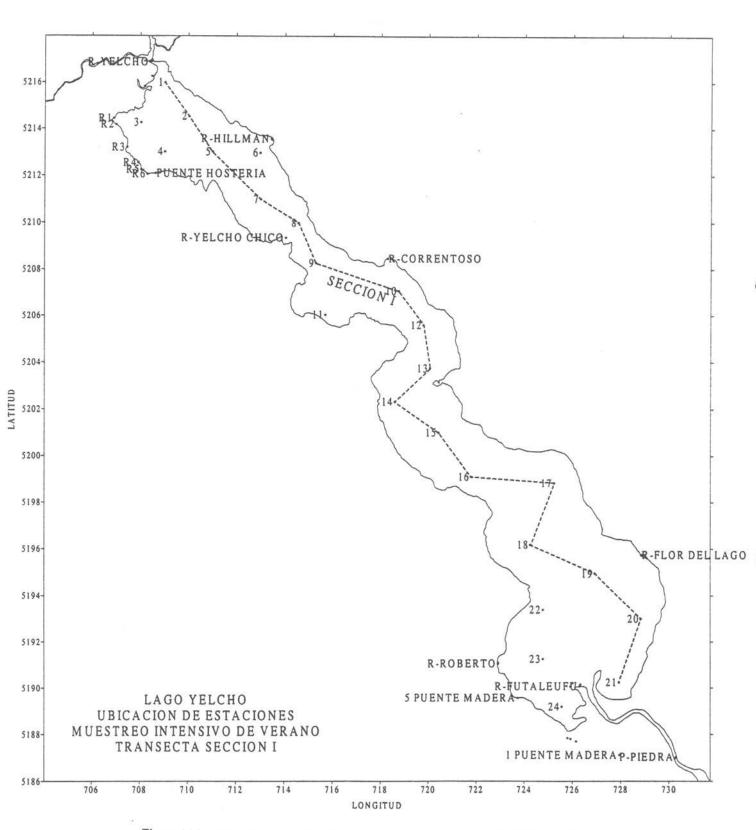


Figura 146 Diagrama de ubicación de las estaciones de muestreo del lago Yelcho.

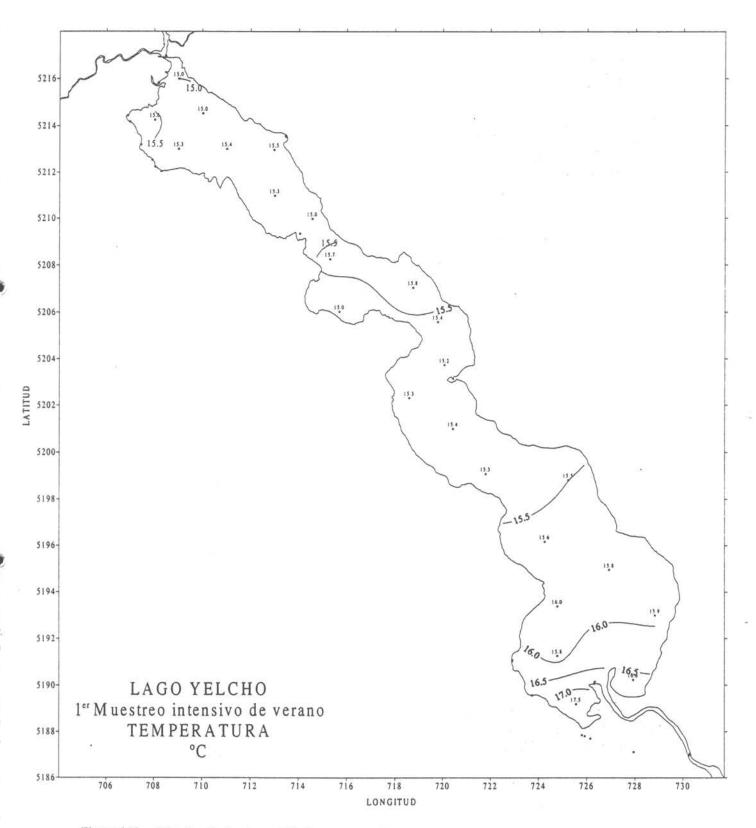


Figura 148 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.

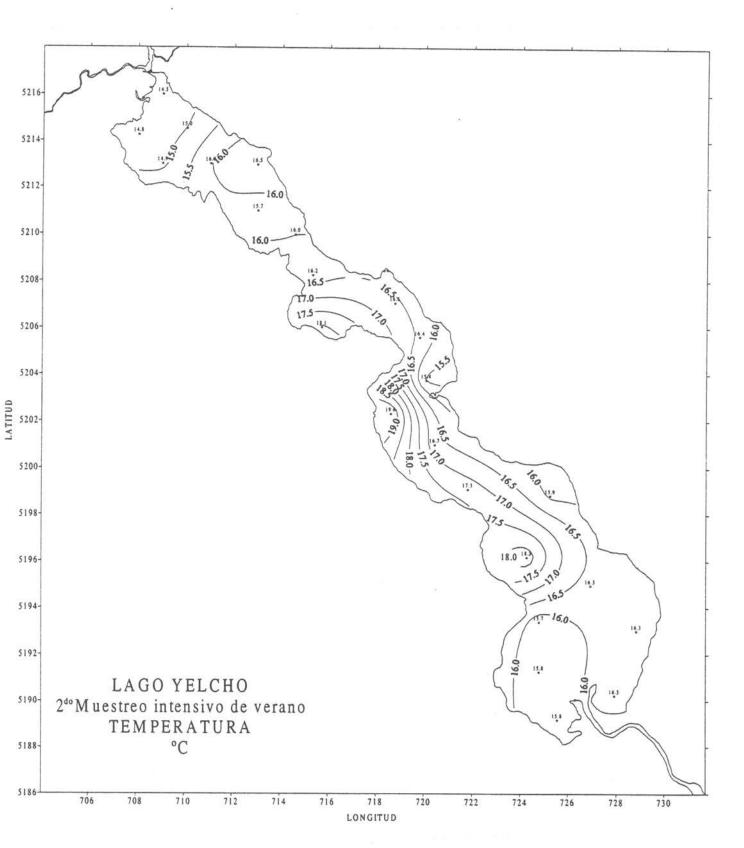


Figura 149 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.

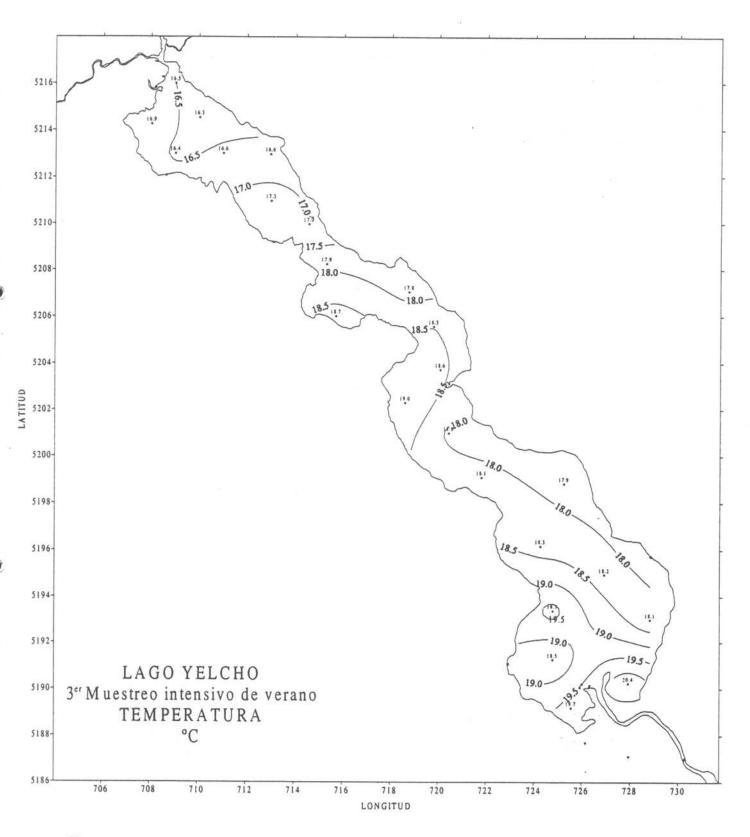
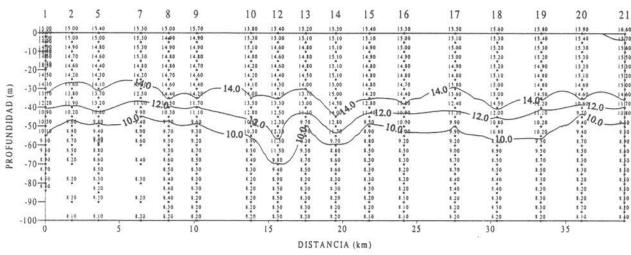
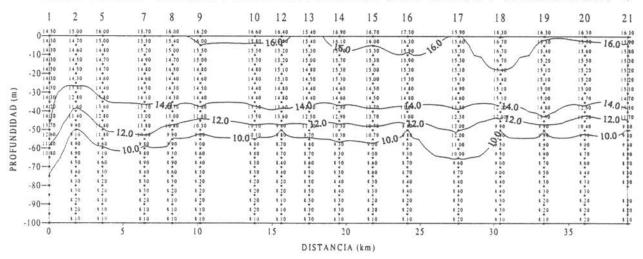


Figura 150 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.





LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 TEMPERATURA °





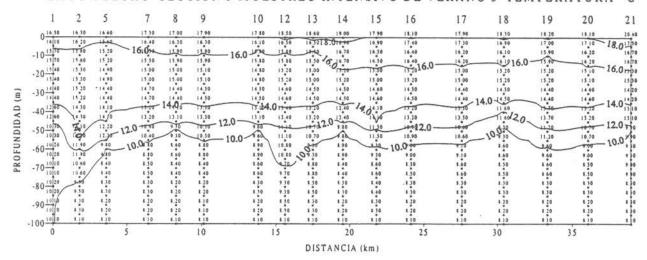


Figura 151 Sección vertical Nº1 de Temperatura °C en el lago Yelcho.

240.

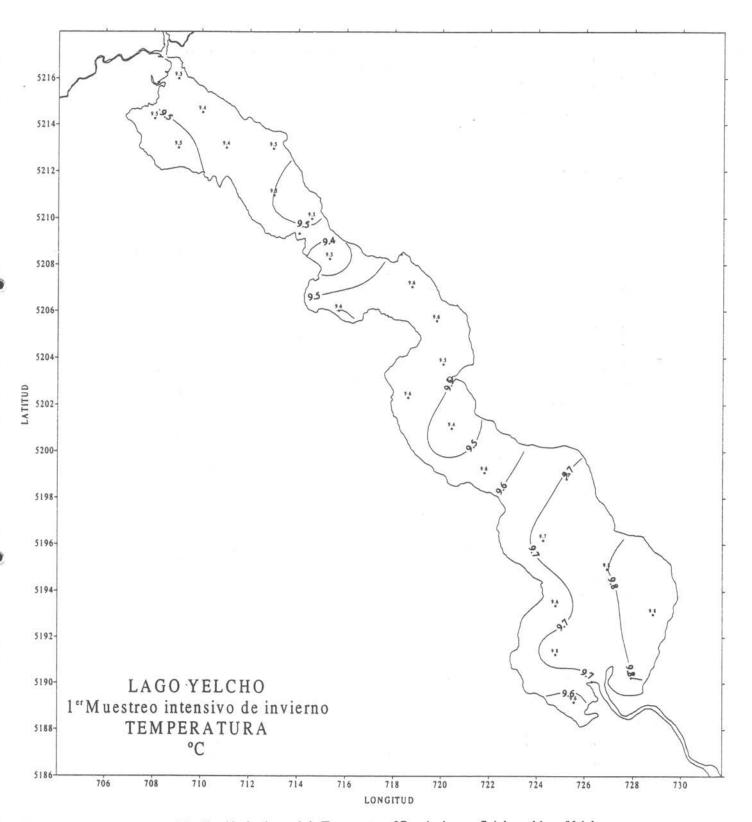


Figura 152 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.

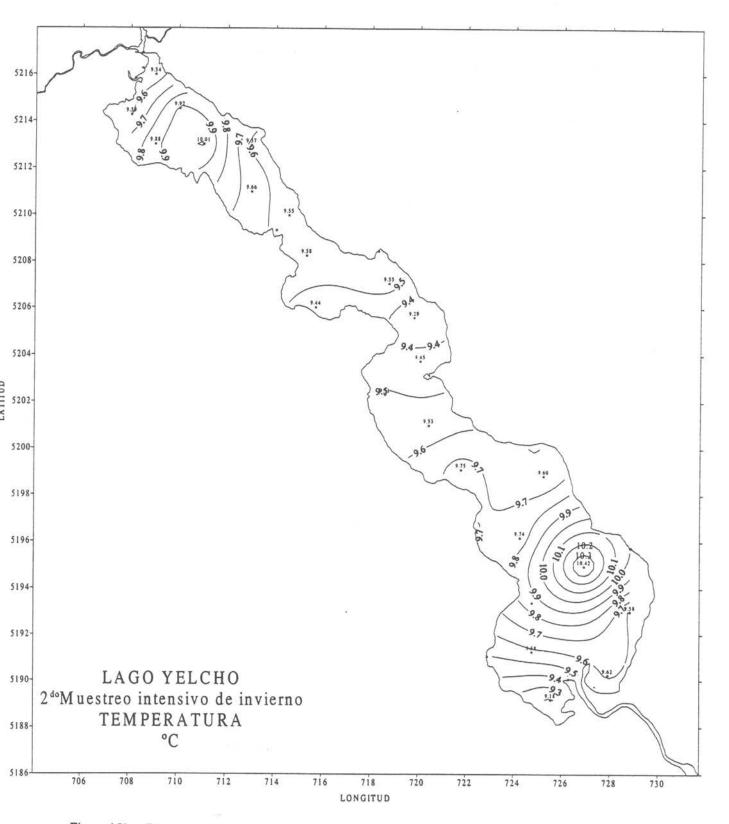
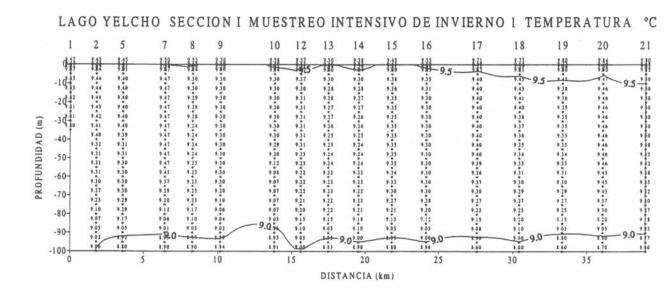


Figura 153 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.



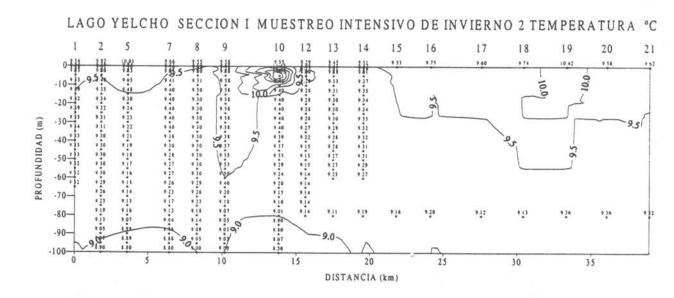


Figura 154 Sección vertical Nº1 de Temperatura °C en el lago Yelcho.

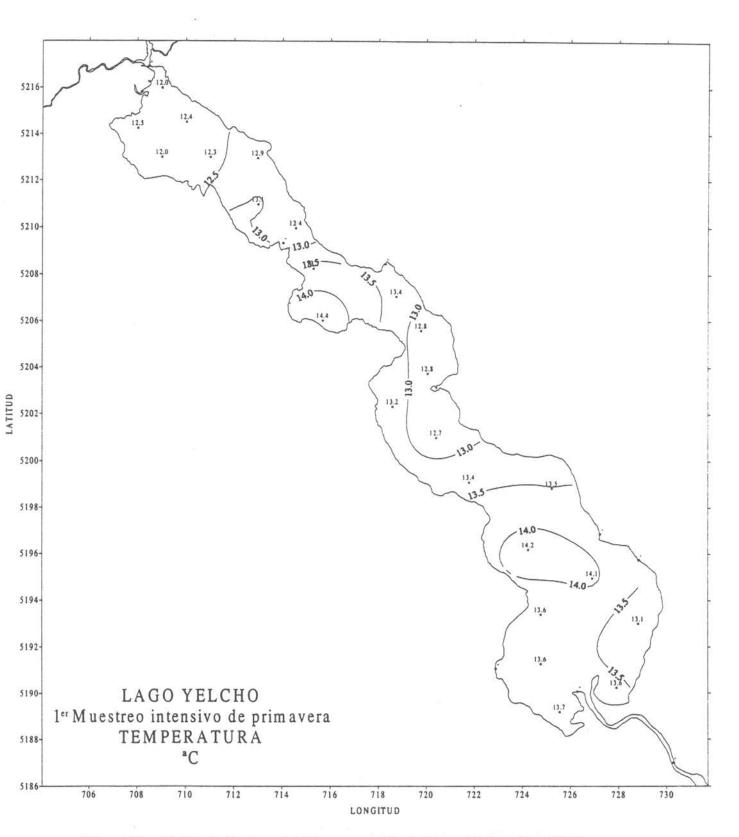


Figura 155 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.

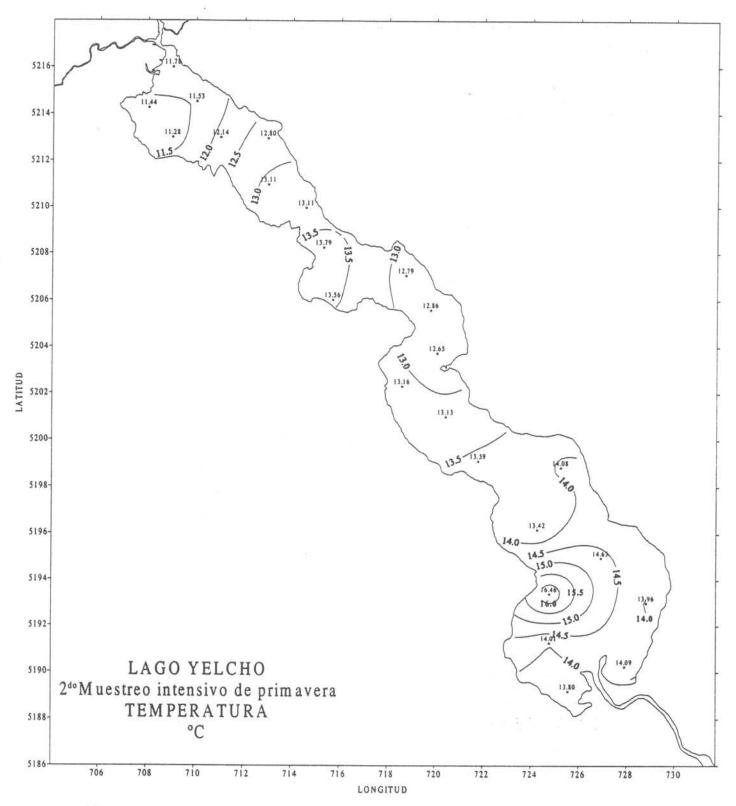
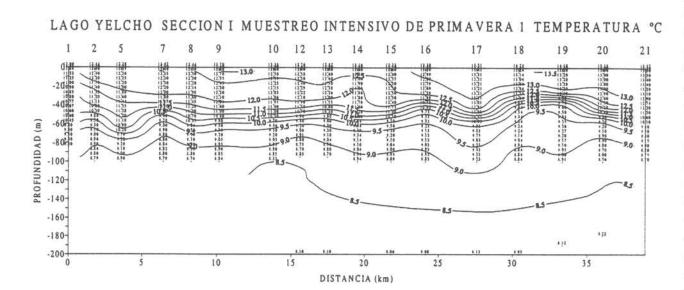


Figura 156 Distribución horizontal de Temperatura °C a nivel superficial en el lago Yelcho.



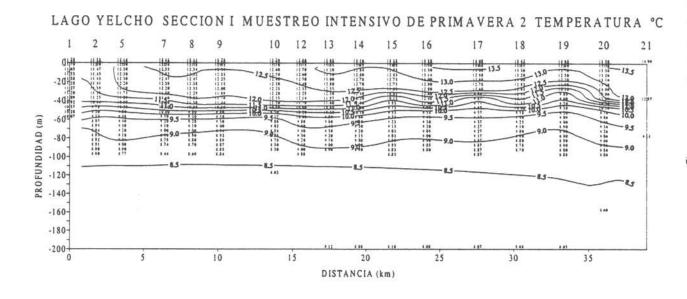
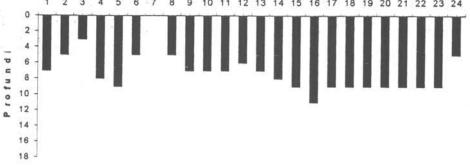
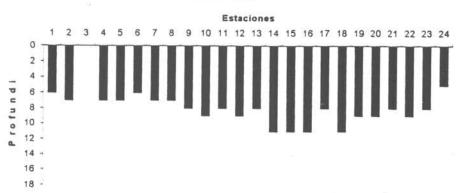


Figura 157 Sección vertical Nº1 de Temperatura °C en el lago Yelcho.





Visibilidad (m) como profundidad de Disco Secchi. 2do muestreo de verano 1998



Visibilidad (m) como profundidad de Disco Secchi. 1er muestreo Invierno 1998

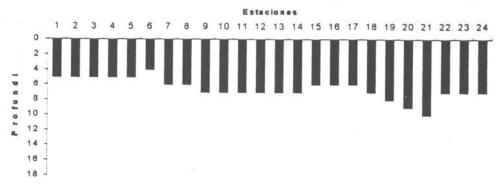
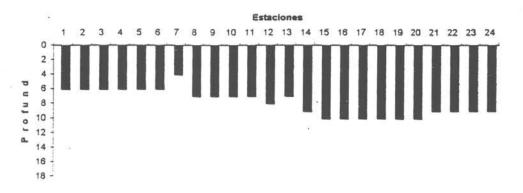
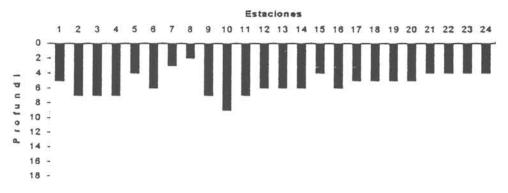


Figura 158. Visibilidad (m) medida como profundidad de Disco Secchi para los muestreos de verano e invierno de 1998 en el lago Yelcho



Visibilidad (m) como profundidad de Disco Secchi. 1er muestreo de Primavera 1998



Visibilidad (m) como profundidad de Disco Secchi. 2do muestreo de Primavera 1998

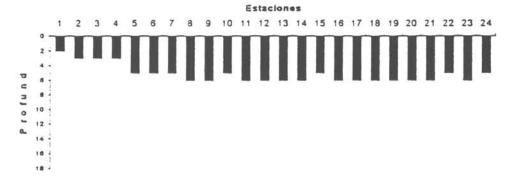


Figura 159. Visibilidad (m) medida como profundidad de Disco Secchi para los muestreos de invierno y primavera de 1998 en el lago Yelcho

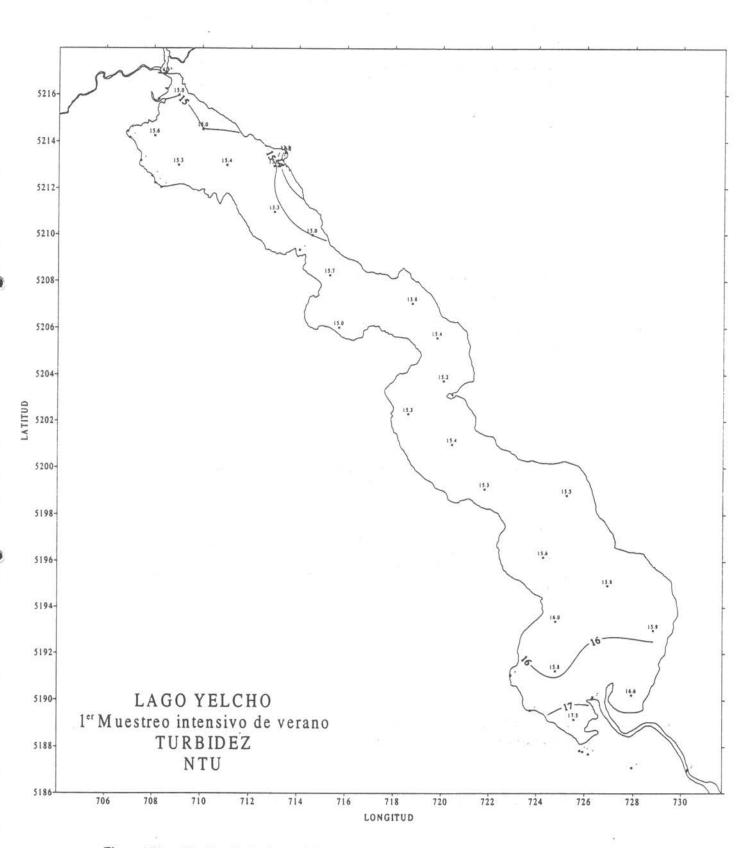


Figura 160 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho.

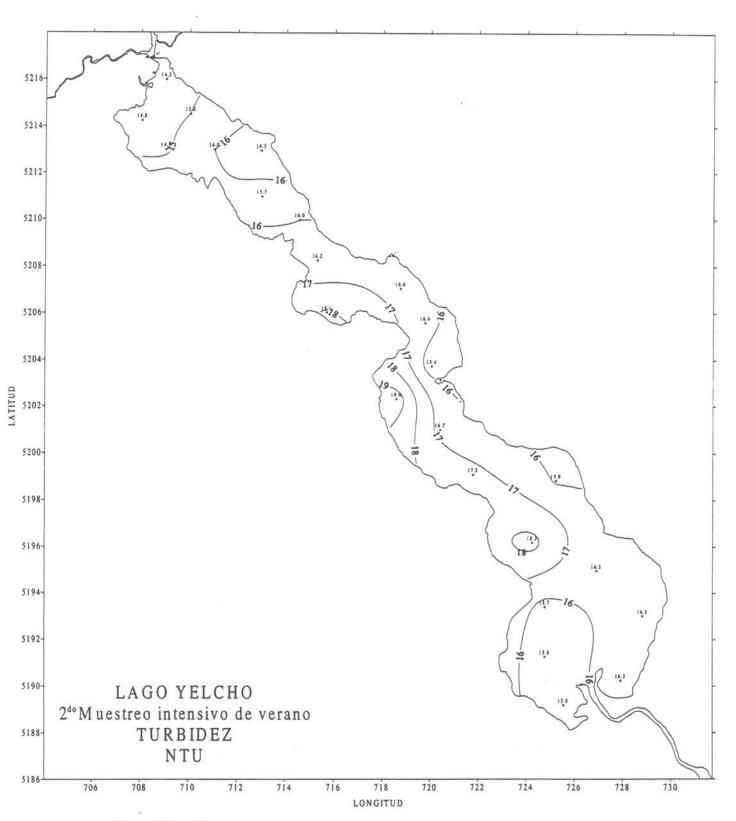


Figura 161 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho.

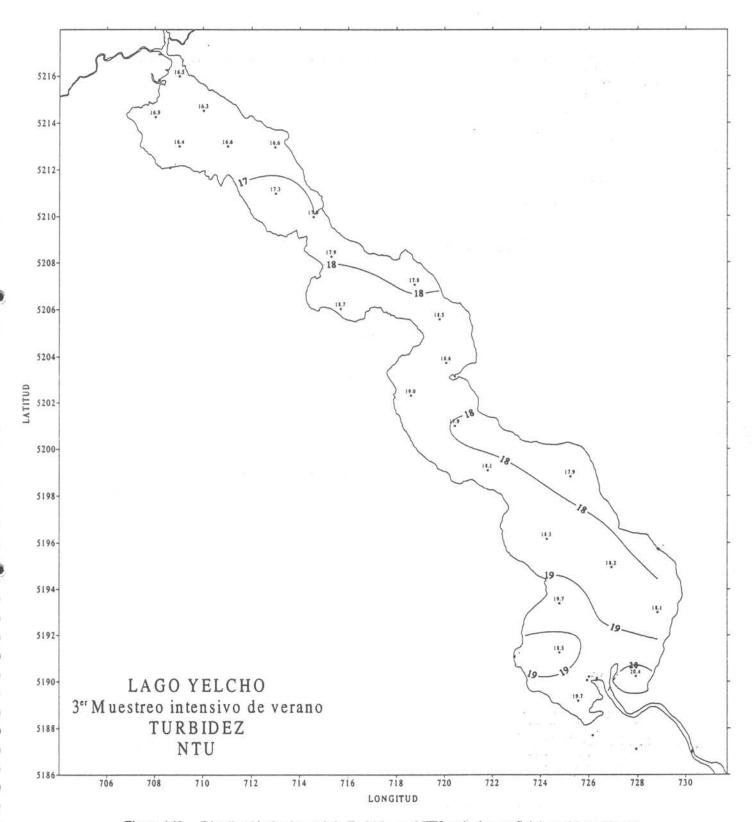
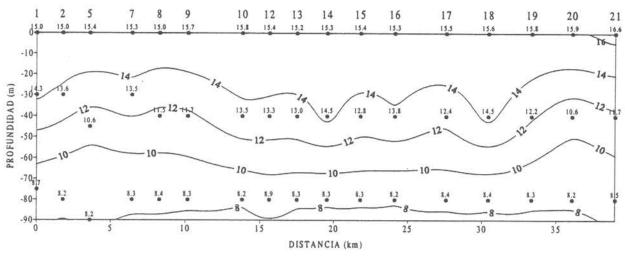
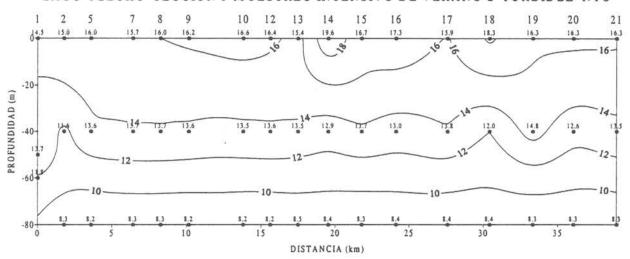


Figura 162 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 TURBIDEZ NTU



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 TURBIDEZ NTU



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 TURBIDEZ NTU

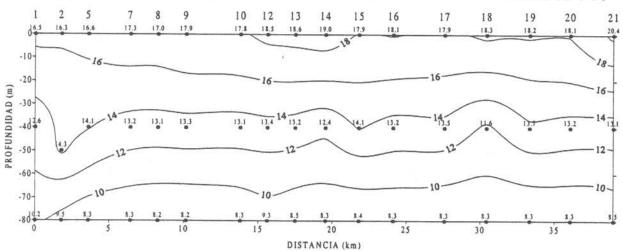


Figura 163 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Yelcho.

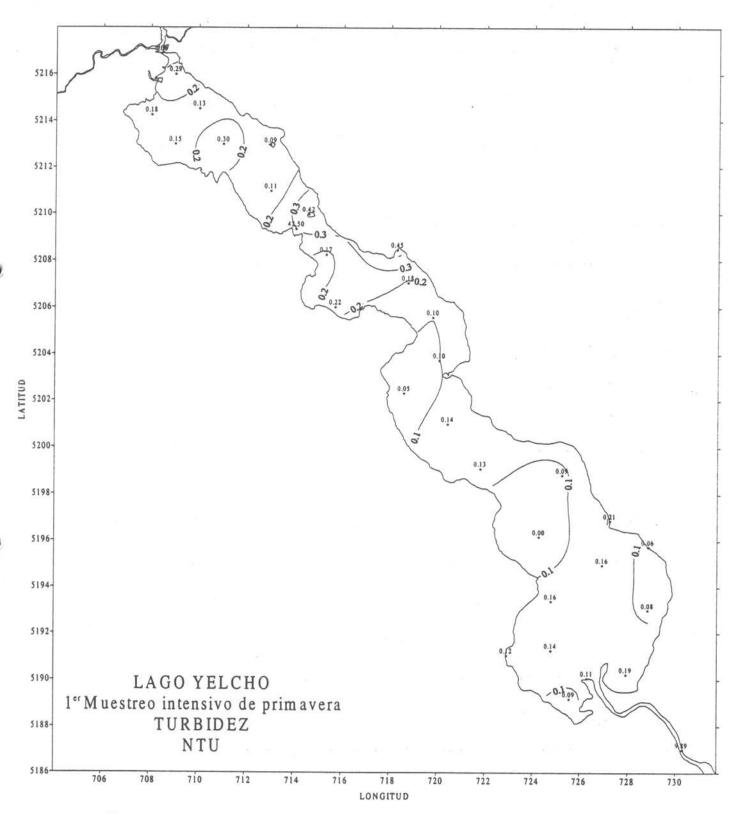


Figura 164 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho.

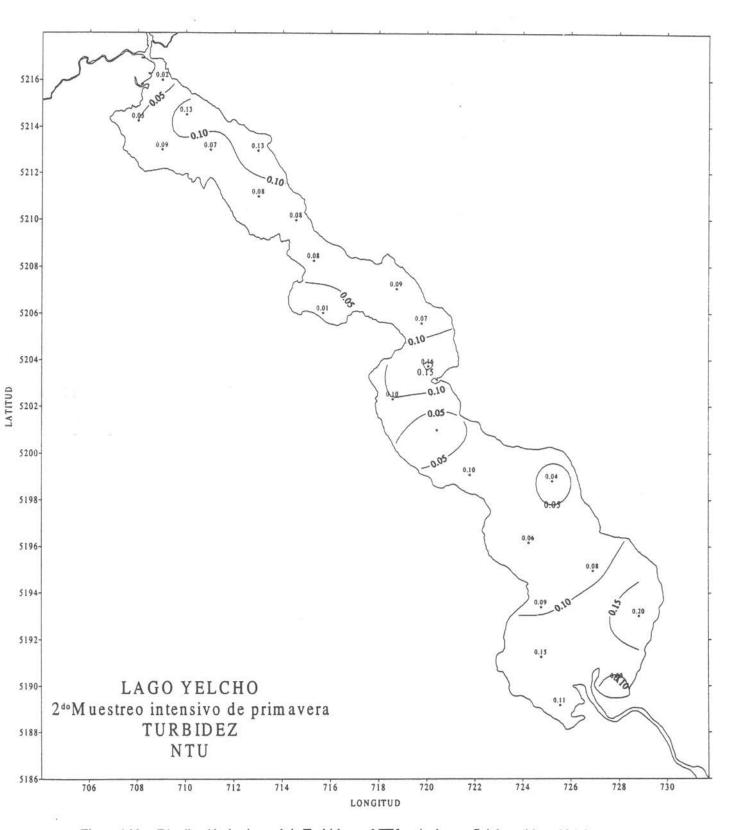
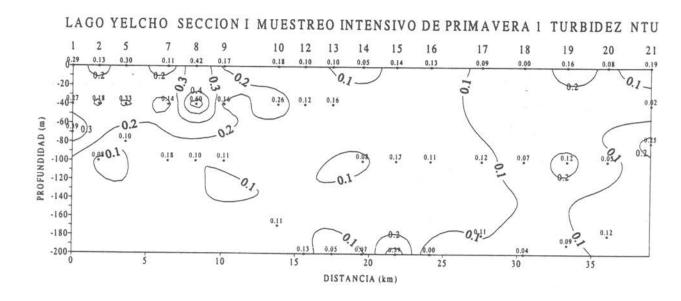


Figura 165 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Yelcho.



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 TURBIDEZ NTU 2 5 9 10 12 13 14 15 16 17 18 19 20 0.13 160 0.07 -40--68-PROFUNDIDAD (m) -80 0.01 -100-0.01 -120--140-0.07 -160 -180--200-20 30 35 DISTANCIA (km)

Figura 166 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Yelcho.

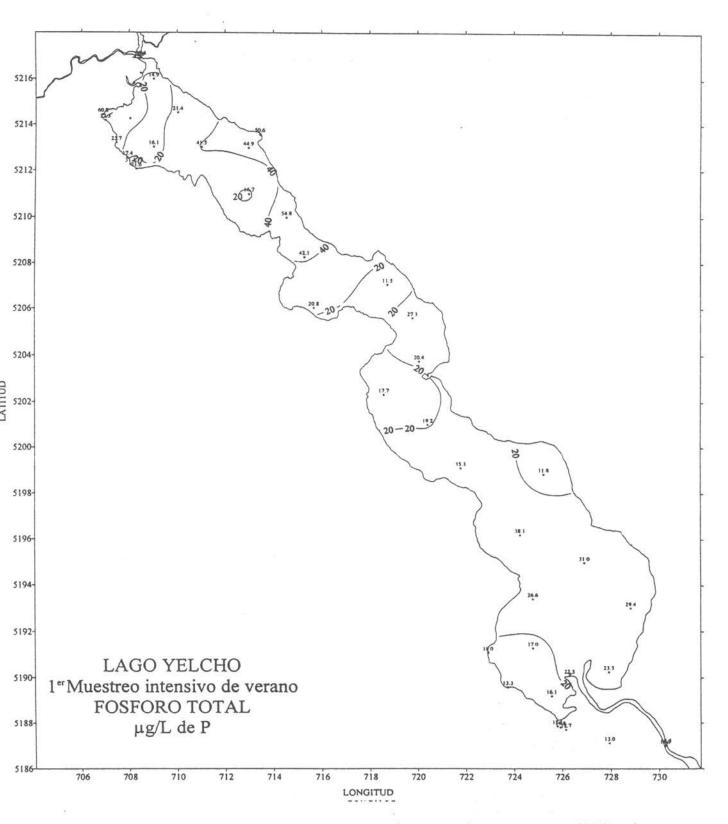


Figura 167 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

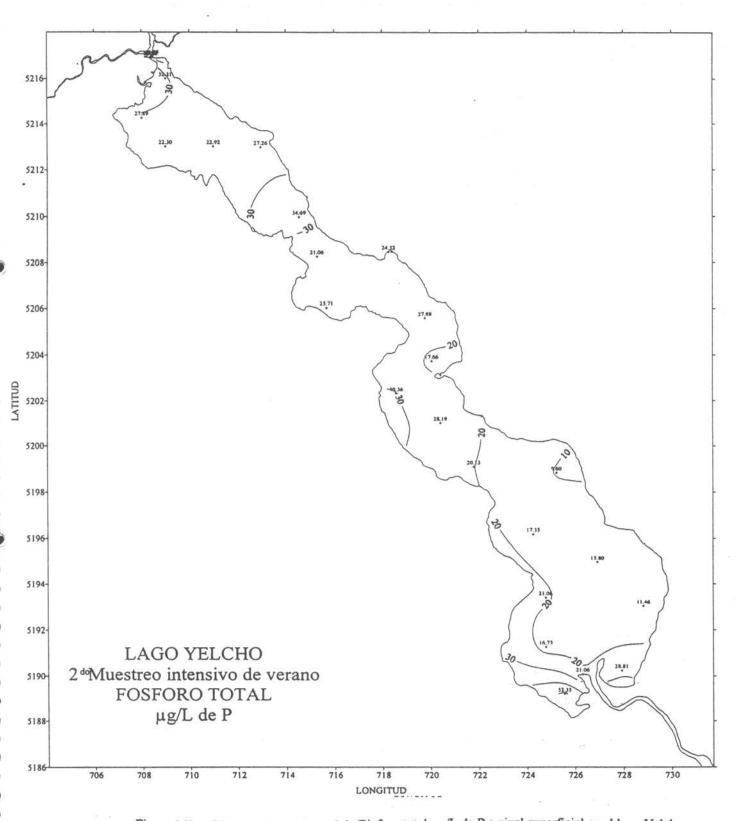


Figura 168 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

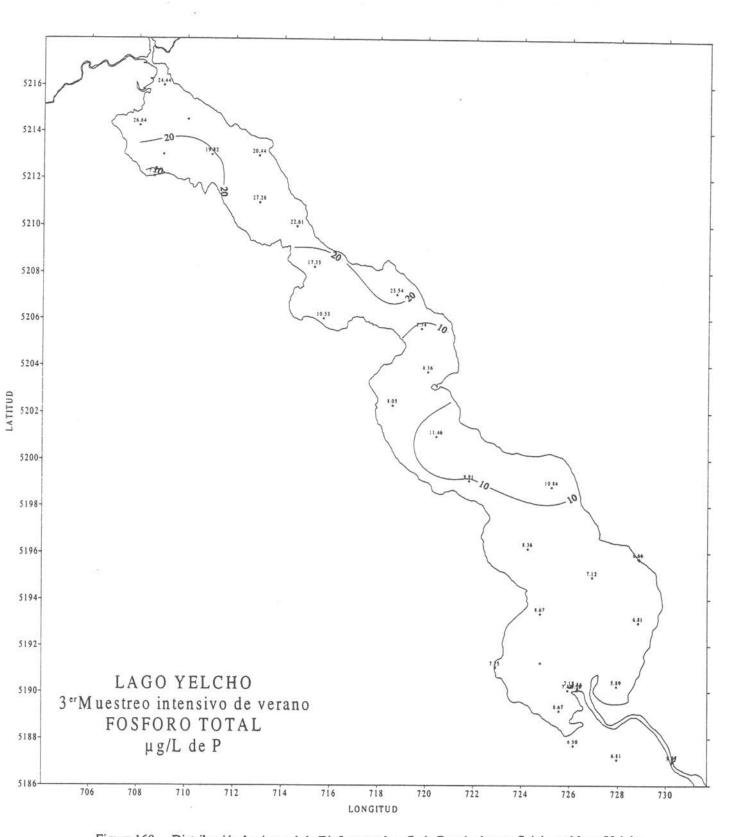
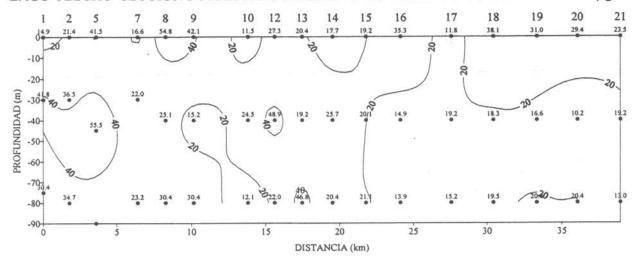
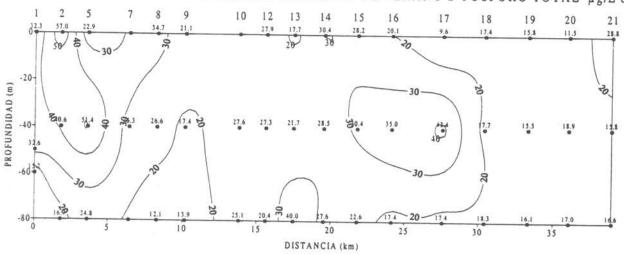


Figura 169 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 FOSFORO TOTAL μg/L de P



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 FOSFORO TOTAL μ g/L de P

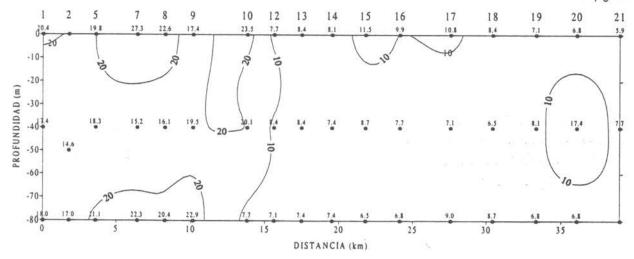


Figura 170 Sección vertical Nº1 de Fósforo total μg/L de P en el lago Yelcho.

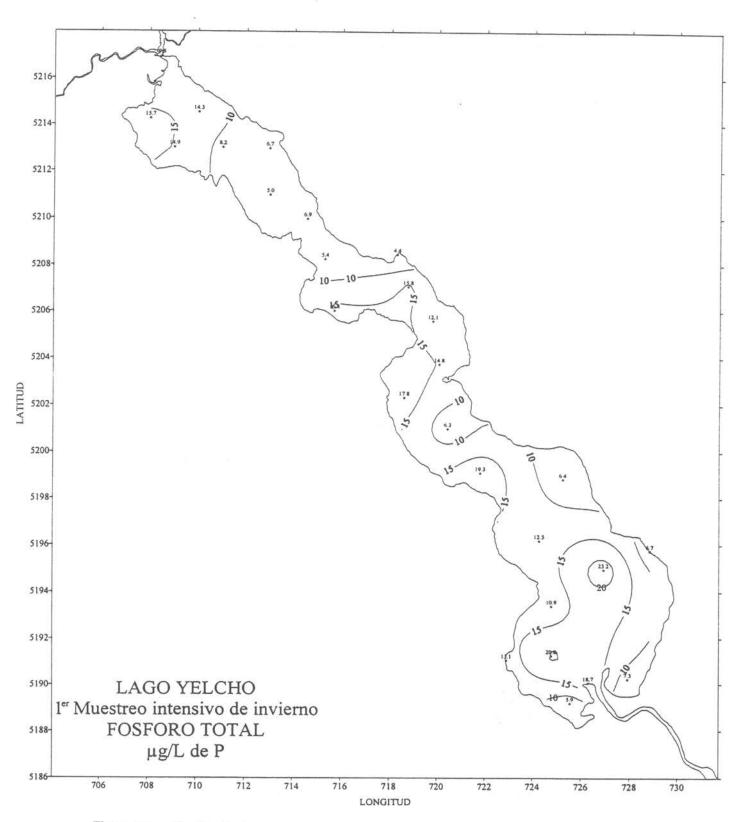


Figura 171 Distribución horizontal de Fósforo total μg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

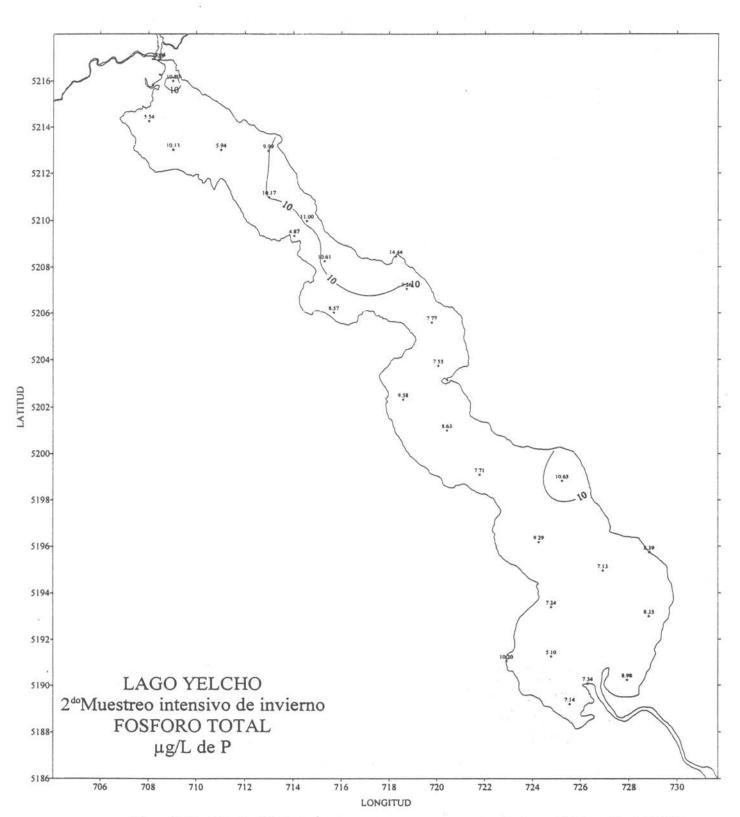
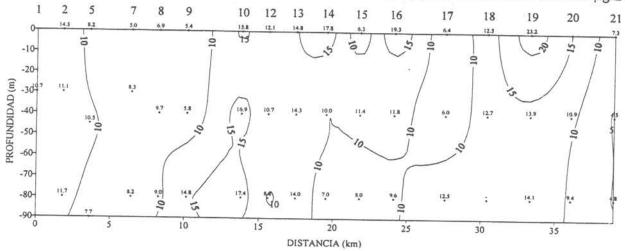


Figura 172 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 FOSFORO TOTAL μ g/L de P



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 FOSFORO TOTAL μ g/L de P

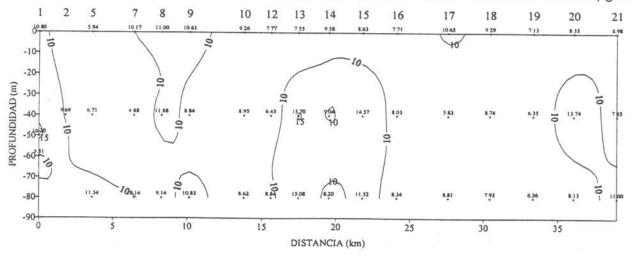


Figura 173 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Yelcho.

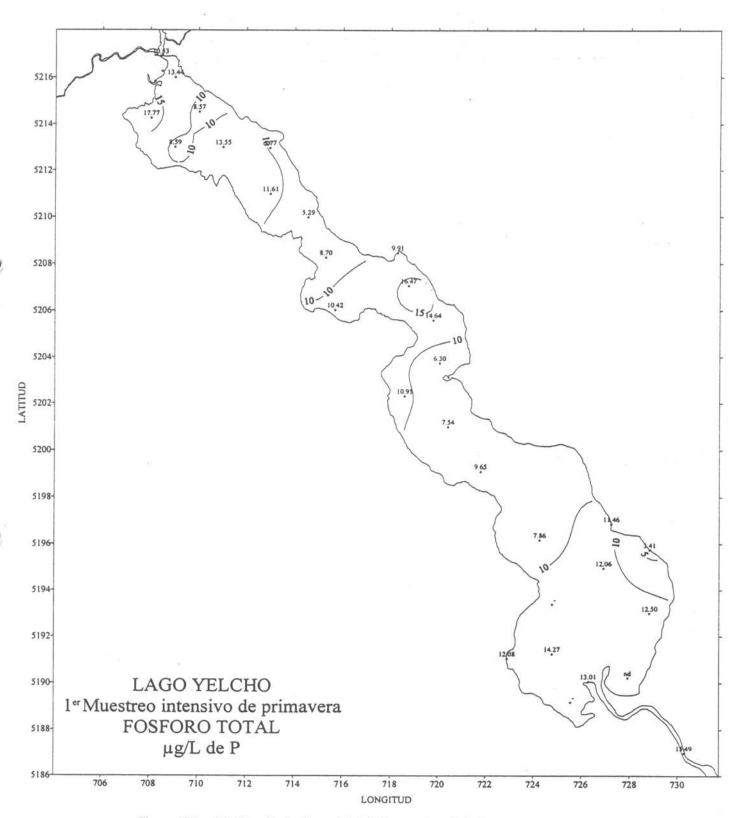


Figura 174 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

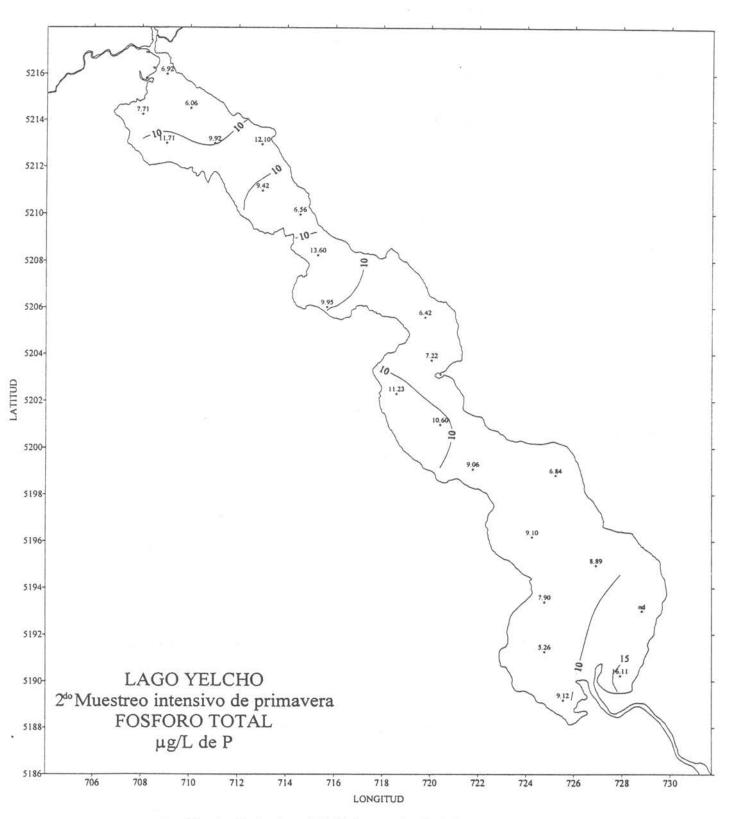
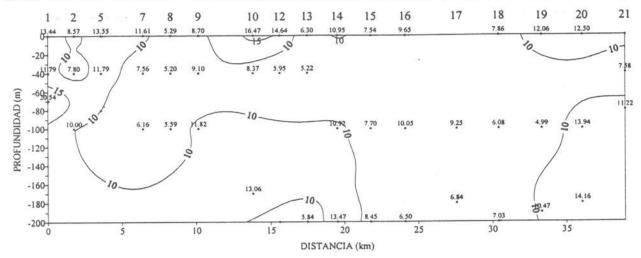


Figura 175 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 FOSFORO TOTAL μg/L de P



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFORO TOTAL μ g/L de P

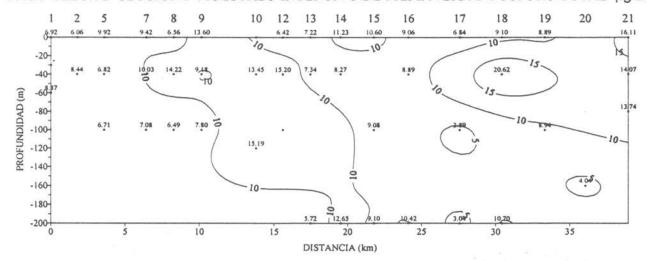


Figura 176 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Yelcho.

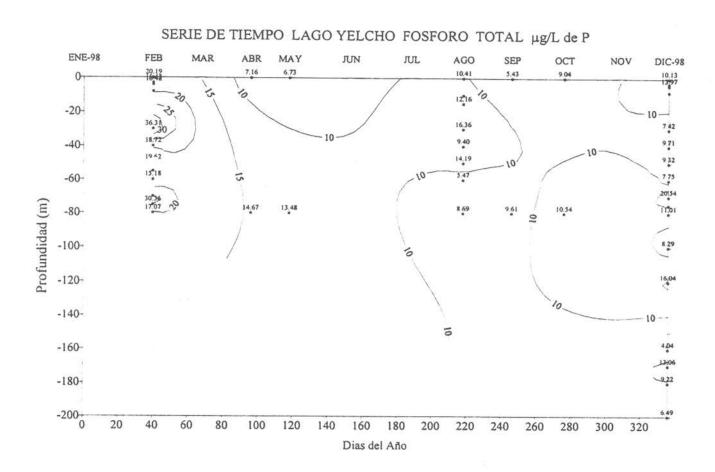


Figura 176 b. Variación temporal anual de Fósforo Total en el lago Yelcho.

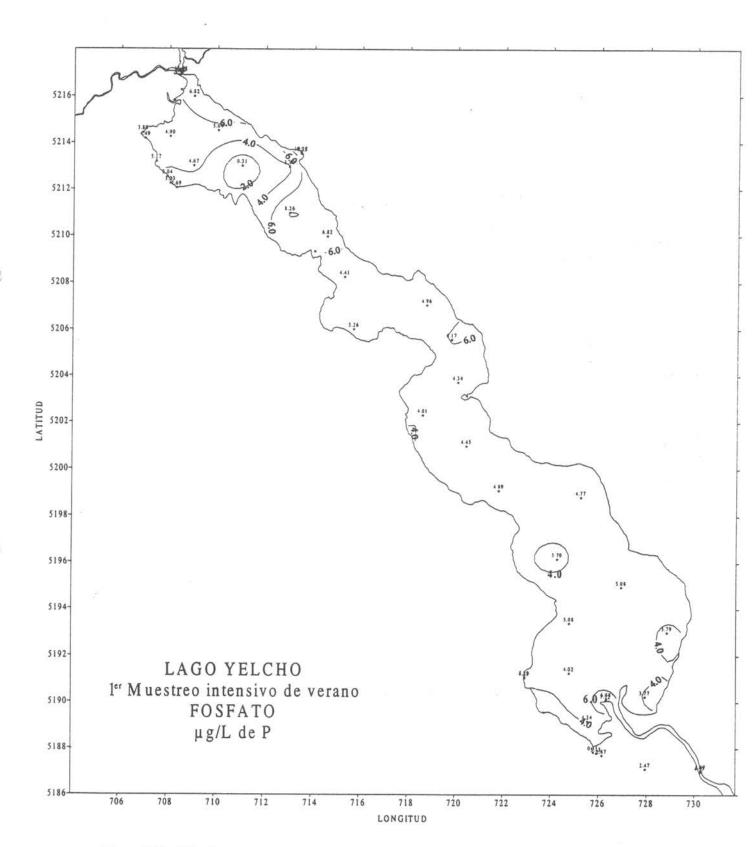


Figura 177 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

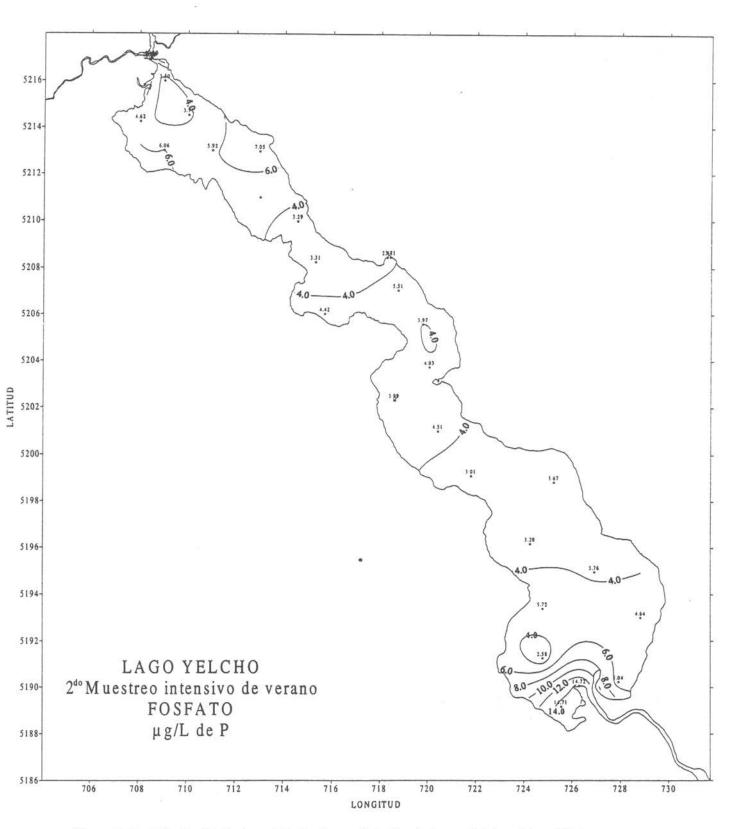


Figura 178 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

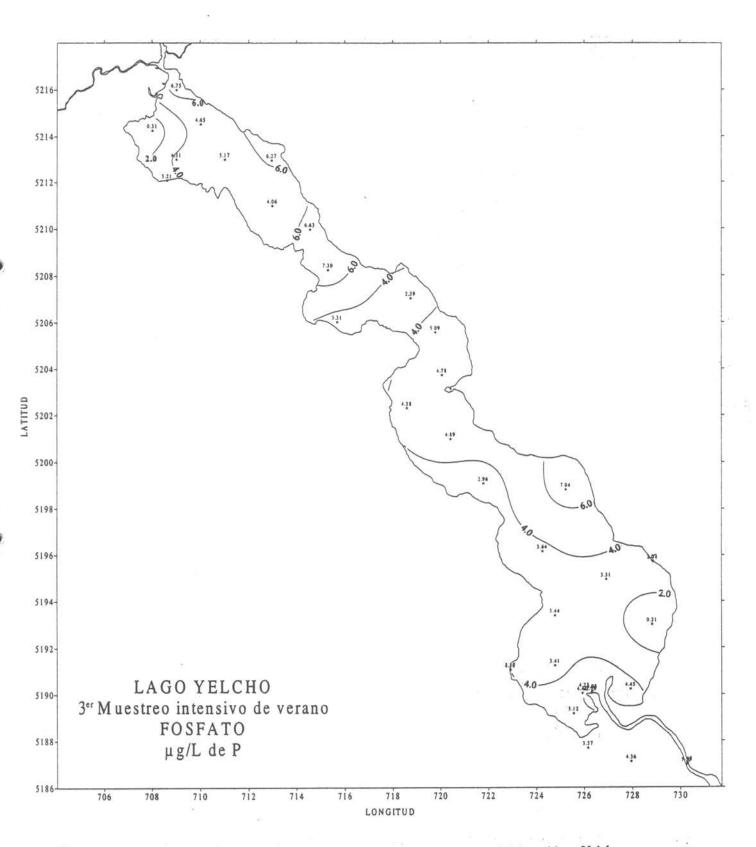
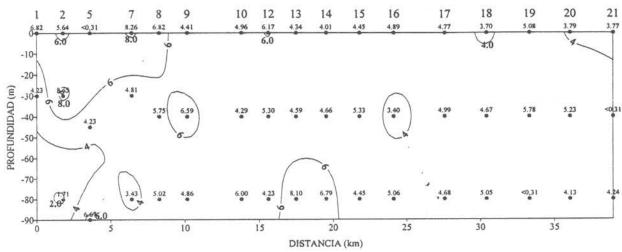
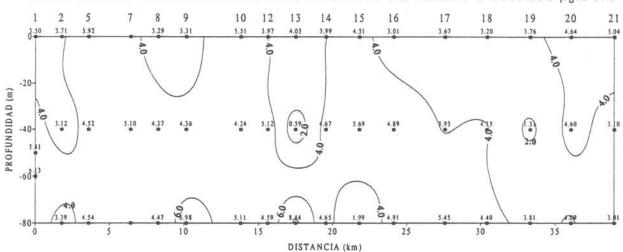


Figura 179 Distribución horizontal de Fosfato μg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.





LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFATO µg/L de P



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 FOSFATO µg/L de P

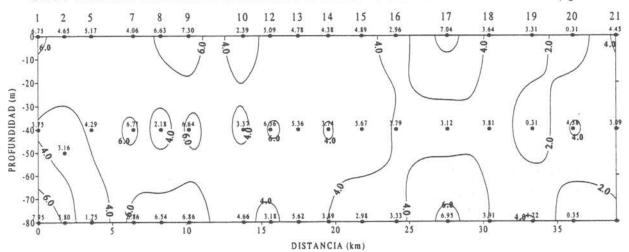


Figura 180 Sección vertical Nº1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho.

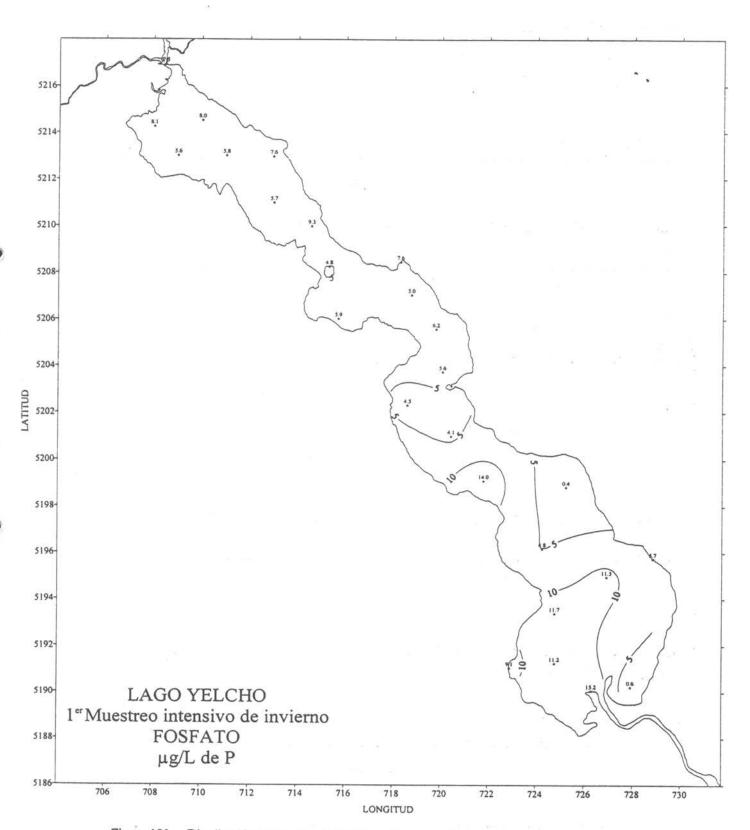


Figura 181 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

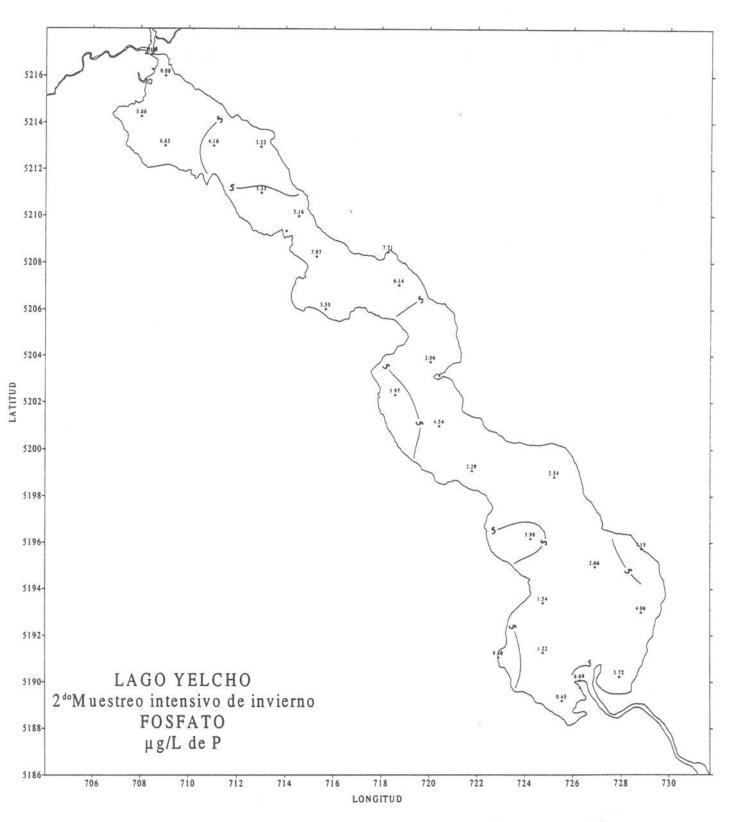


Figura 182 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.



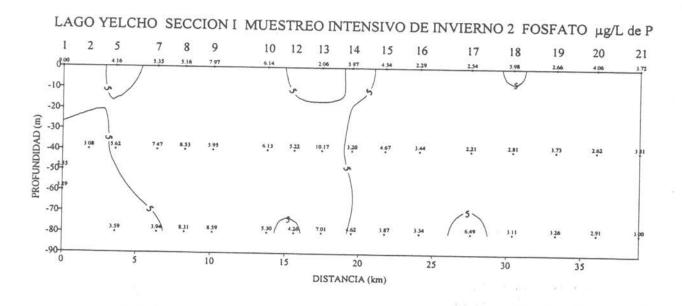


Figura 183 Sección vertical Nº1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho.

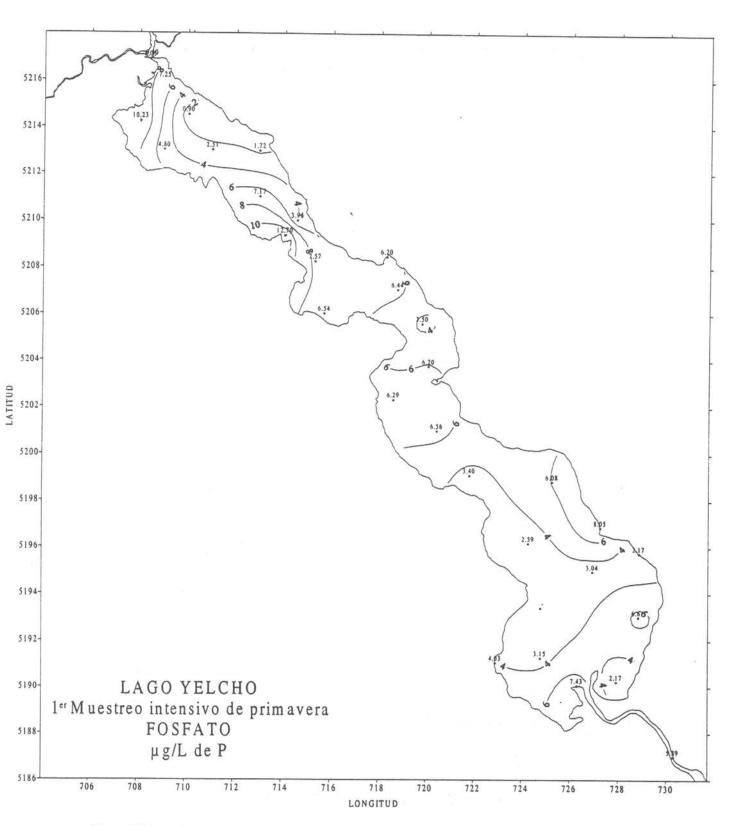


Figura 184 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.

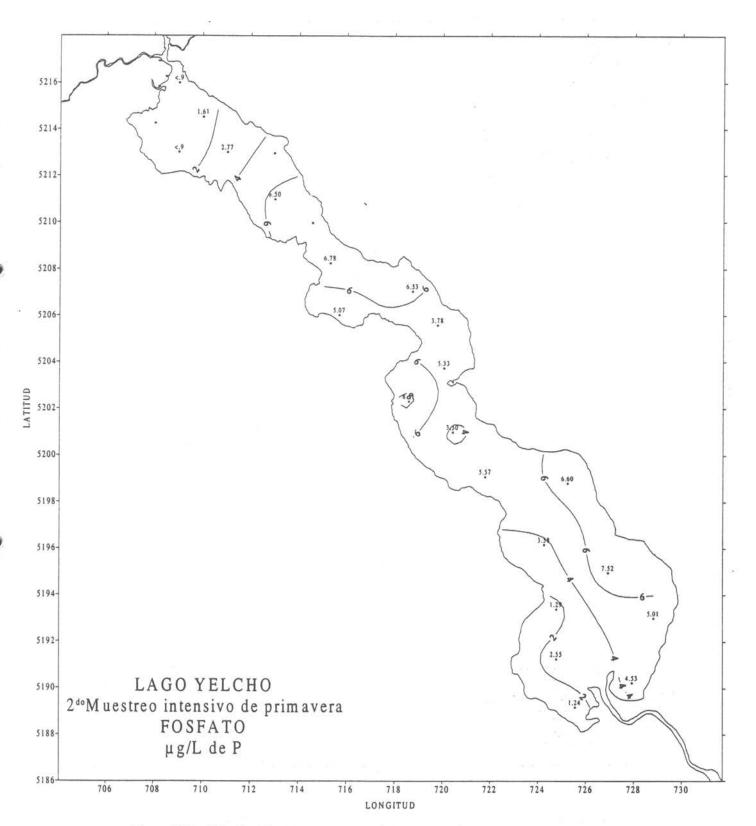
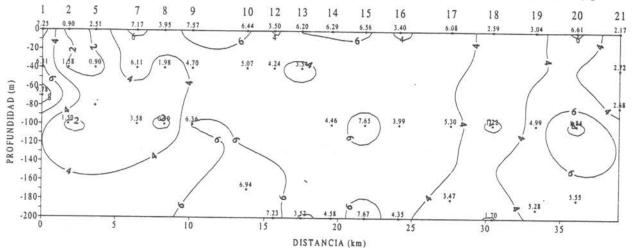


Figura 185 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Yelcho.





LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFATO μg/L de P

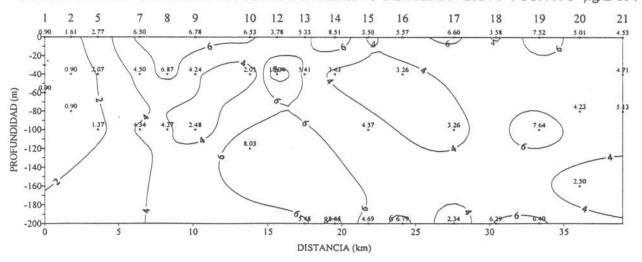


Figura 186 Sección vertical Nº1 de Fosfato µg/L de P en el lago Yelcho.

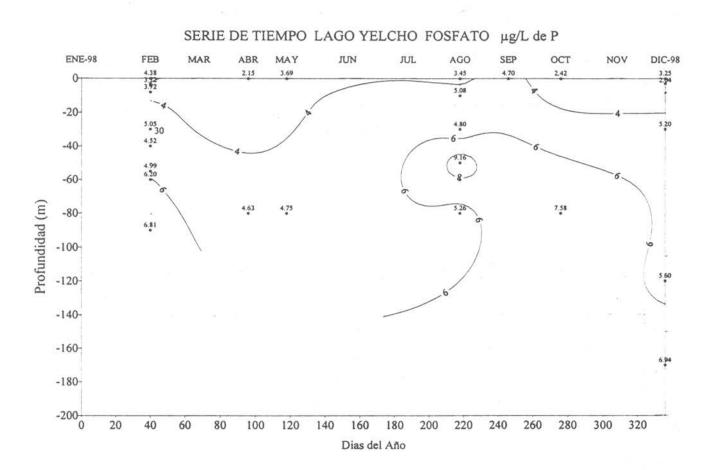


Figura 186 b. Variación temporal anual de Fosfato en el lago Yelcho.

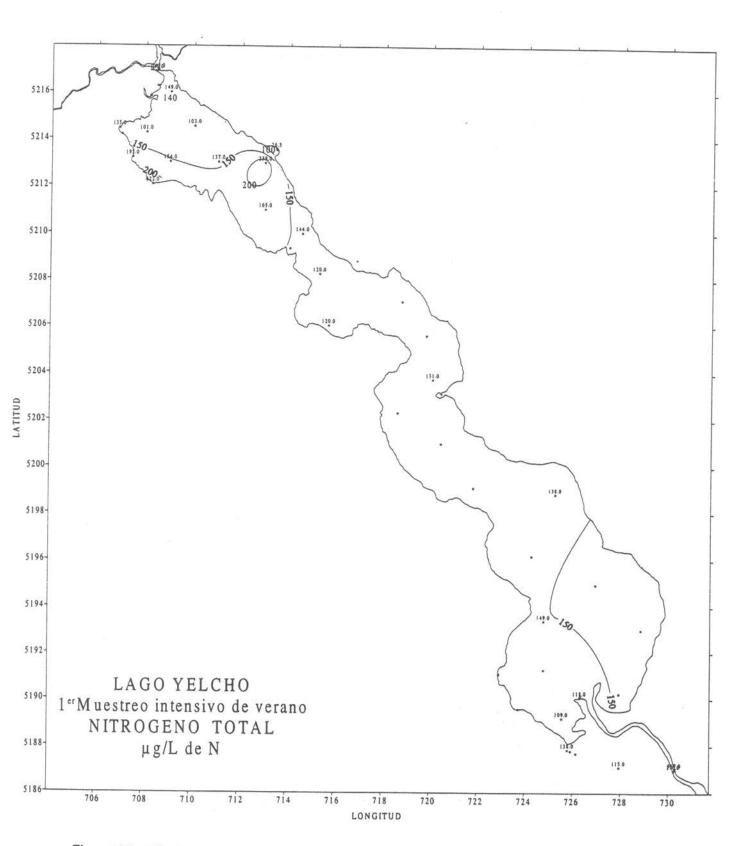


Figura 187 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

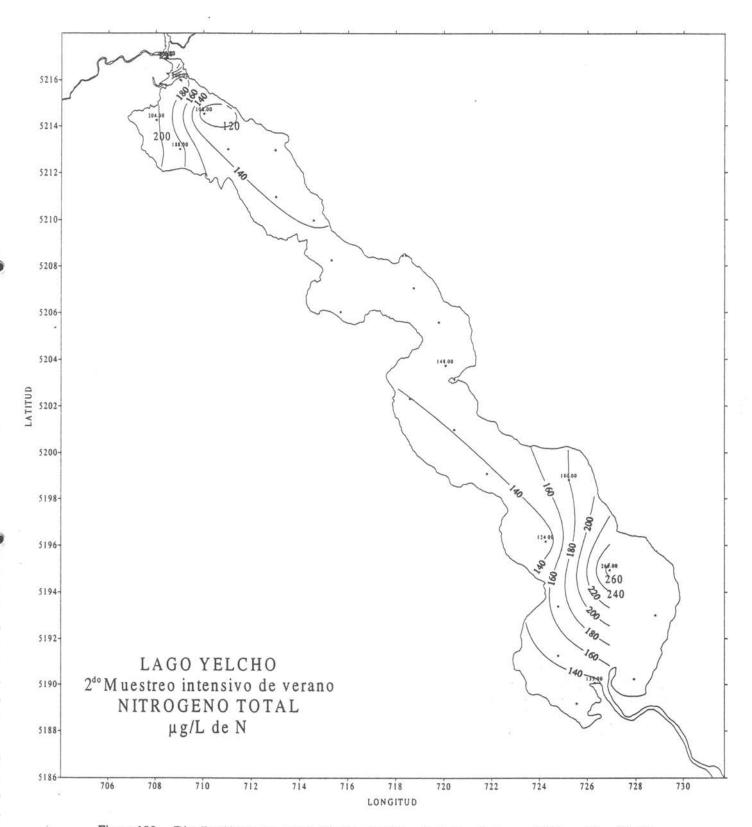


Figura 188 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

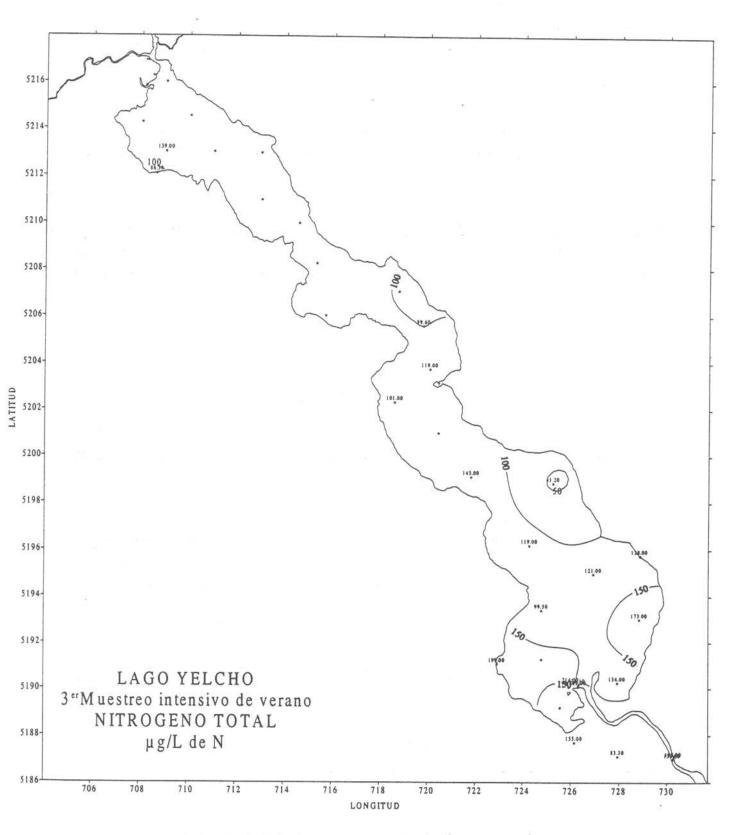
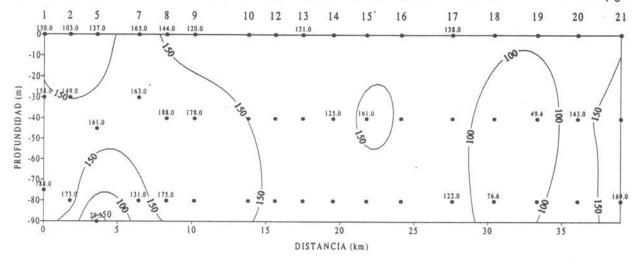
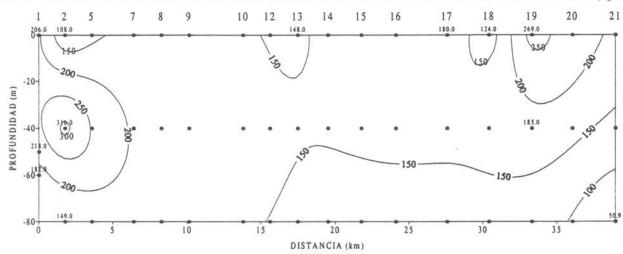


Figura 189 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 NITROGENO TOTAL µg/L de N

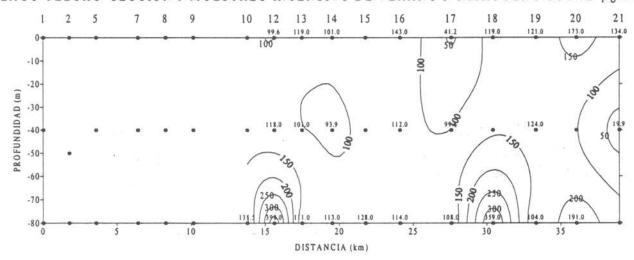


Figura 190 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Yelcho.

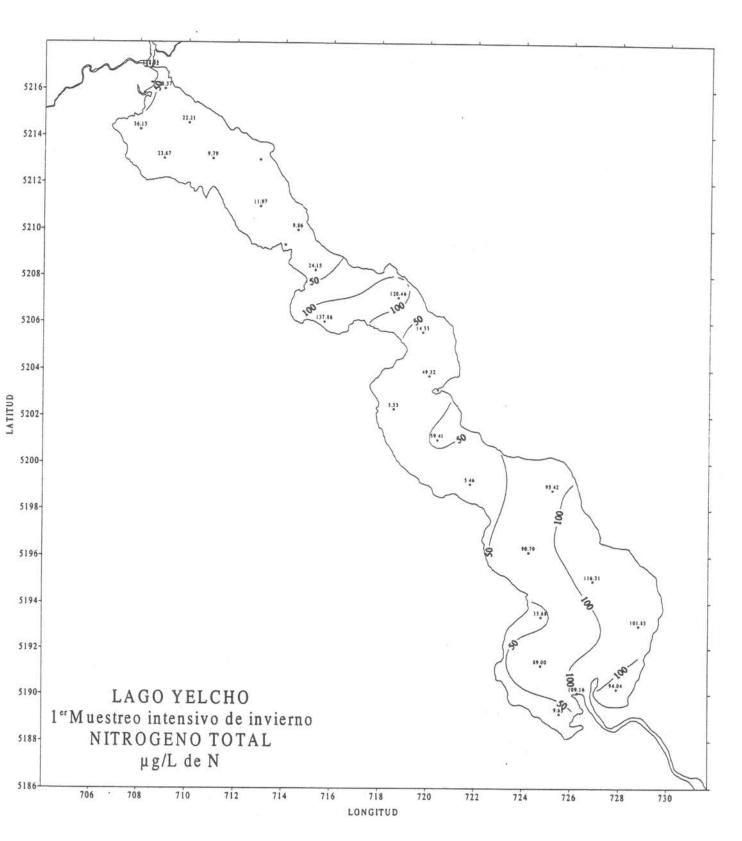


Figura 191 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

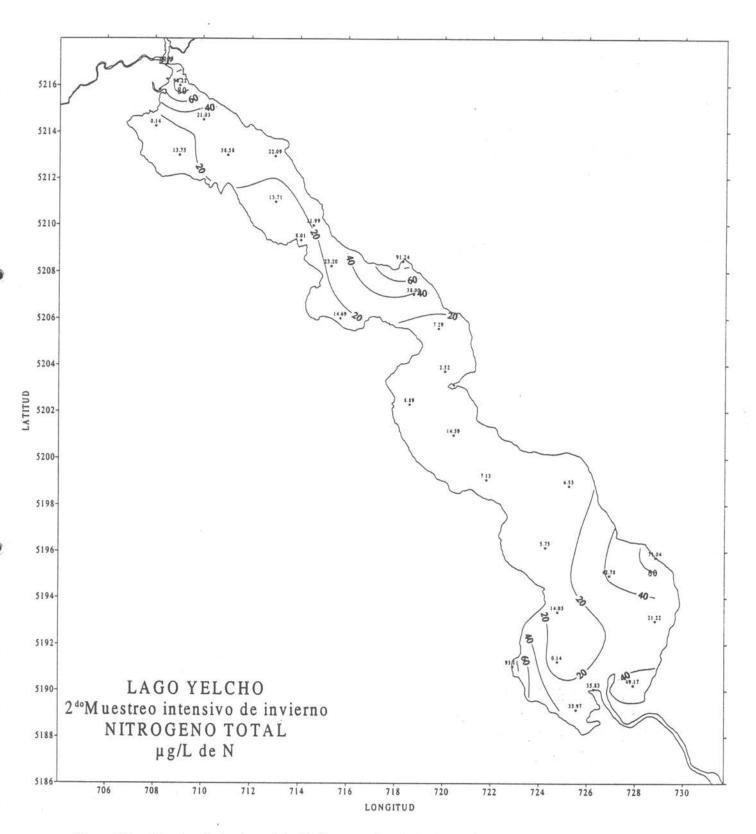
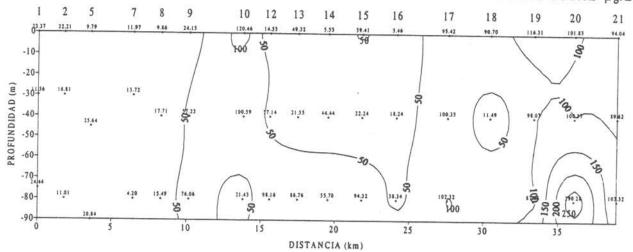


Figura 192 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 NITROGENO TOTAL µg/L de



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de

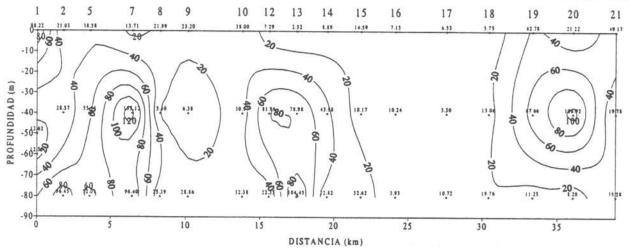


Figura 193 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Yelcho.

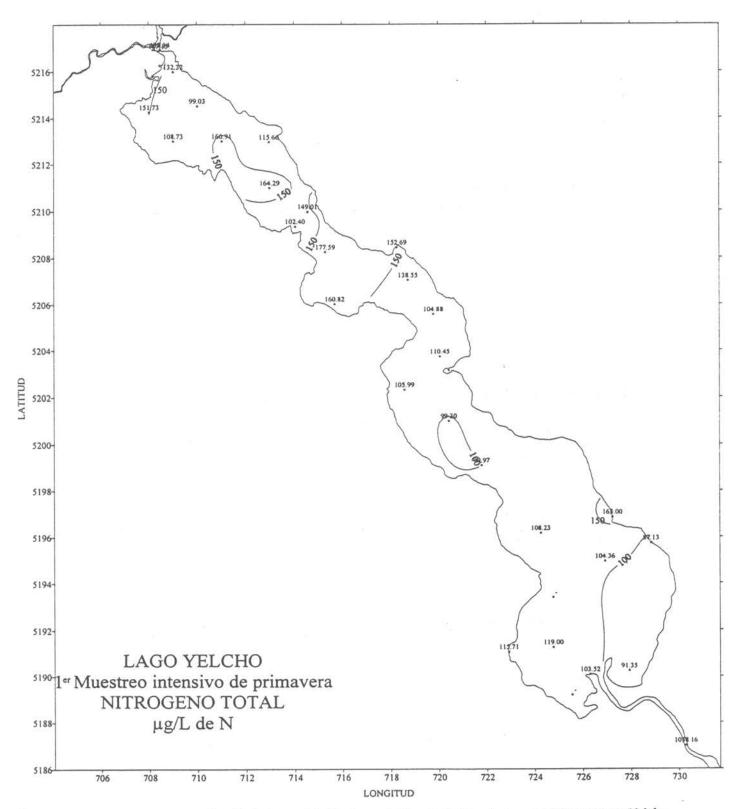


Figura 194 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

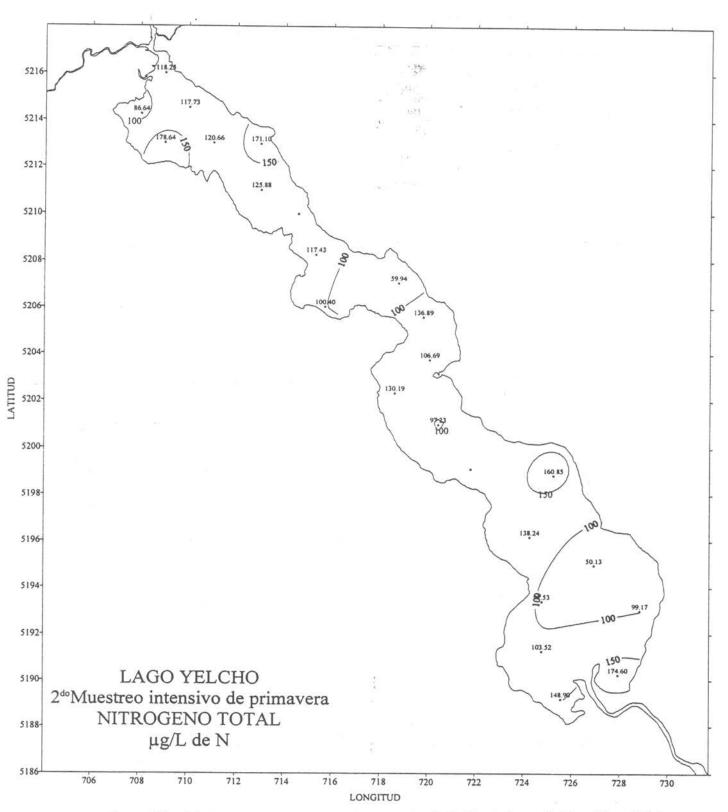
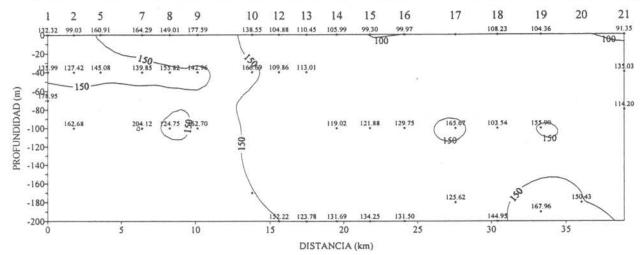


Figura 195 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITROGENO TOTAL μg/L de N

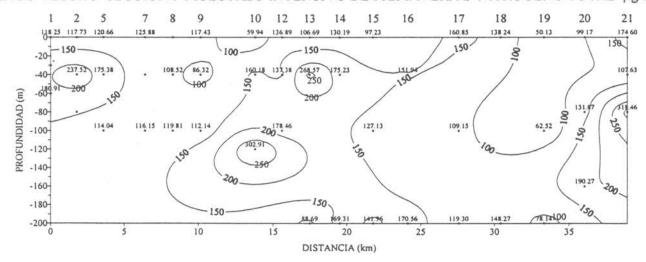


Figura 196 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Yelcho.

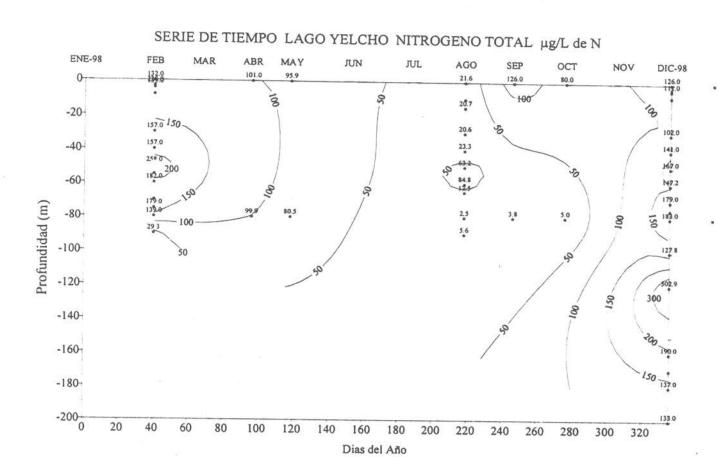


Figura 196 b. Variación temporal anual de Nitrógeno Total en el lago Yelcho.

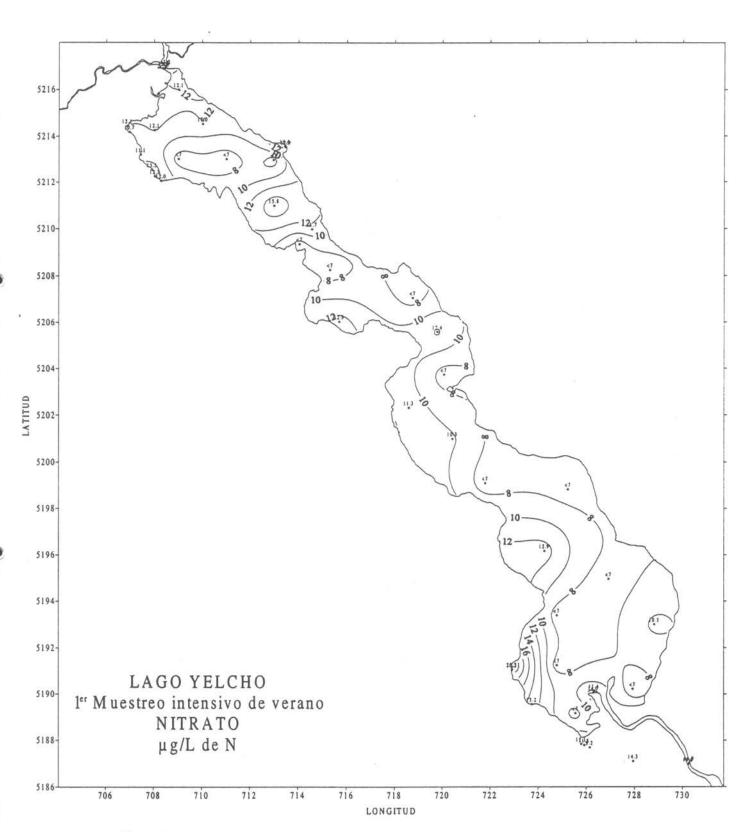


Figura 197 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

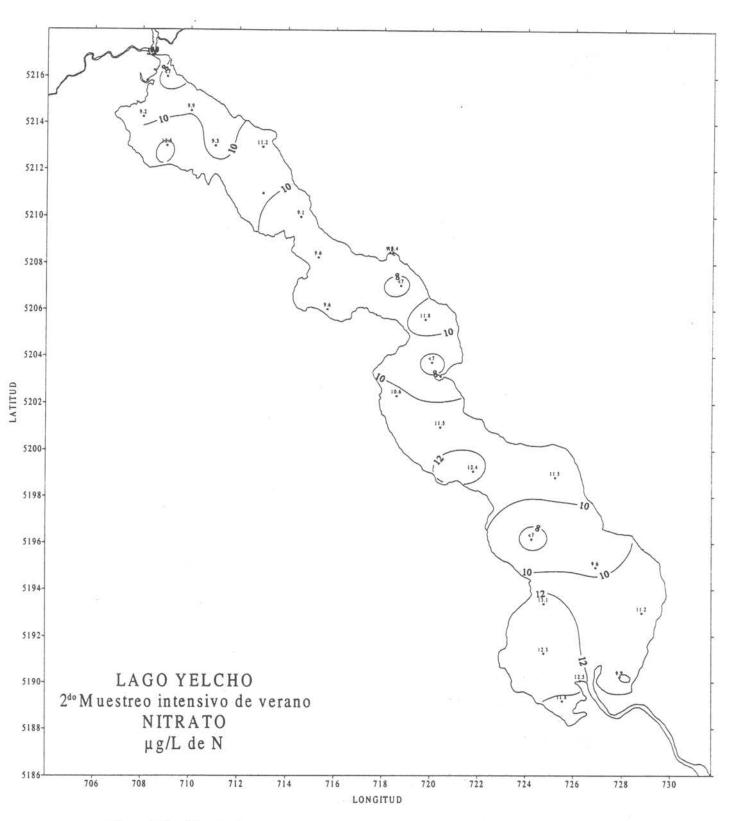


Figura 198 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

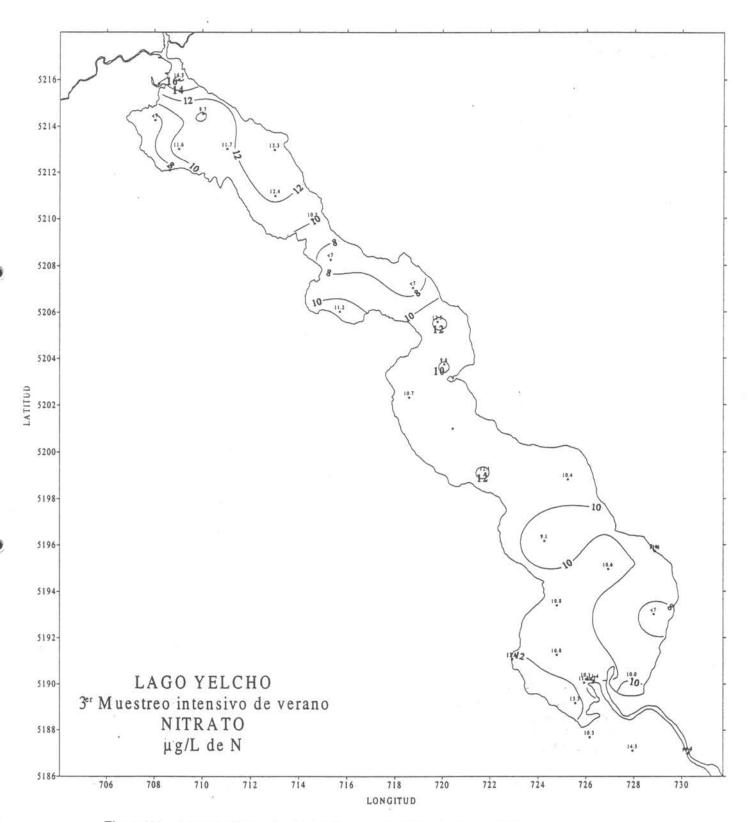
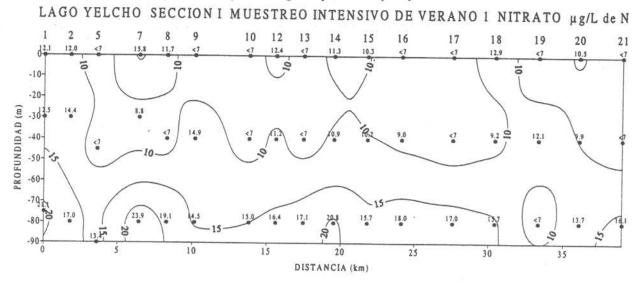
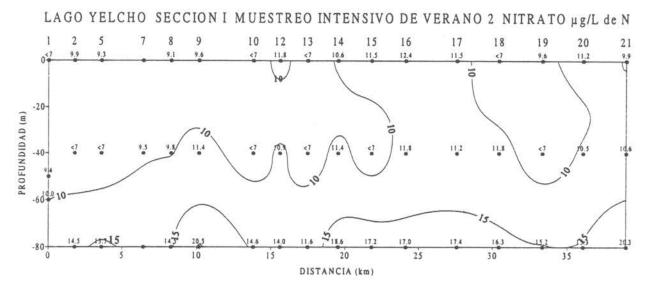


Figura 199 Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.





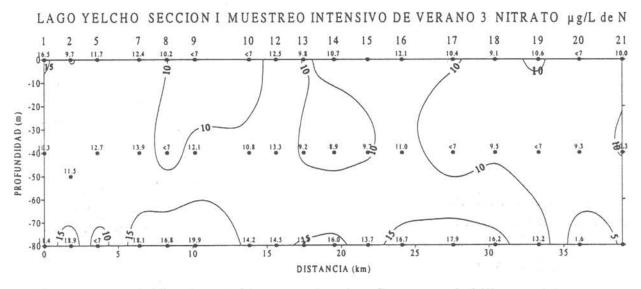


Figura 200 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho.

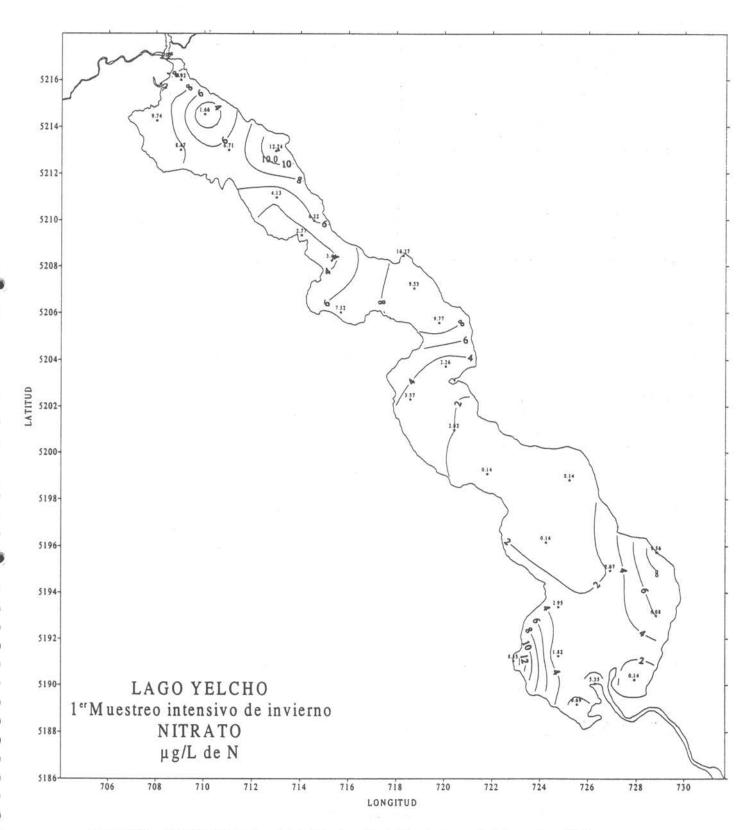


Figura 201 Distribución horizontal de Nitrato μ g/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

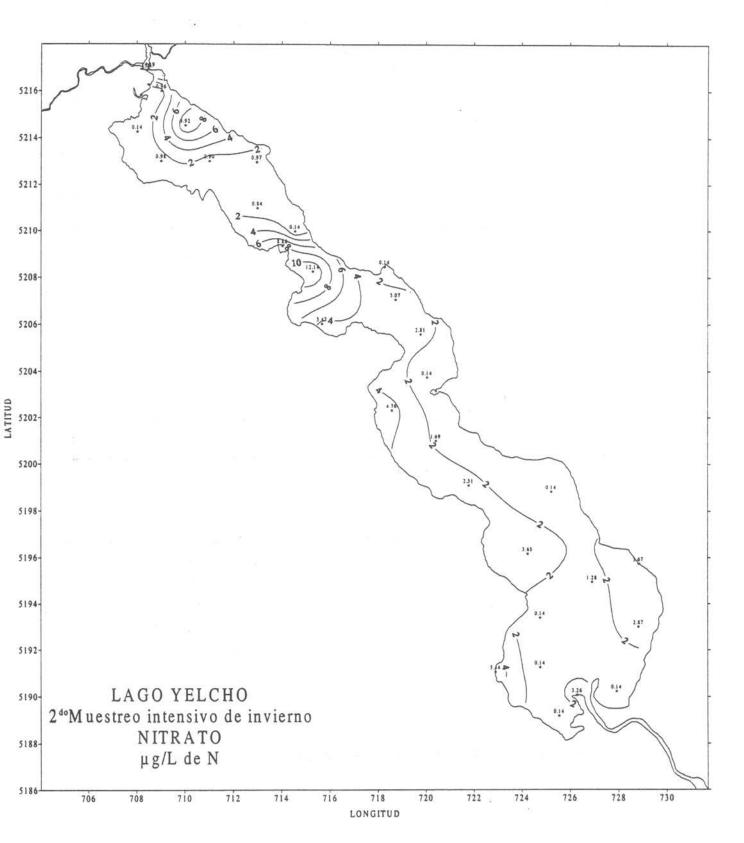
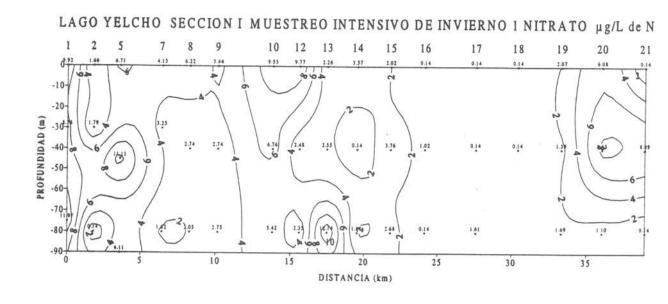


Figura 202 Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.



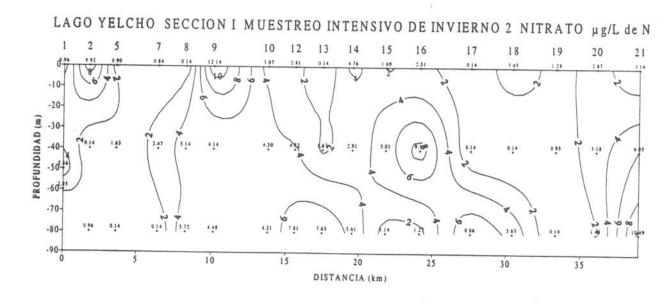


Figura 203 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho.

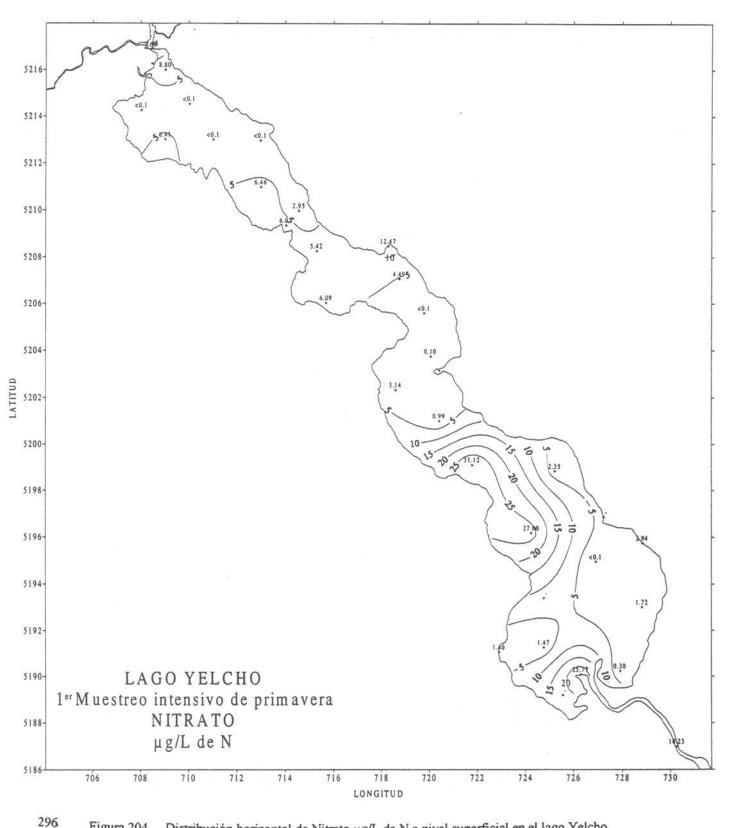


Figura 204 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

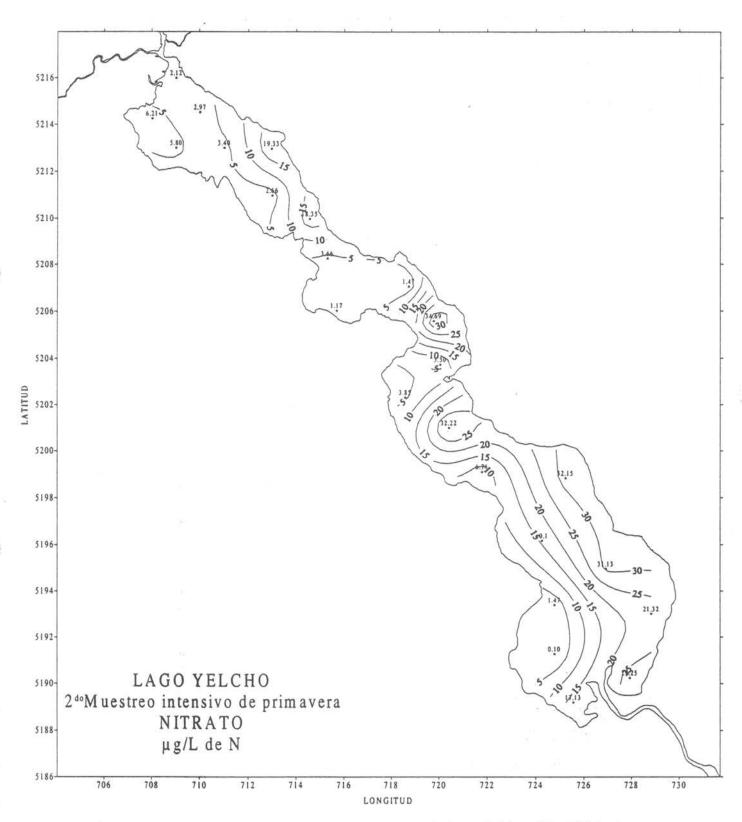
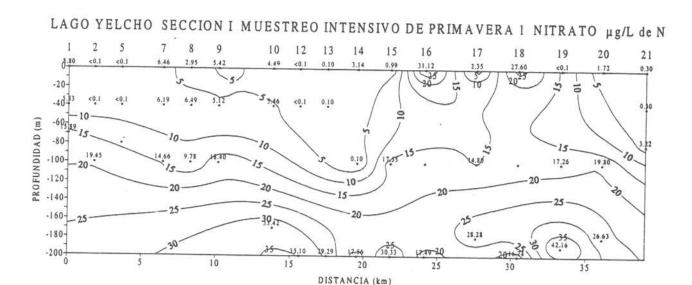


Figura 205 Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.



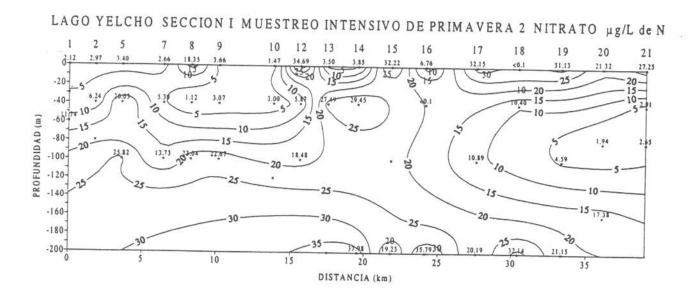


Figura 206 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Yelcho.

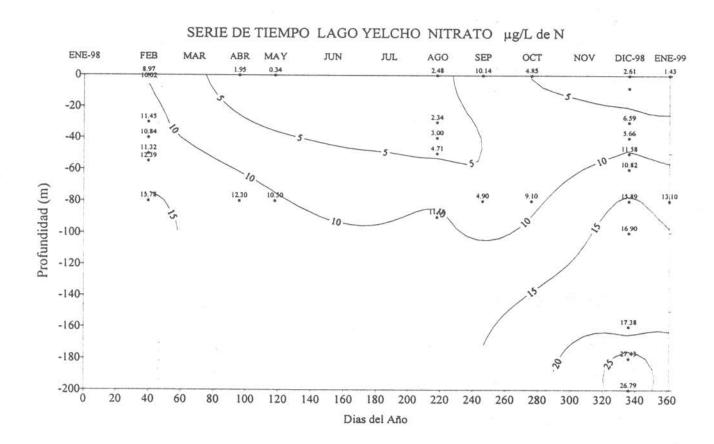


Figura 206 b. Variación temporal anual de Nitrato en el lago Yelcho.

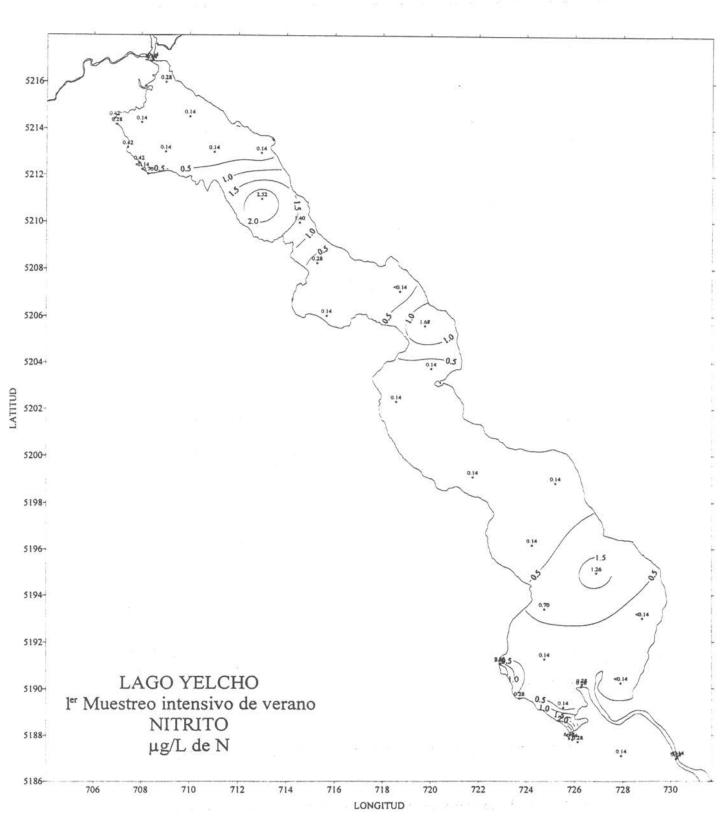


Figura 207. Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

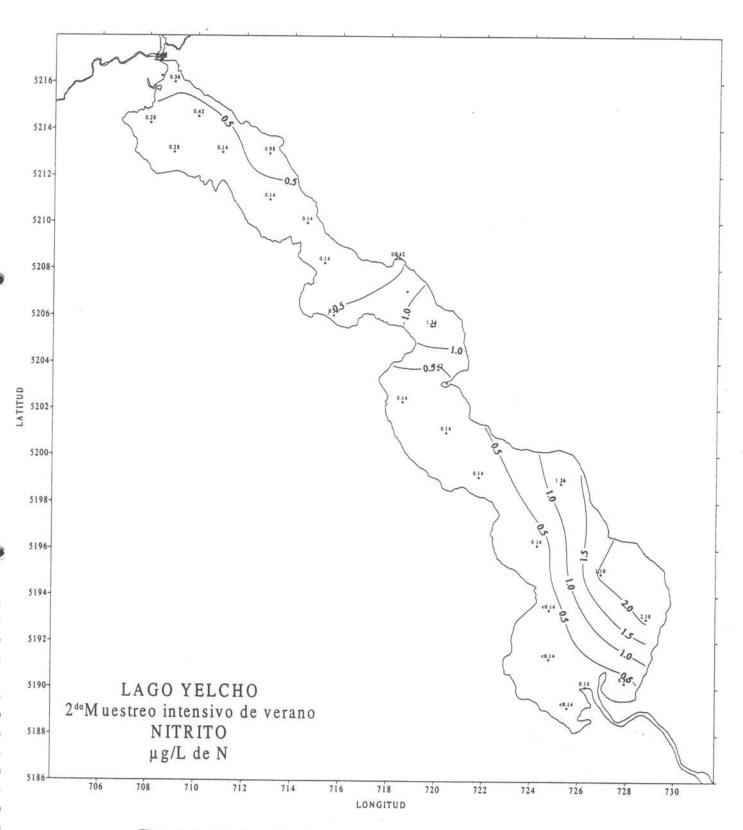


Figura 208 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

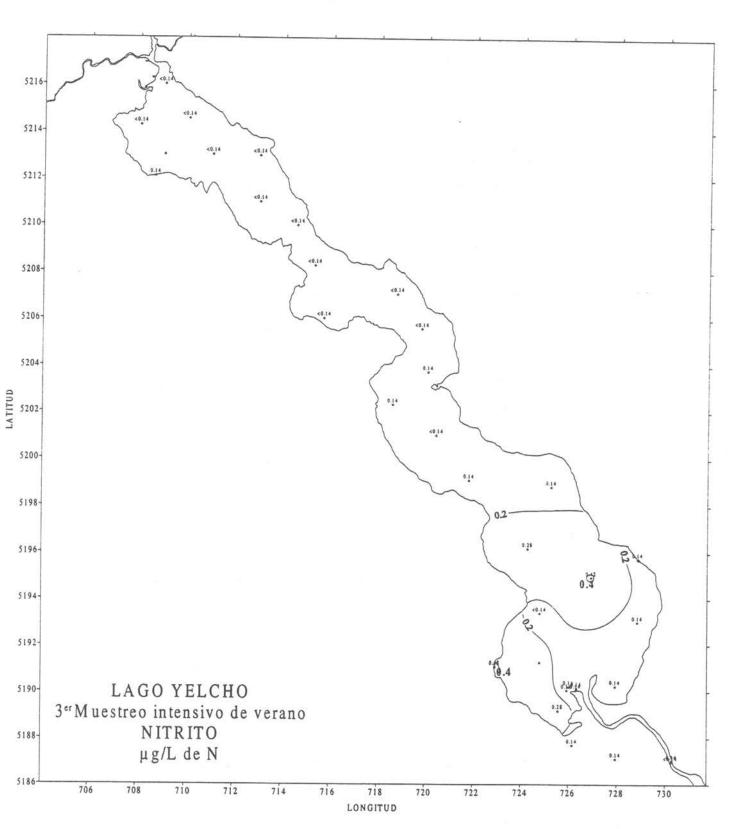
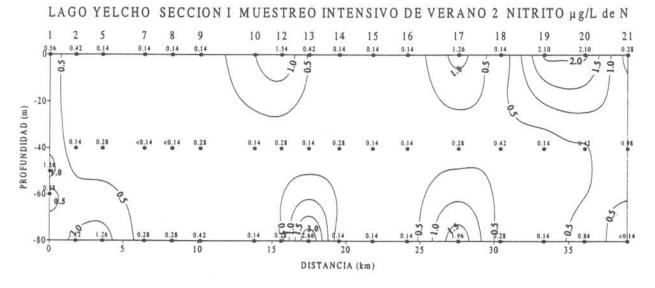


Figura 209 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.





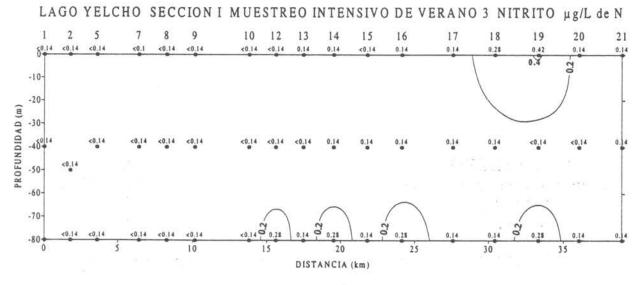


Figura 210 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho.

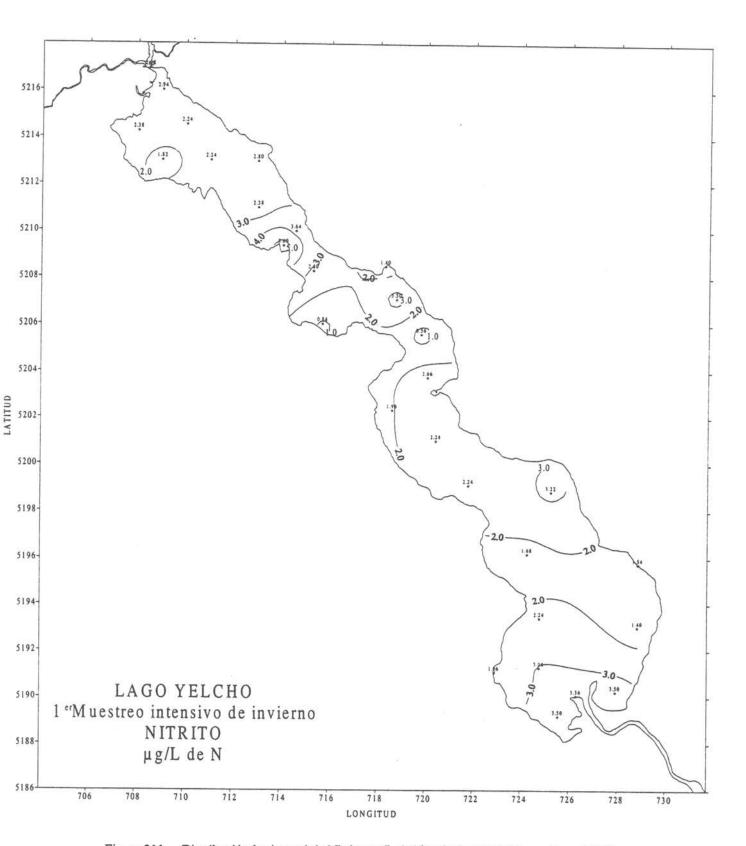


Figura 211 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

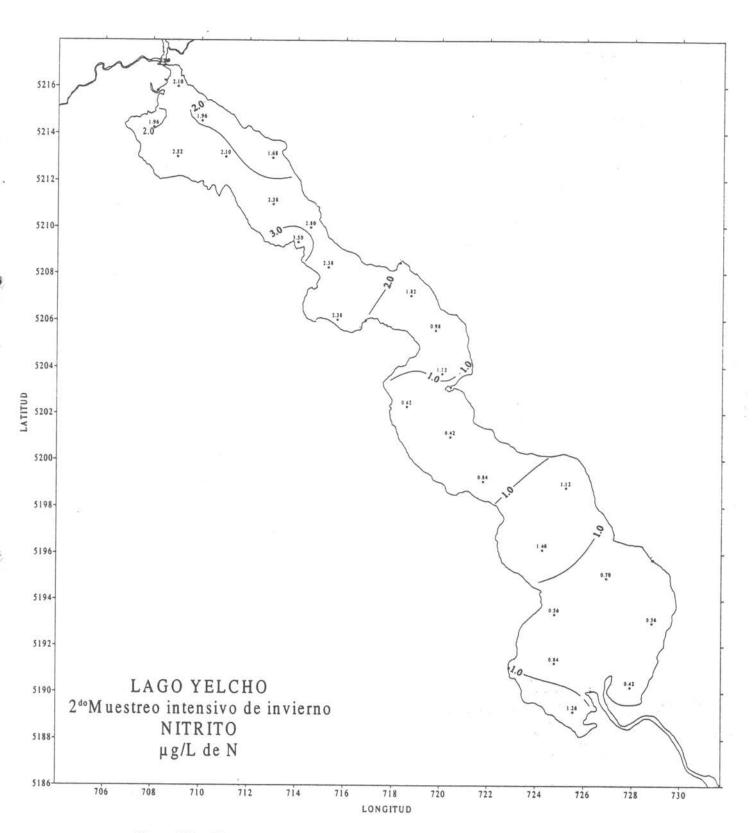


Figura 212 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

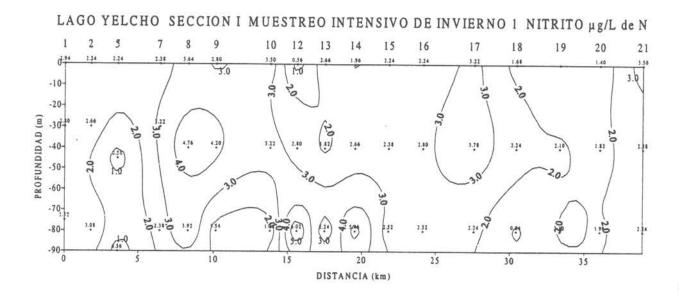




Figura 213 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho.

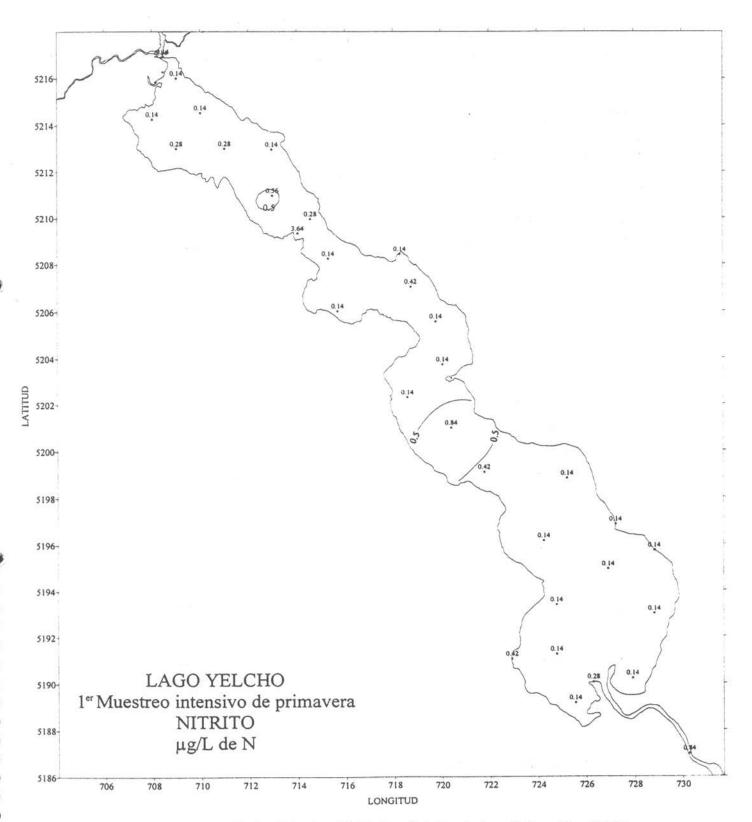


Figura 214. Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

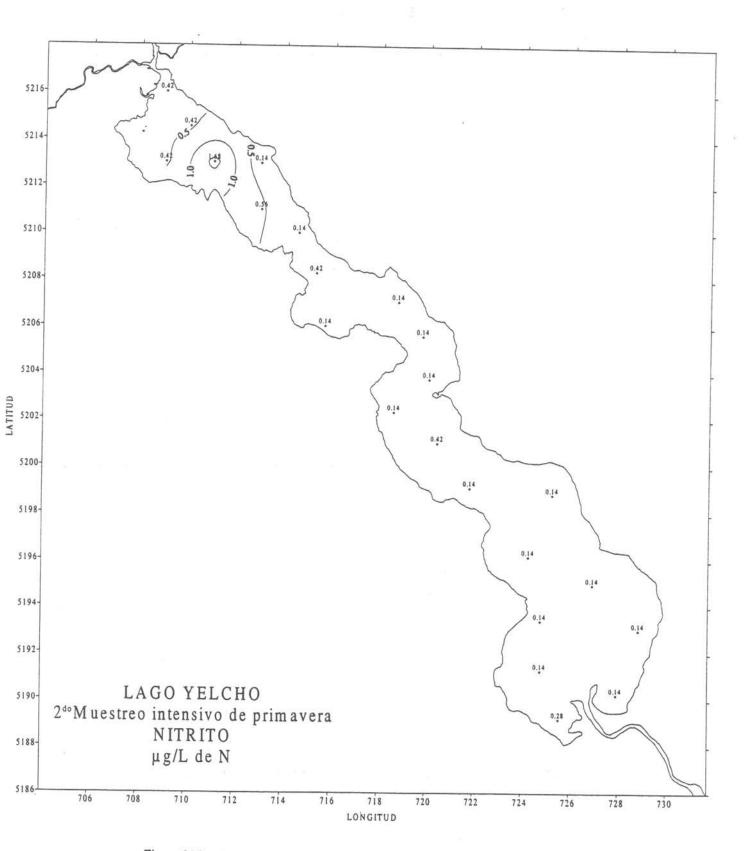
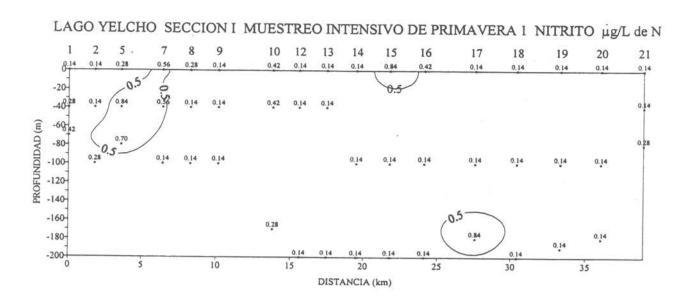


Figura 215 Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.



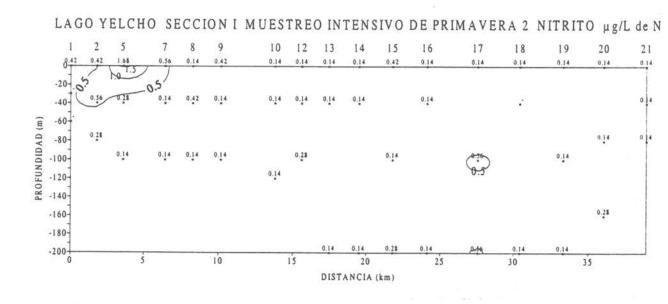


Figura 216 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Yelcho.

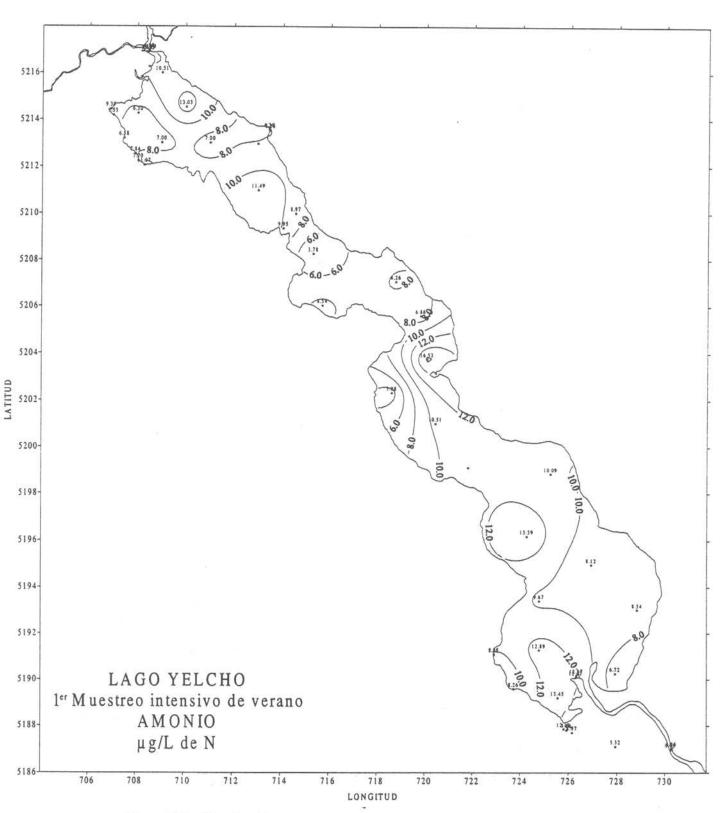
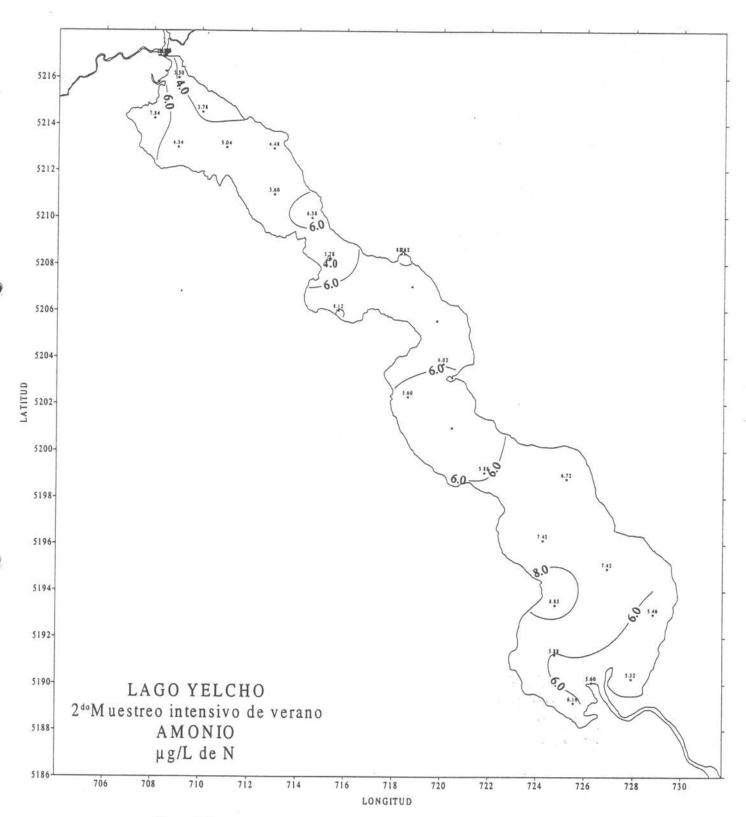


Figura 217 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.



Distribución horizontal de Amonio $\mu g/L$ de N a nivel superficial en el lago Yelcho. Figura 218

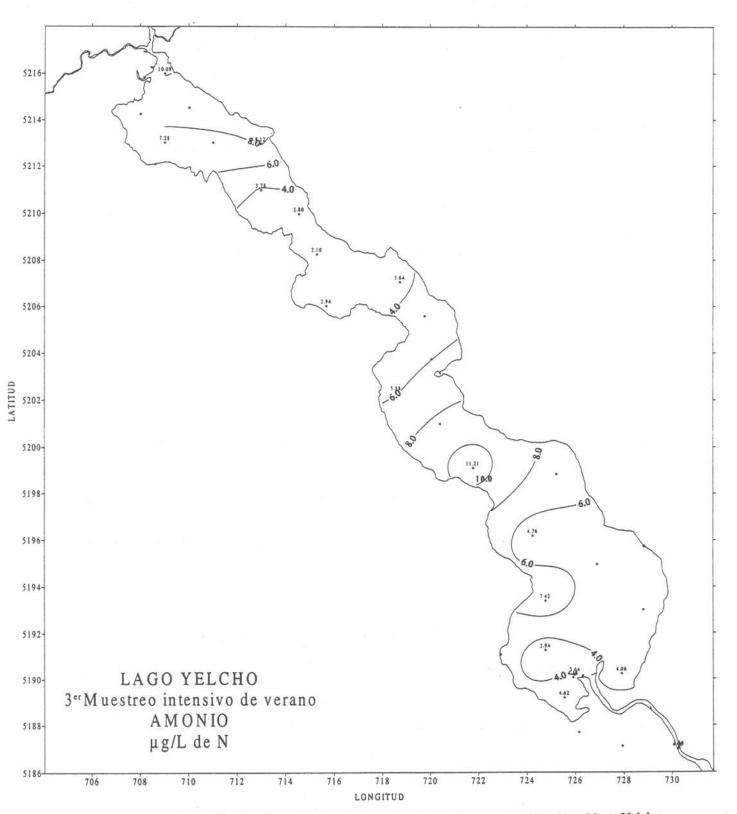
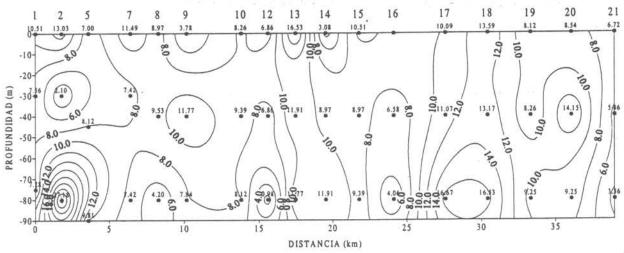
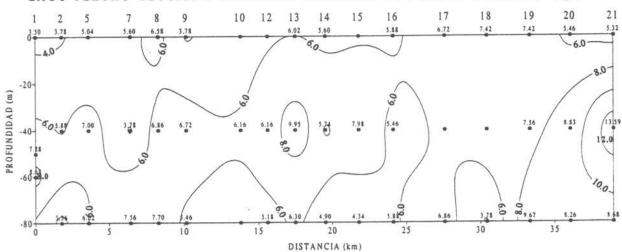


Figura 219 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.





LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 AMONIO µg/L de N



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 AMONIO µg/L de N

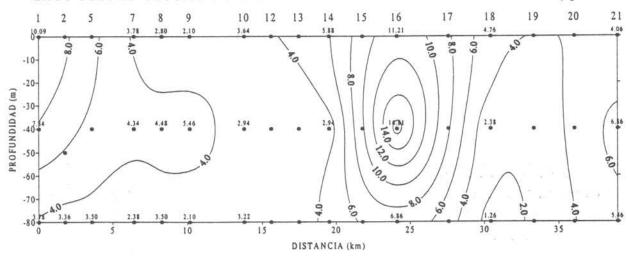


Figura 220 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago Yelcho.

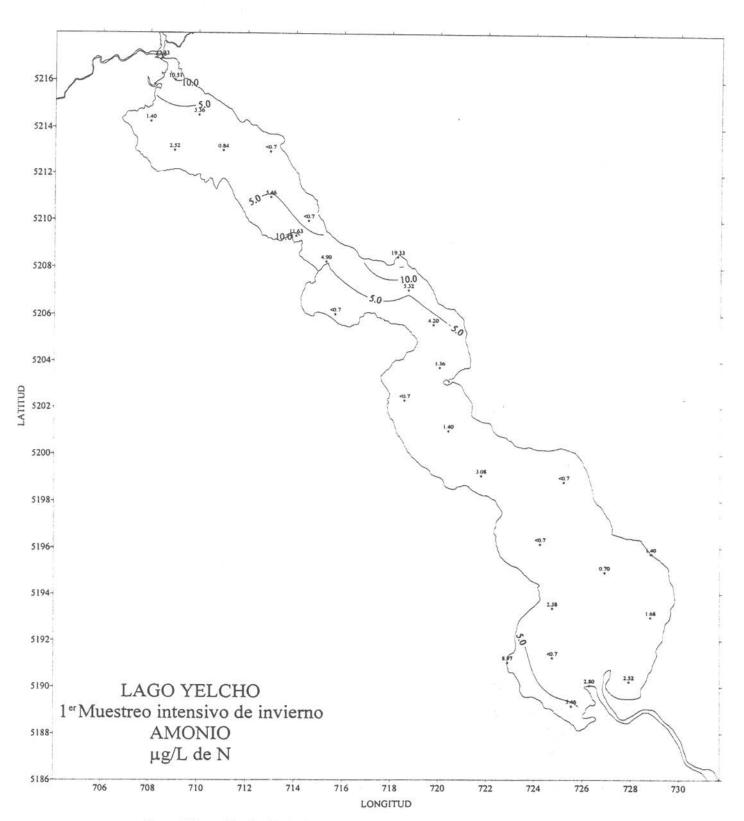


Figura 221. Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

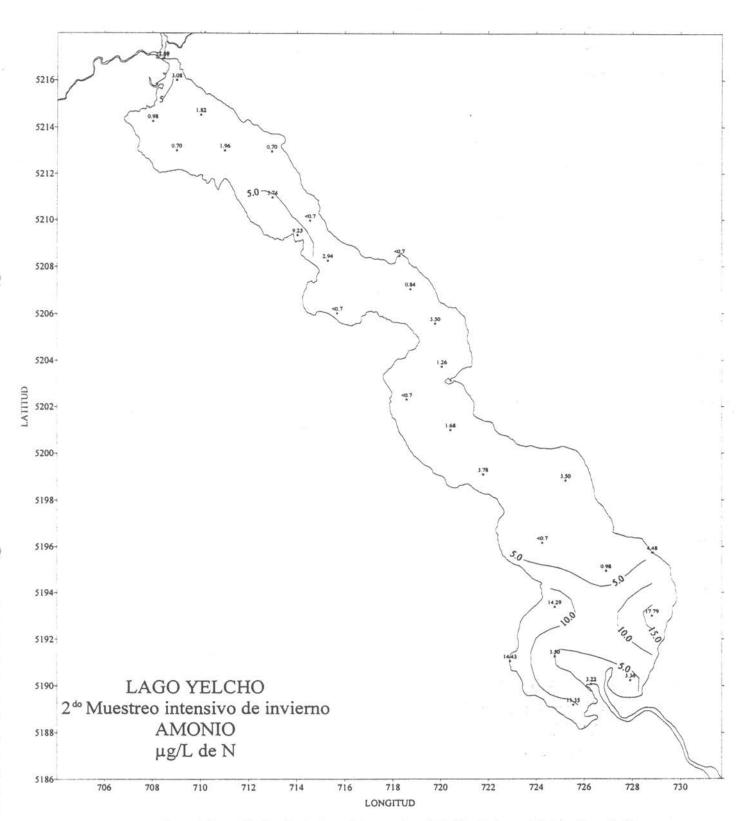


Figura 222. Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

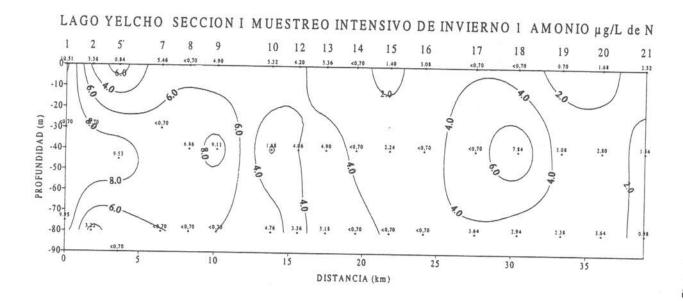




Figura 223 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago Yelcho.

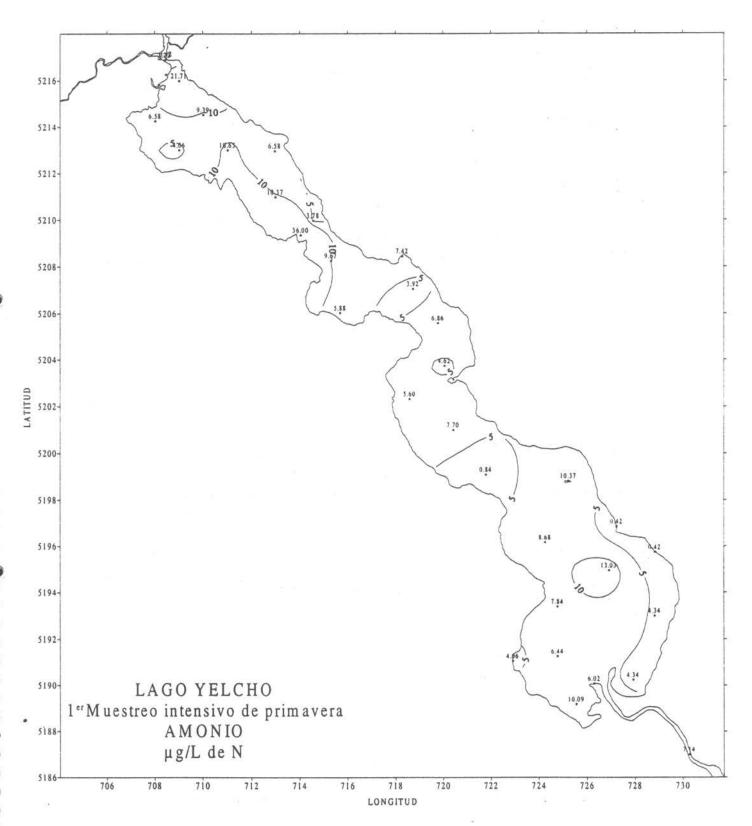


Figura 224 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.

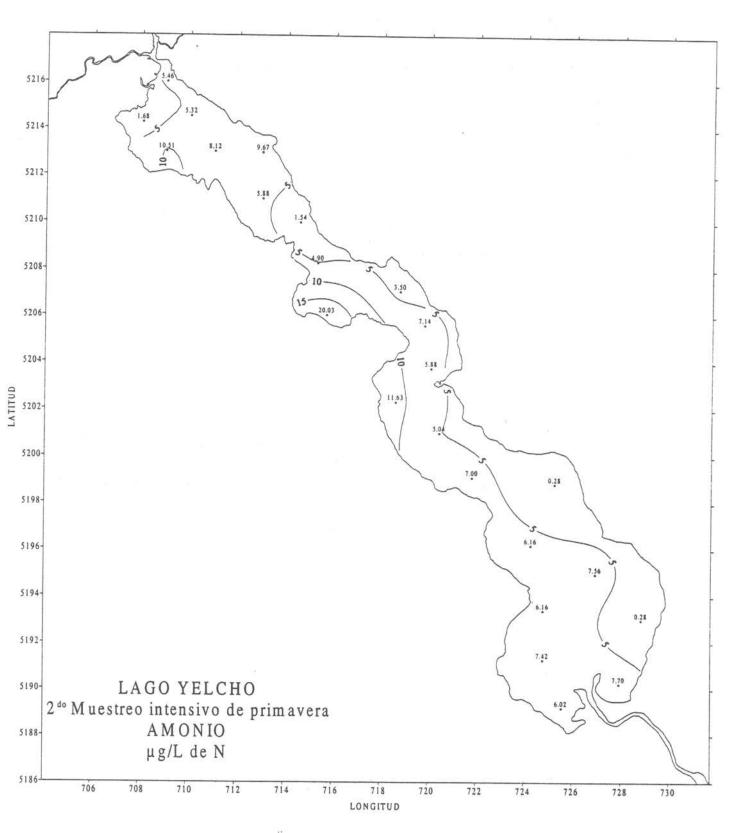
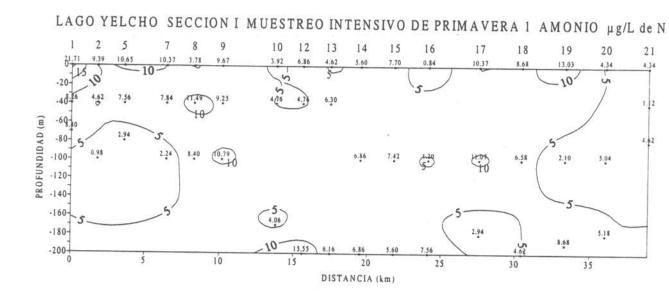


Figura 225 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Yelcho.



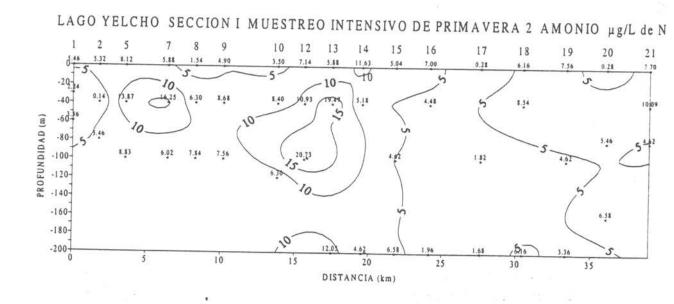


Figura 226 Sección vertical Nº1 de Amonio μg/L de N en el lago Yelcho.

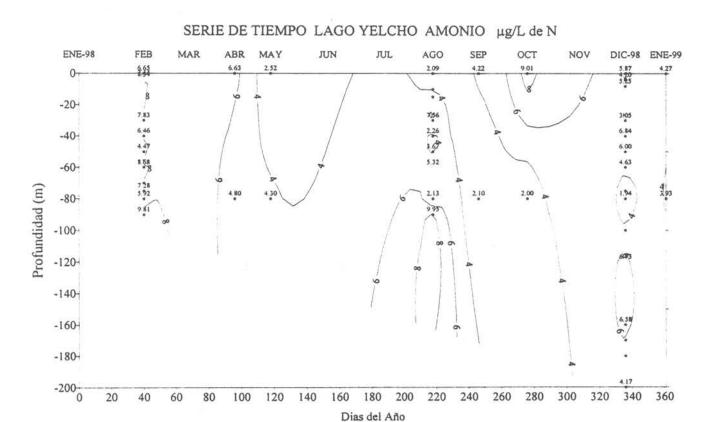


Figura 227. Variación temporal anual de Amonio en el lago Yelcho.

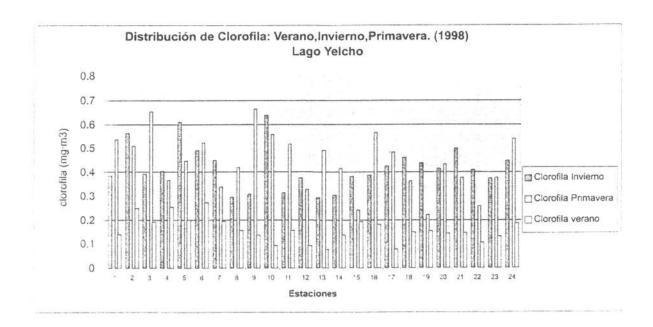


Figura 228 a. Distribución de Clorofila anual en el lago Yelcho

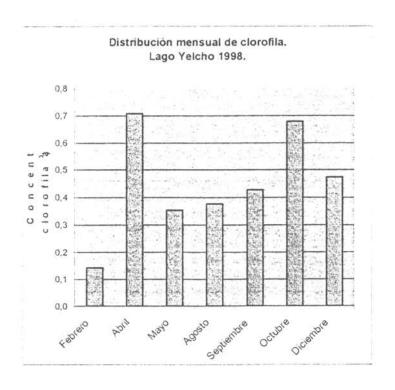


Figura 228 b. Distribución mensual de Clorofila en el lago Yelcho

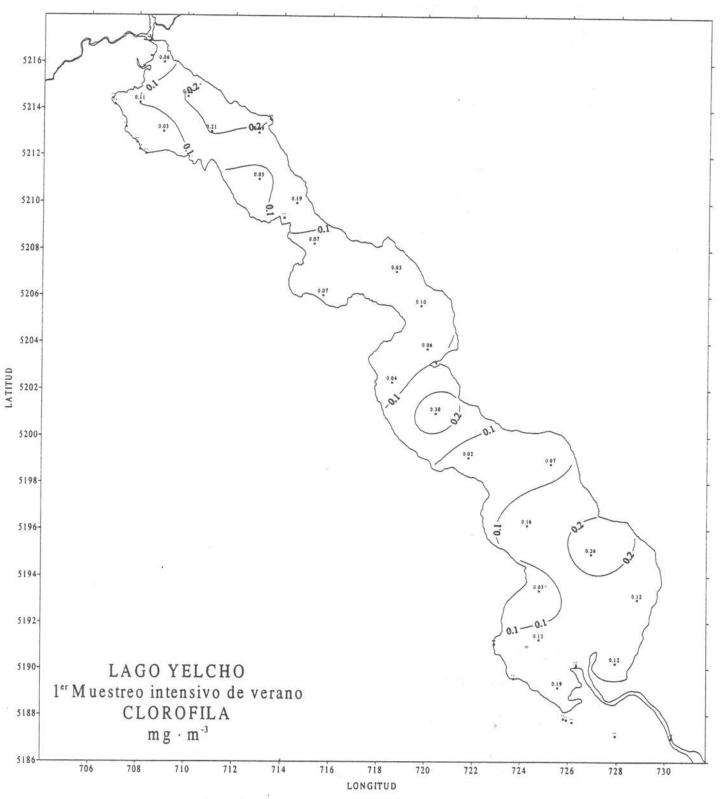


Figura 229 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.

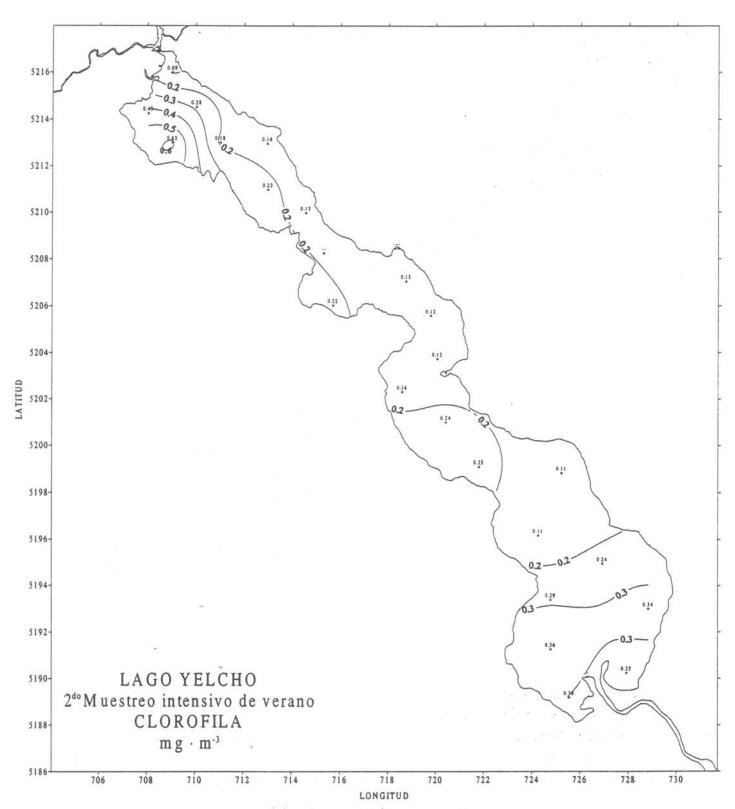


Figura 230 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.

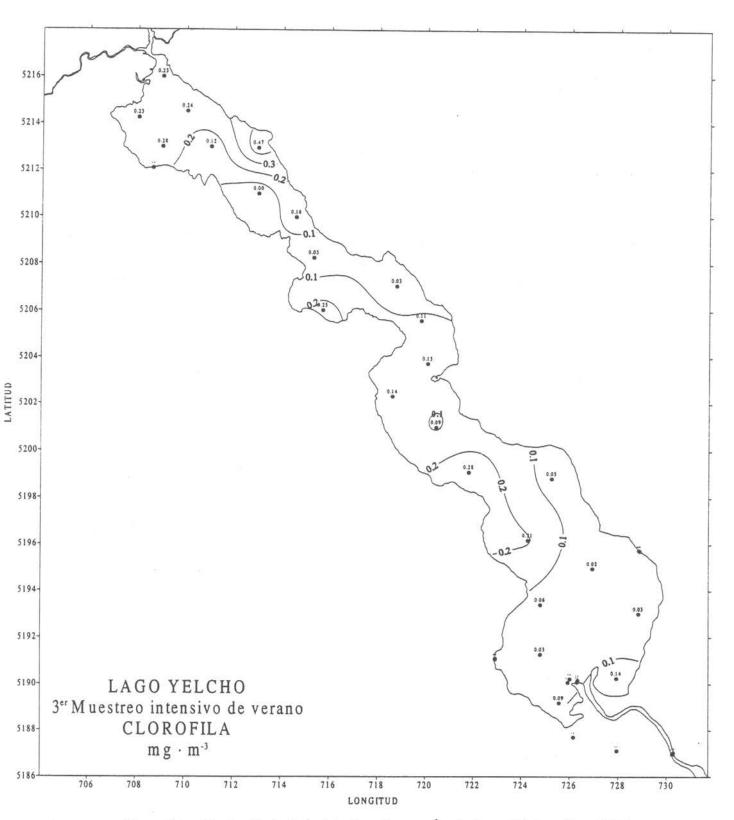
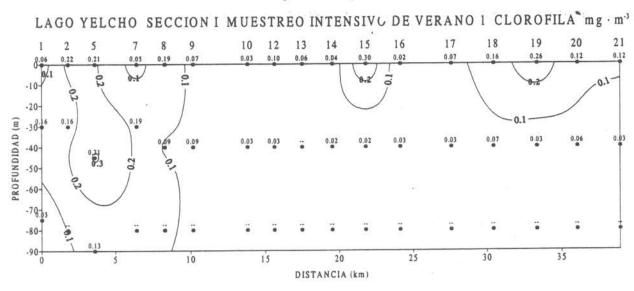
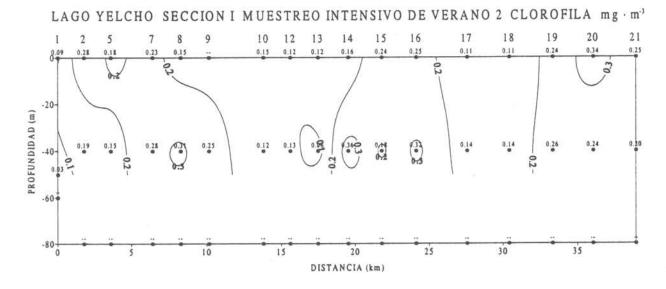


Figura 231 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.





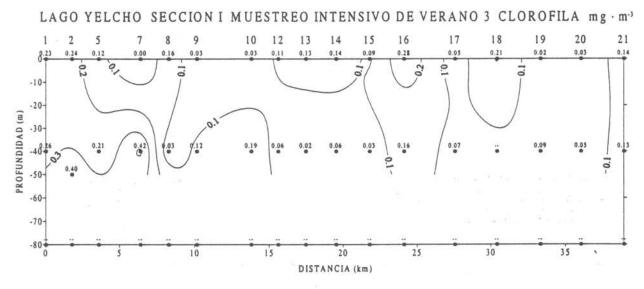


Figura 232 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m³ en el lago Yelcho.

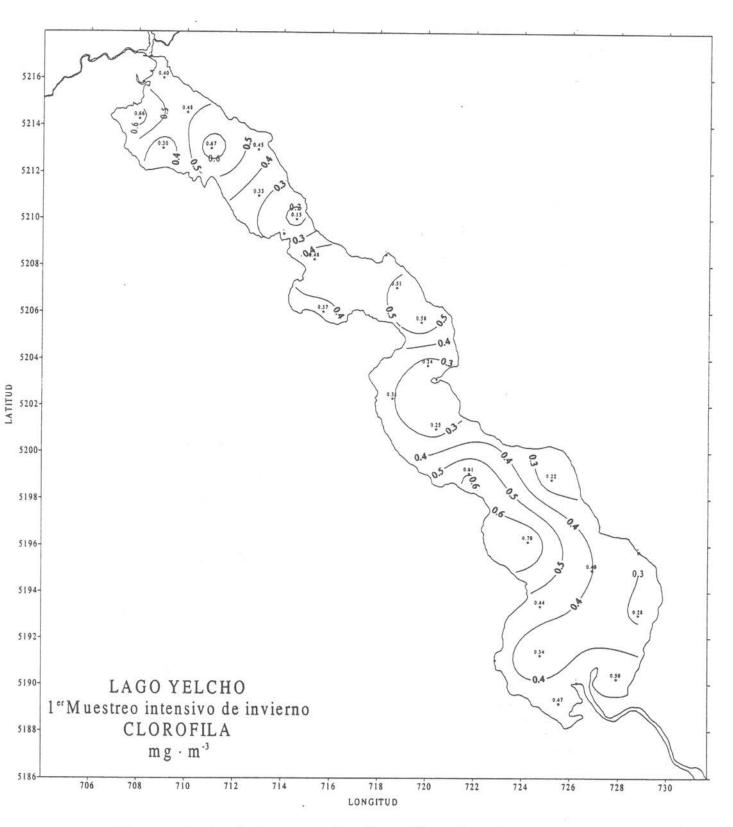


Figura 233 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.

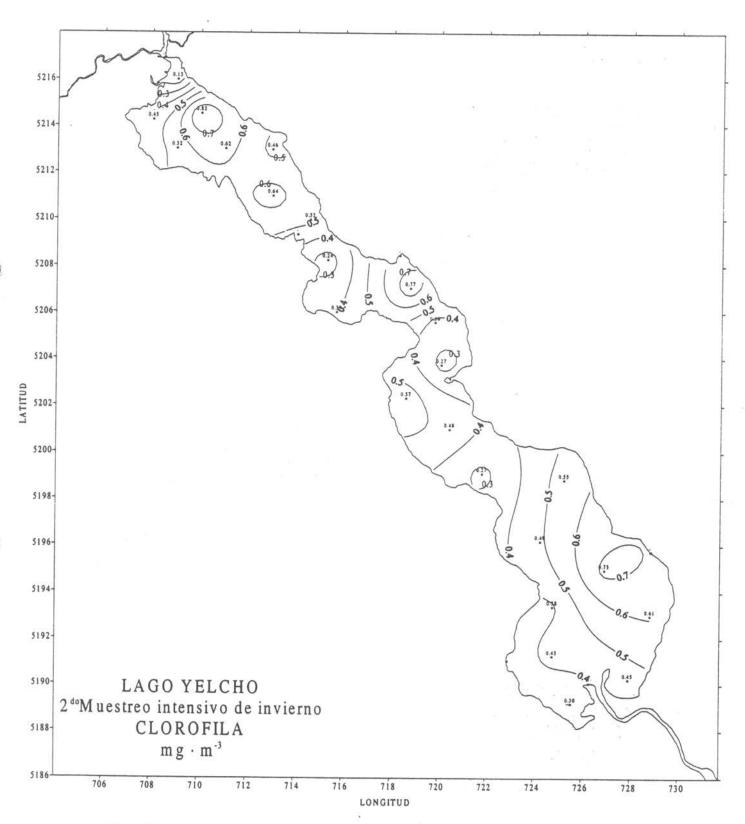
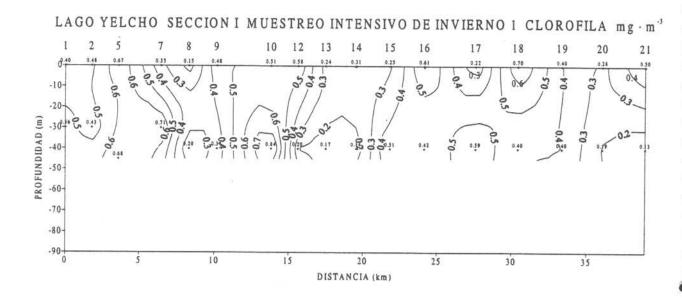


Figura 234 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.



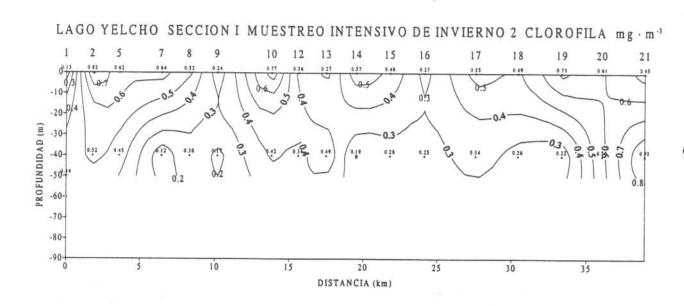


Figura 235 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago Yelcho.

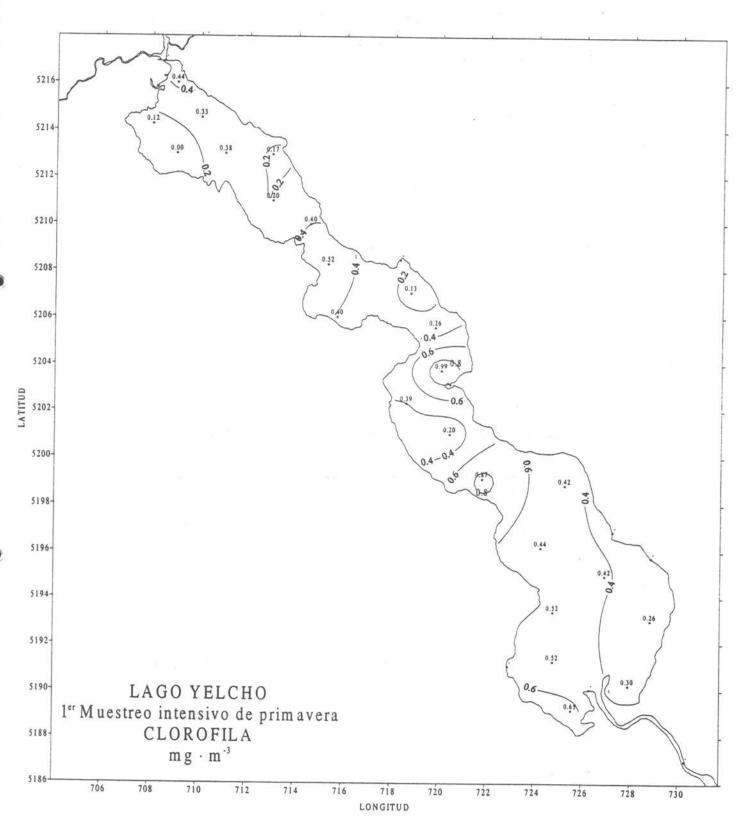


Figura 236 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.

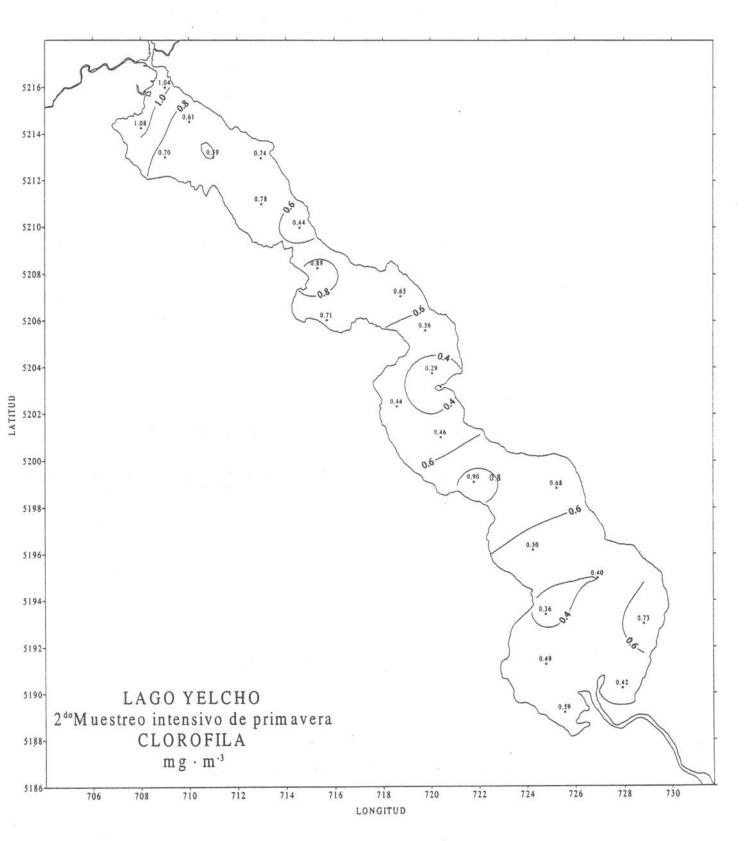
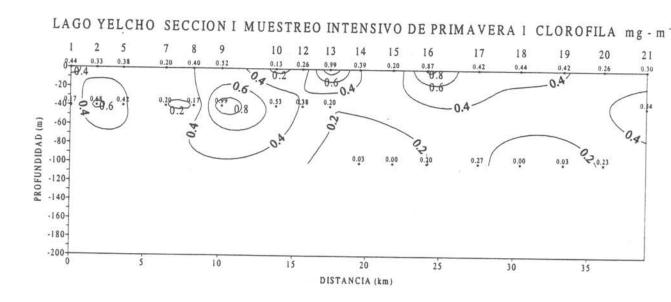


Figura 237 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Yelcho.



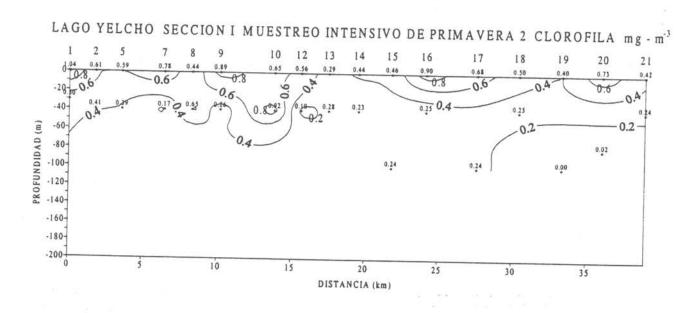


Figura 238 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago Yelcho.

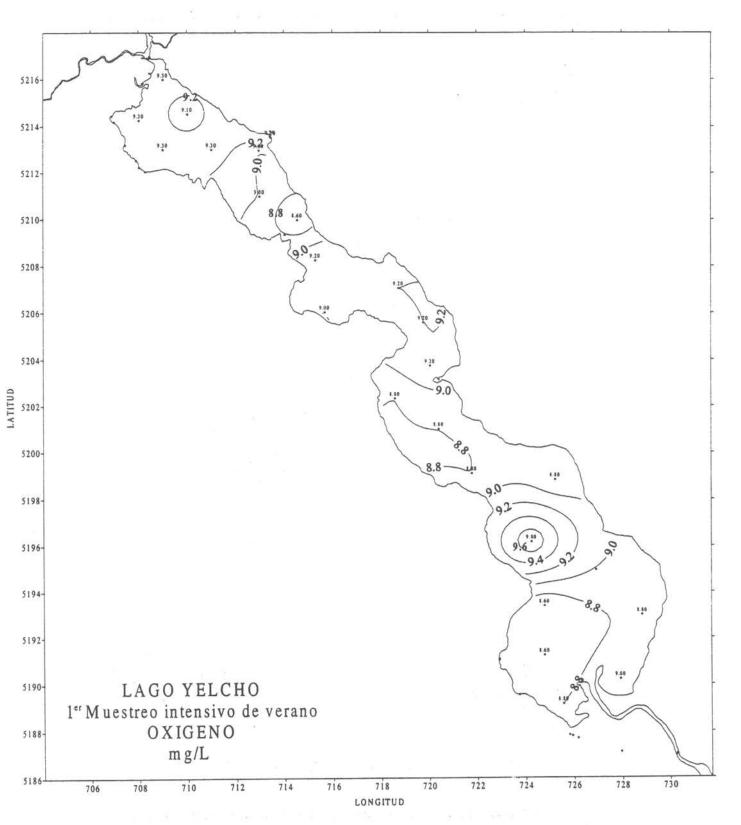


Figura 239 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.

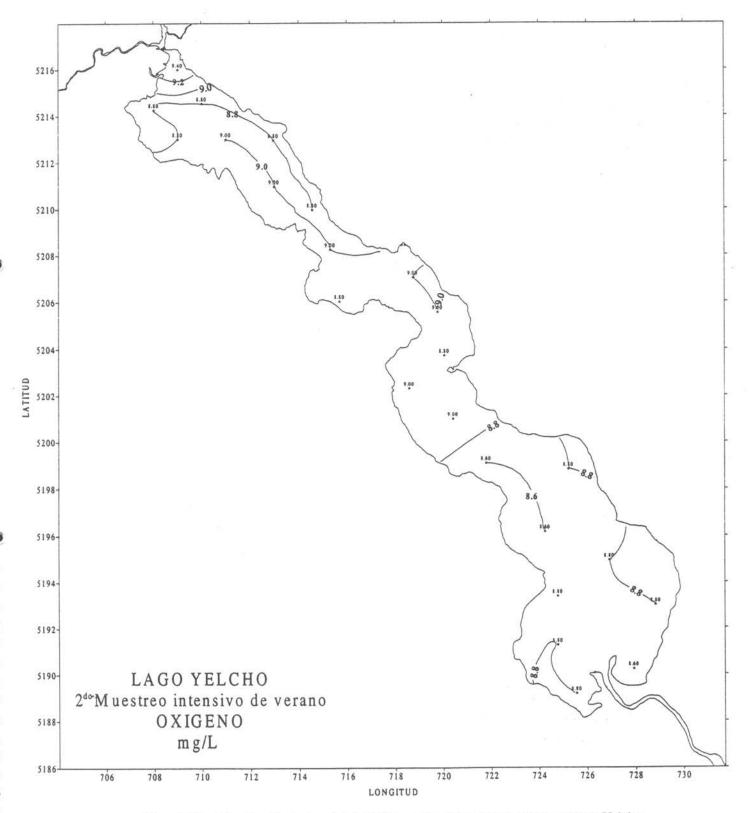


Figura 240 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.

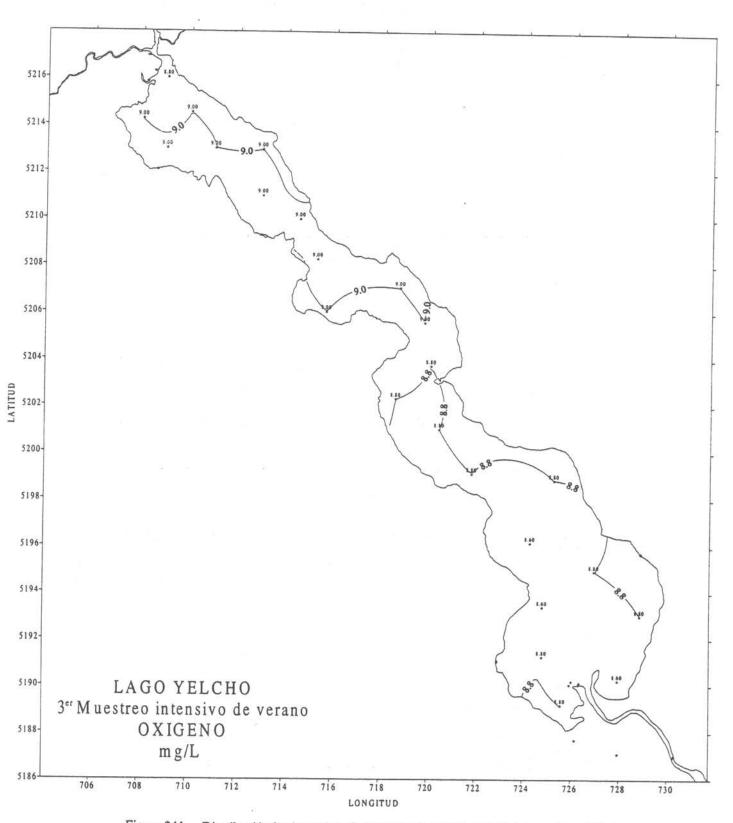
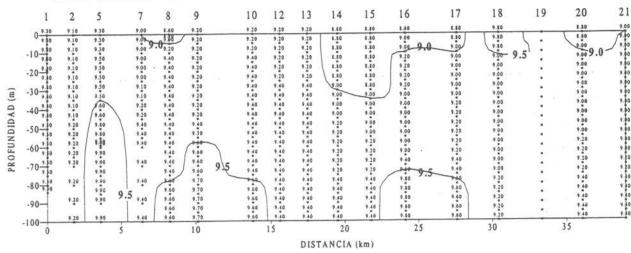
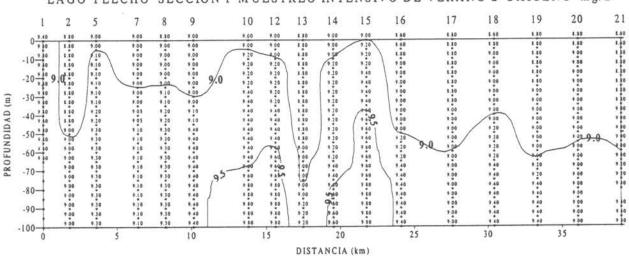


Figura 241 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.

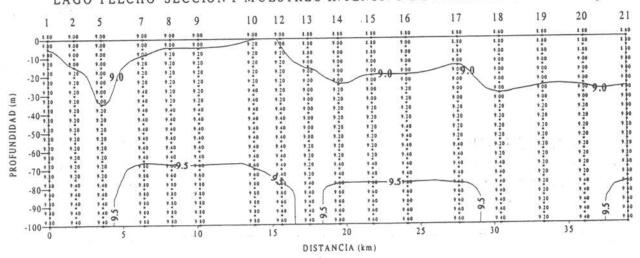




SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 OXIGENO mg/L LAGO YELCHO



SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 OXIGENO mg/L LAGO YELCHO



Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Yelcho. Figura 242

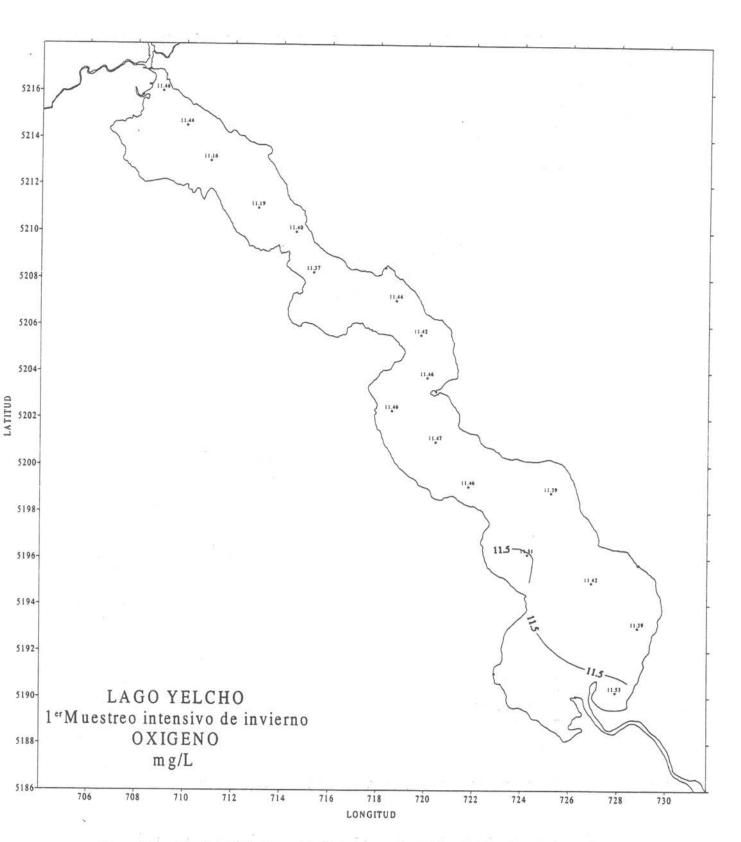


Figura 243 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.

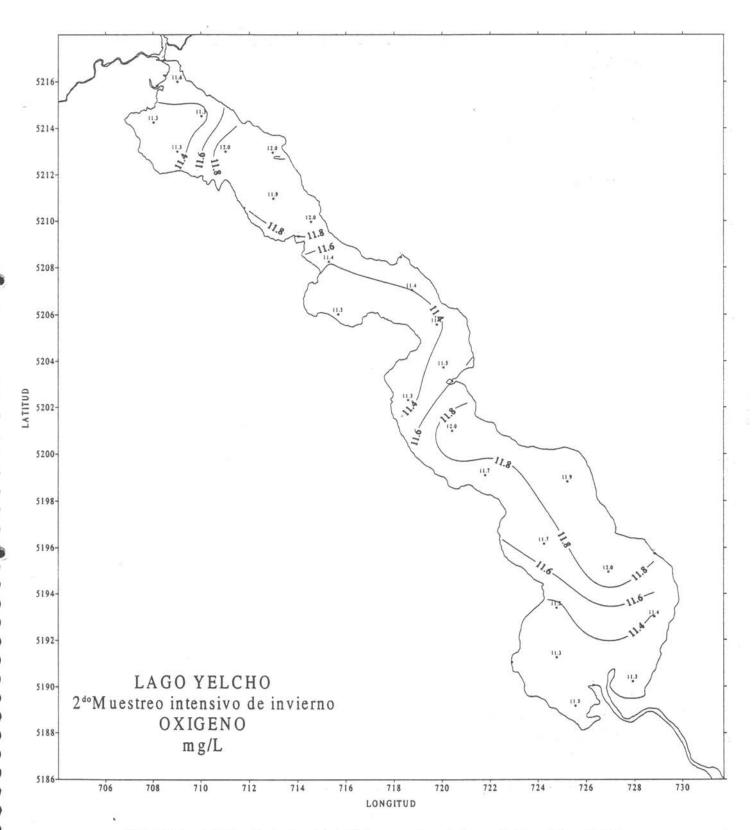
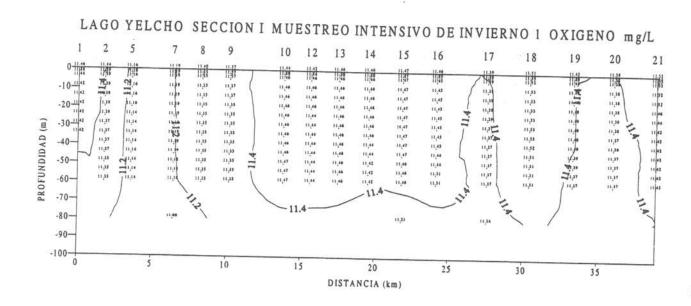


Figura 244 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.



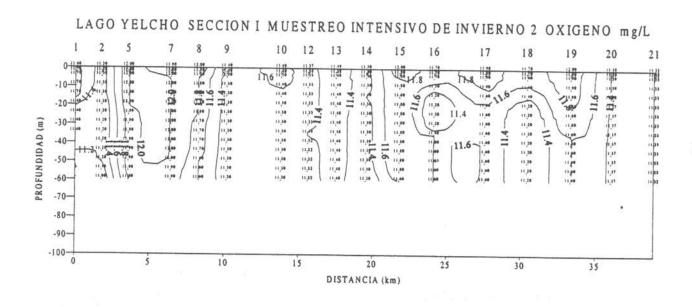


Figura 245 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Yelcho.

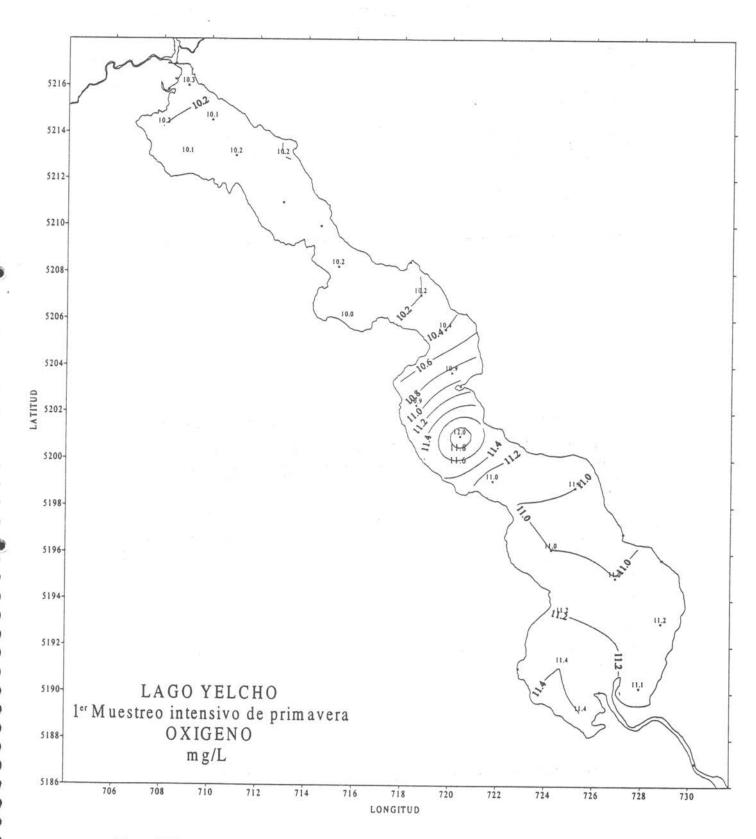


Figura 246 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.

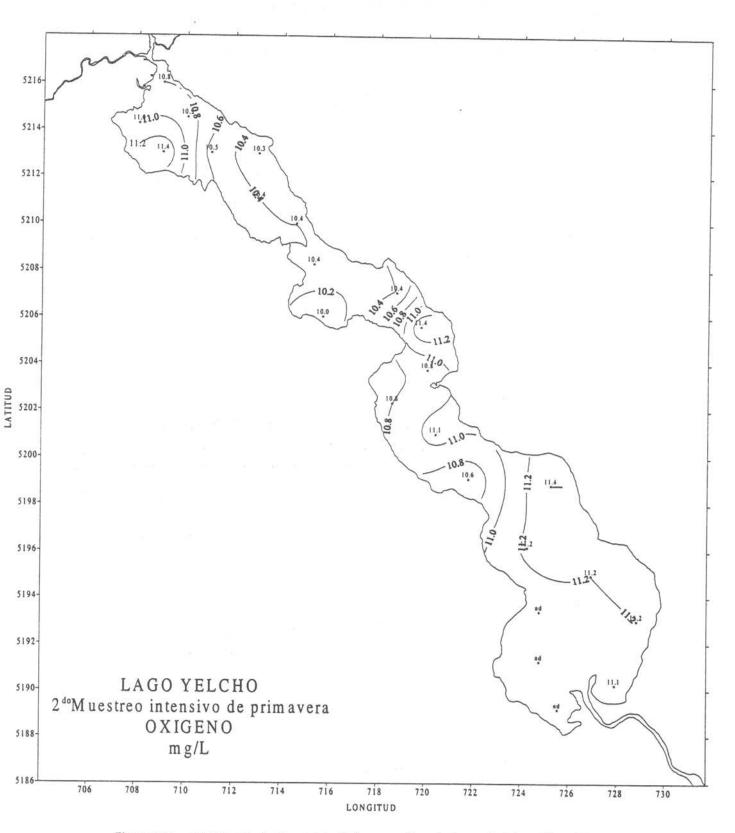
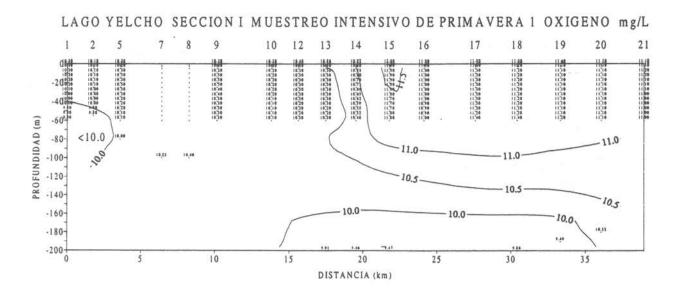


Figura 247 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Yelcho.



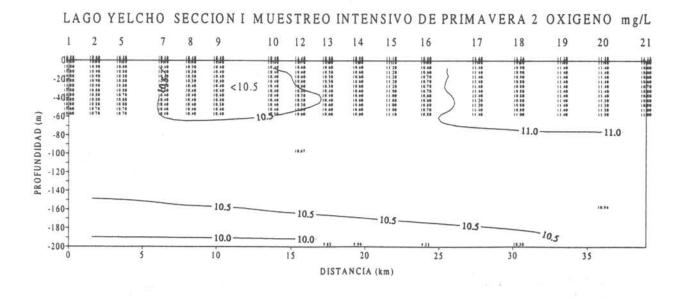


Figura 248 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Yelcho.

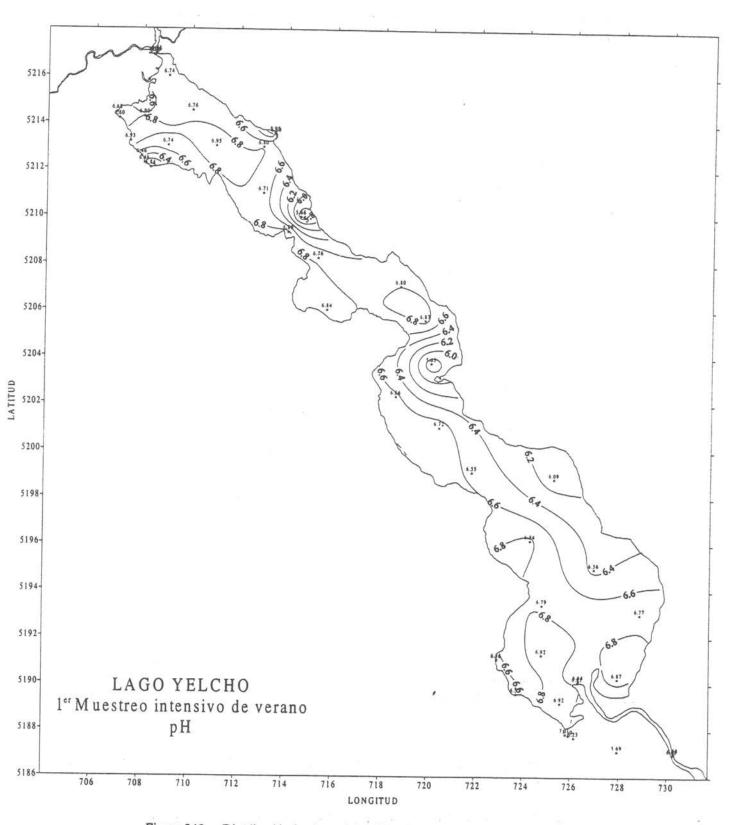


Figura 249 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.

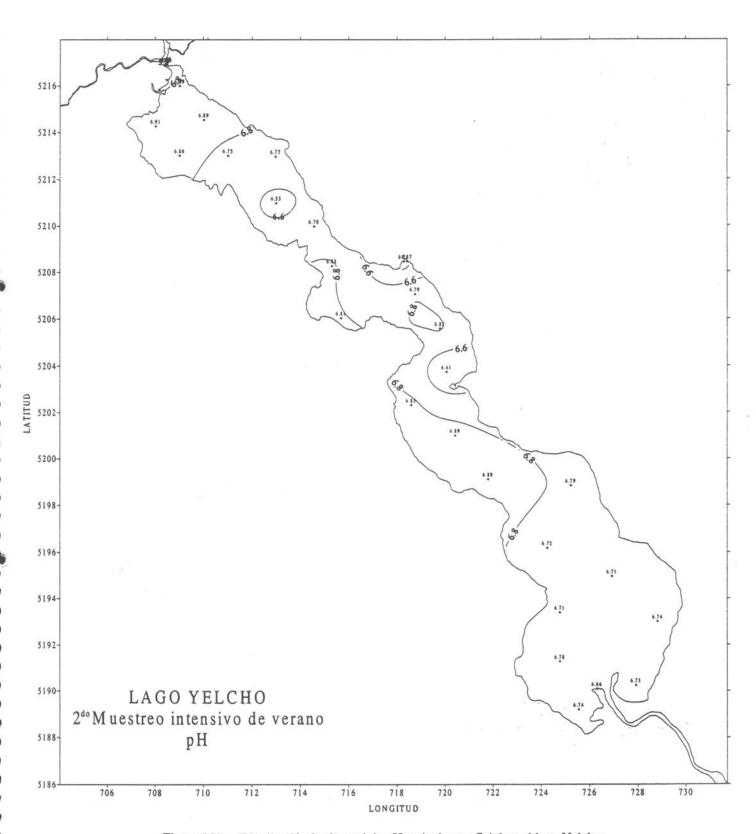


Figura 250 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.

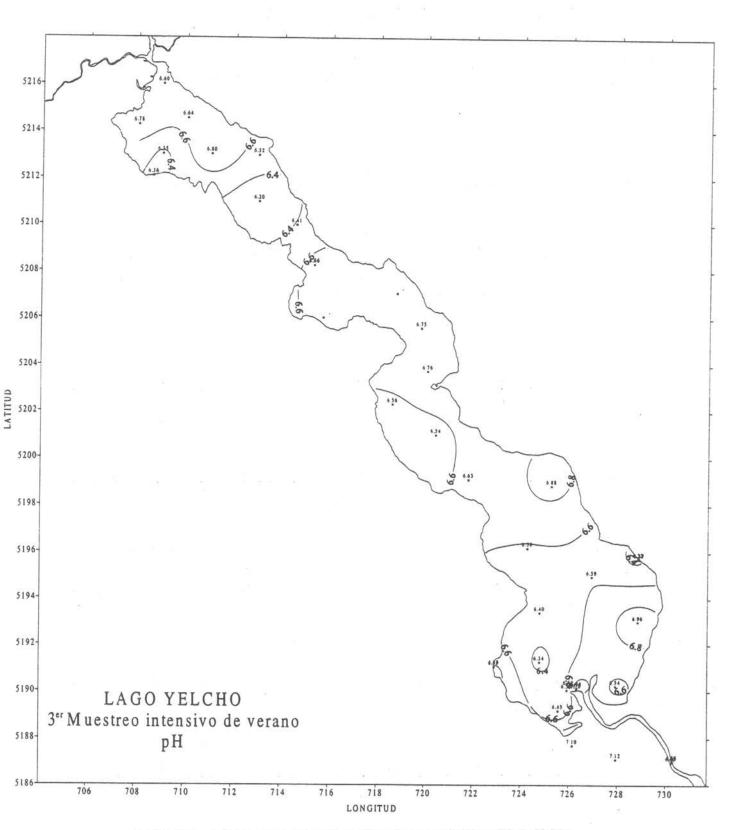
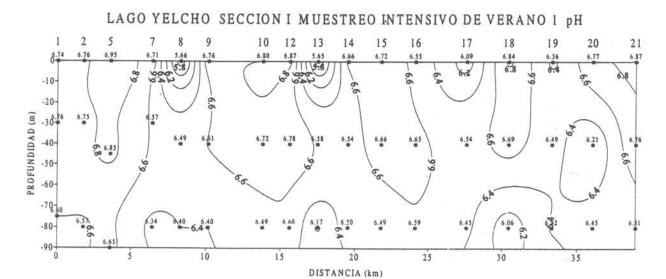
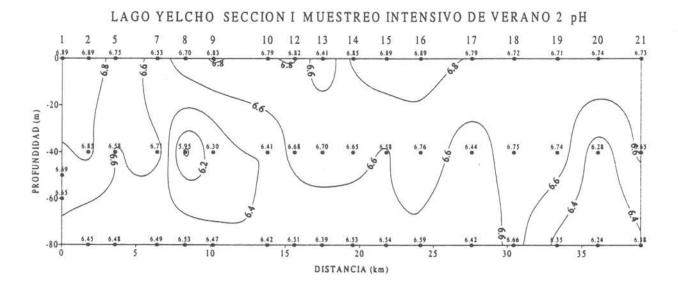


Figura 251 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.





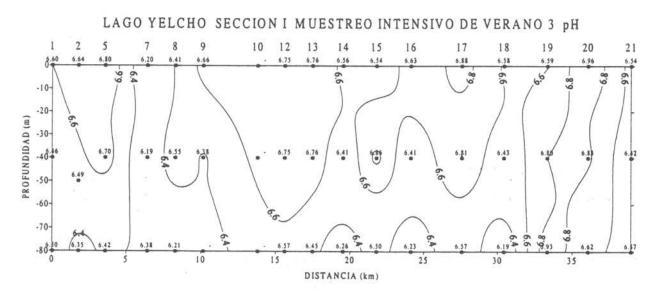


Figura 252 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Yelcho.

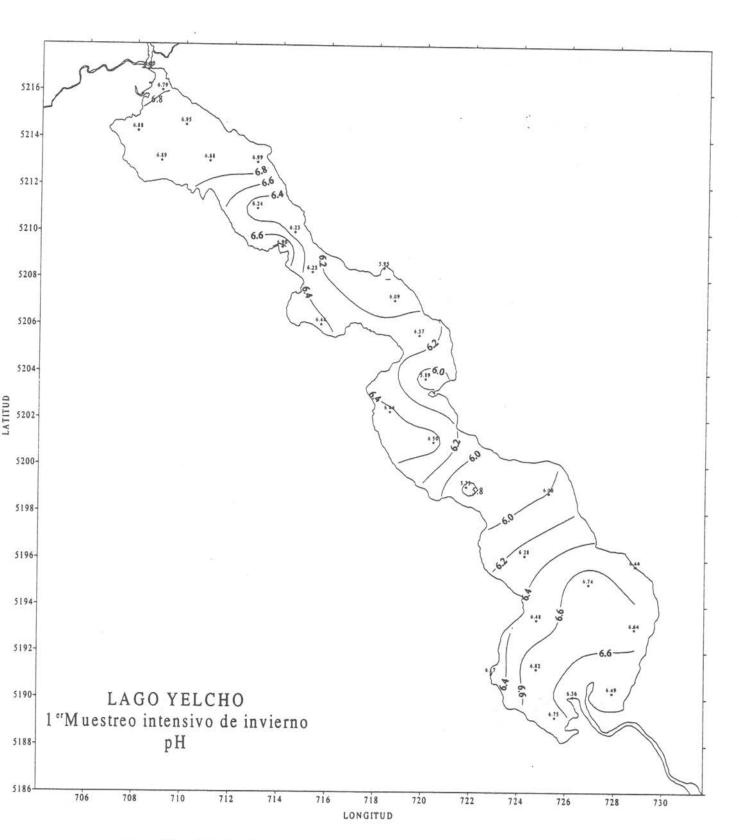


Figura 253 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.

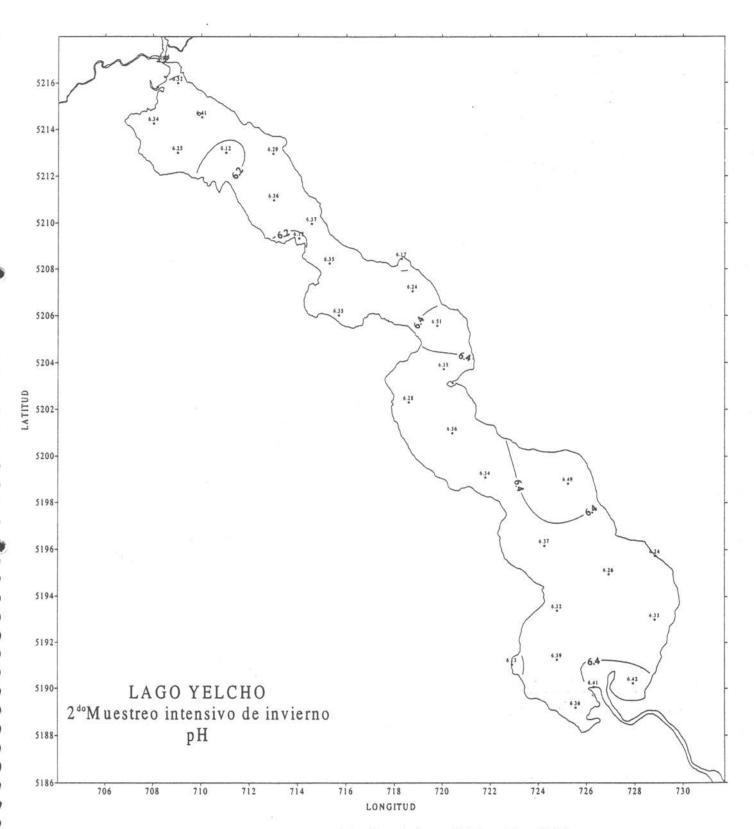


Figura 254 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.



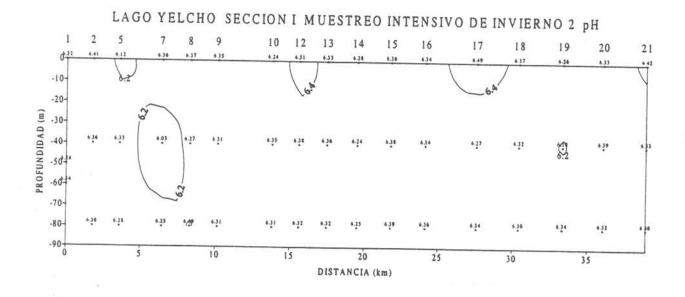


Figura 255 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Yelcho.

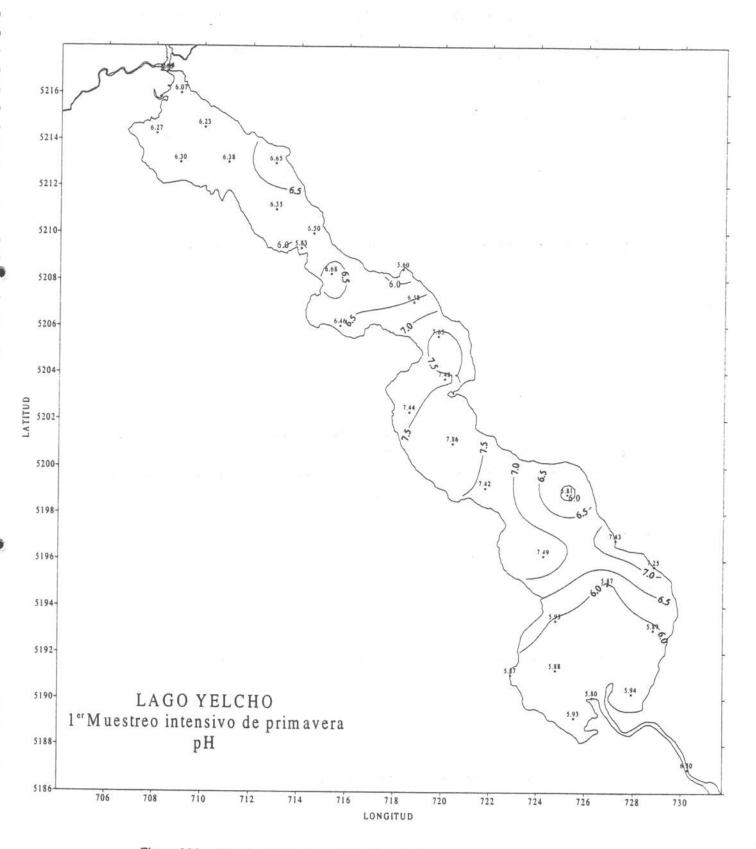


Figura 256 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.

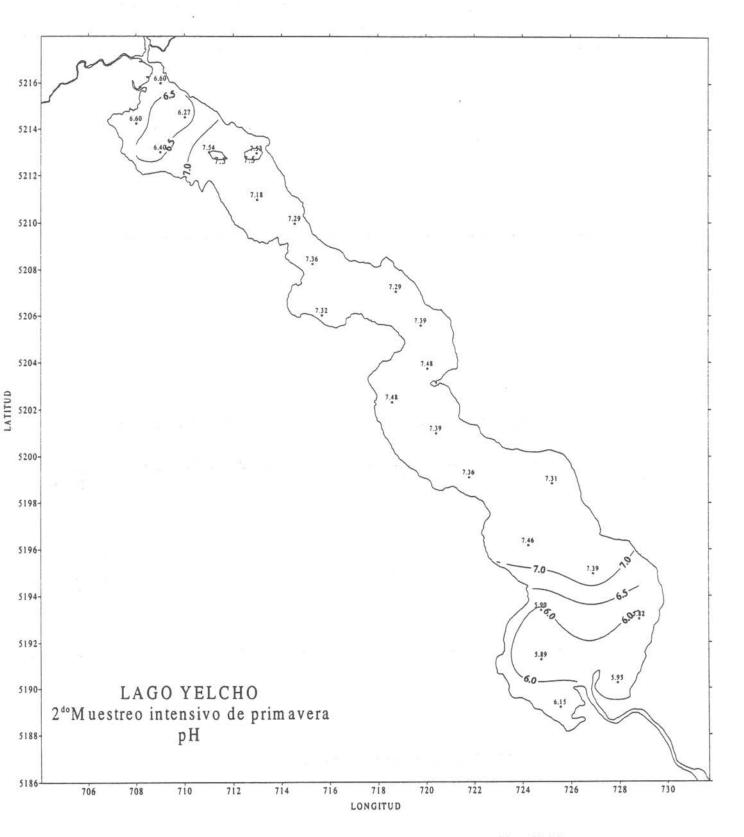
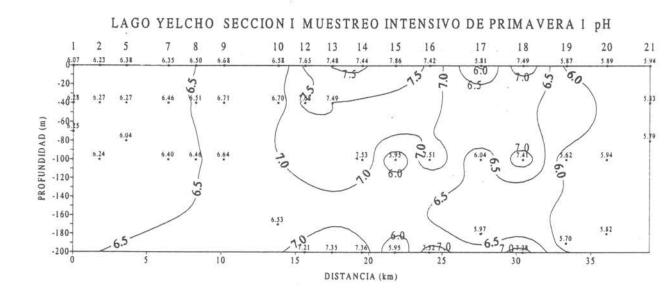


Figura 257 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Yelcho.



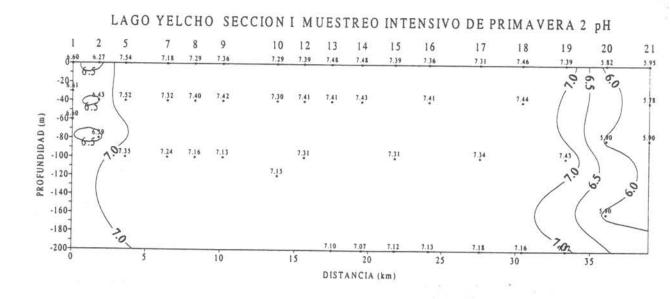


Figura 258 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Yelcho.

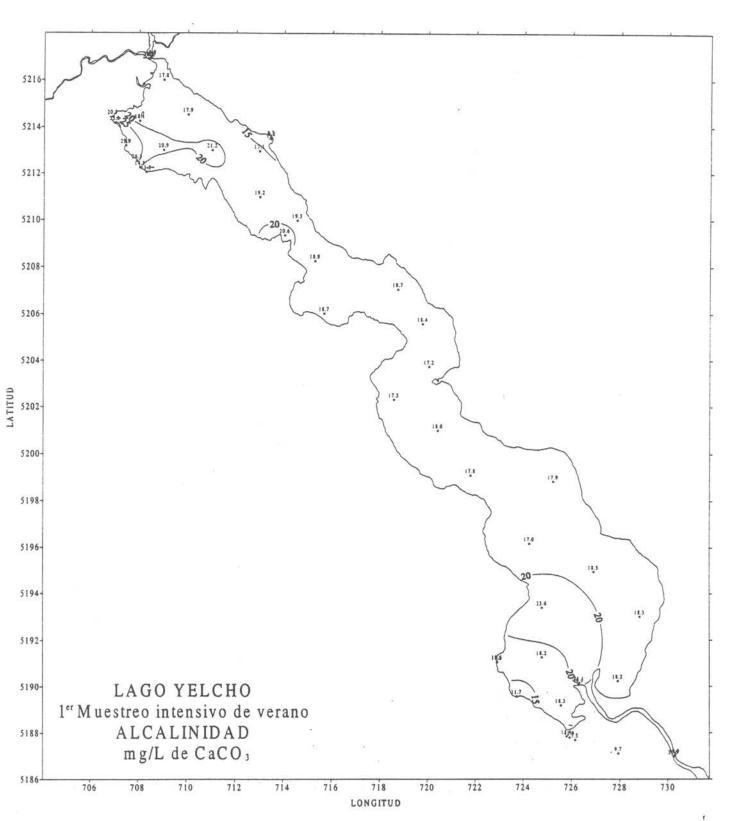


Figura 259 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

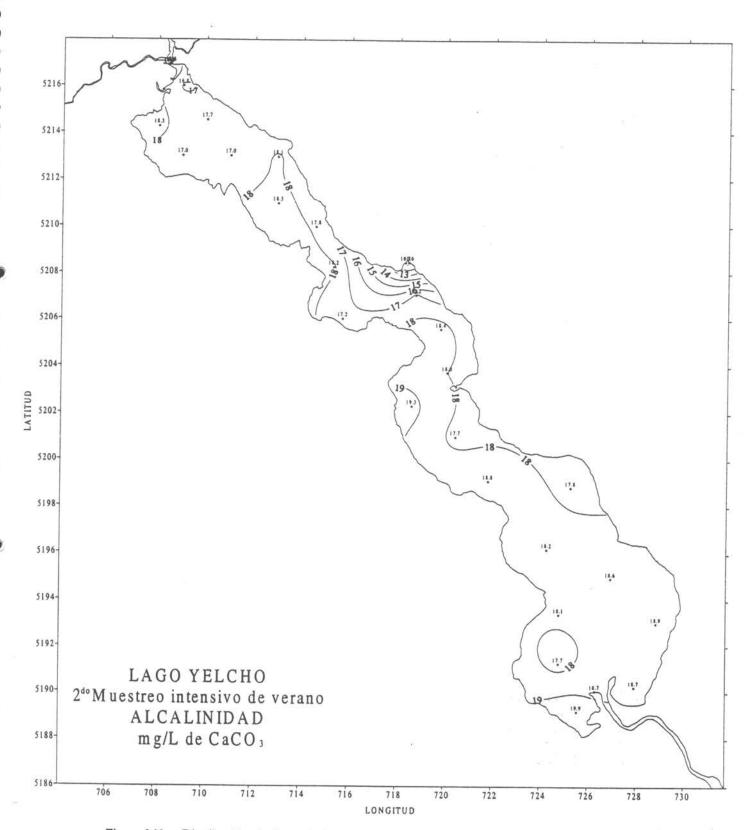


Figura 260 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

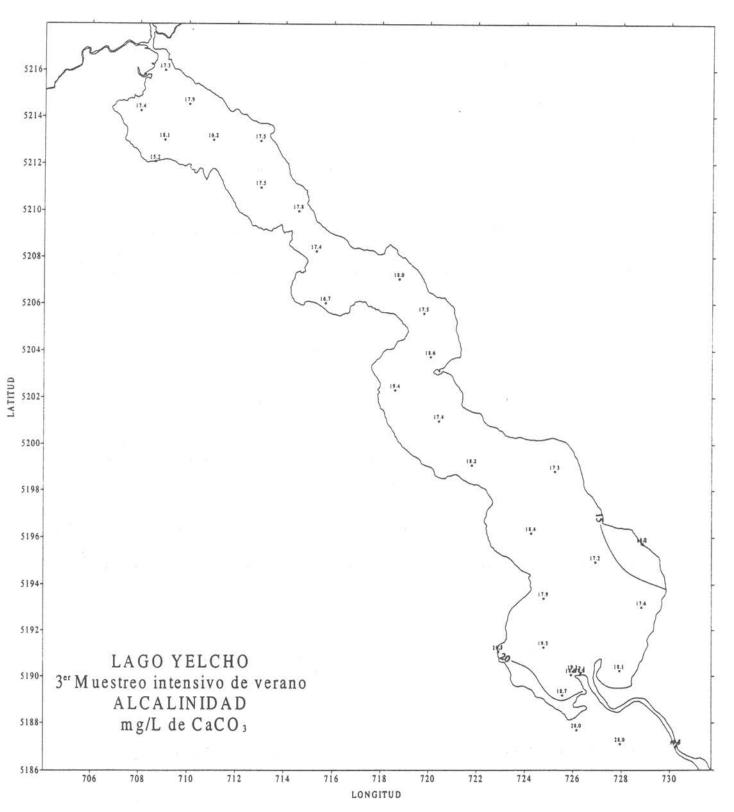
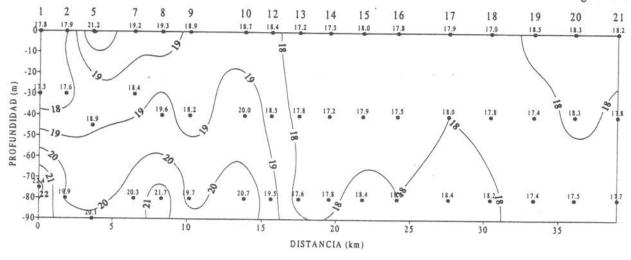
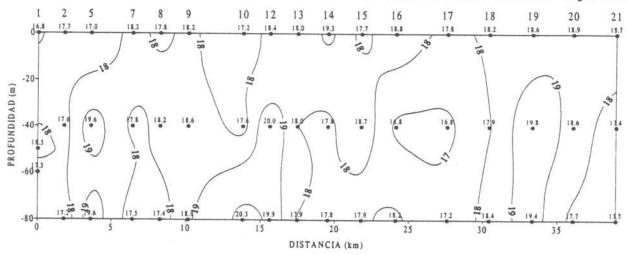


Figura 261 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCIONI MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO3



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO3



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 3 ALCALINIDAD mg/L de CaCO3

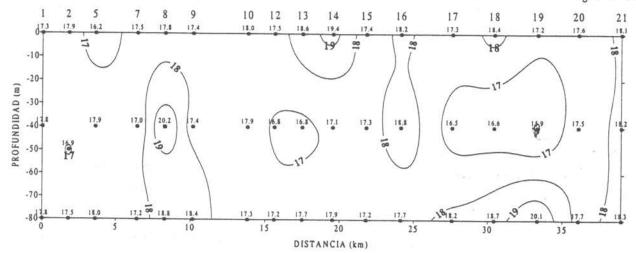


Figura 262 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Yelcho.

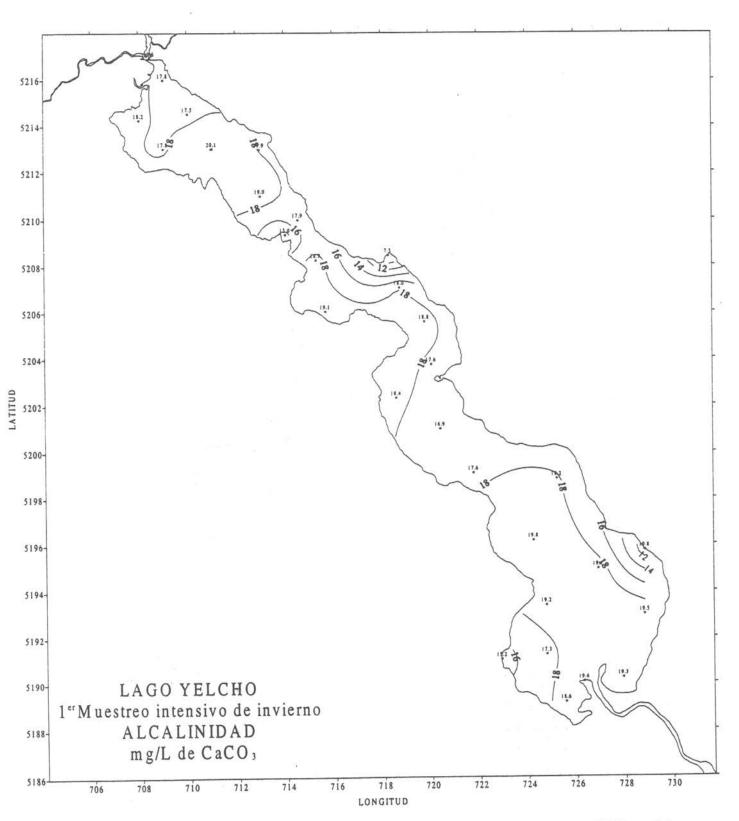


Figura 263 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho

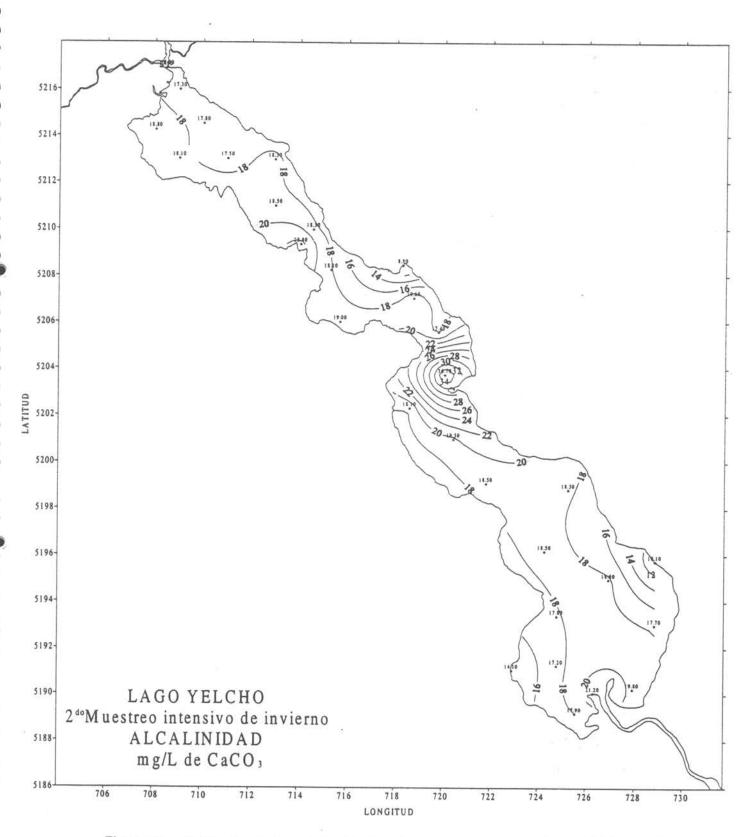
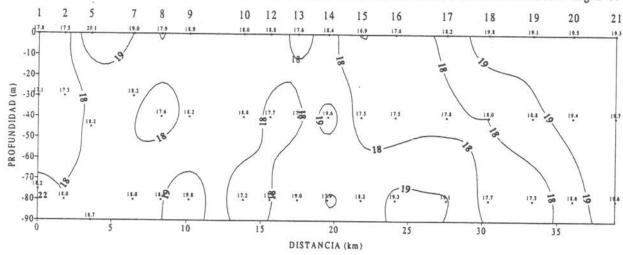


Figura 264 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO



LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO

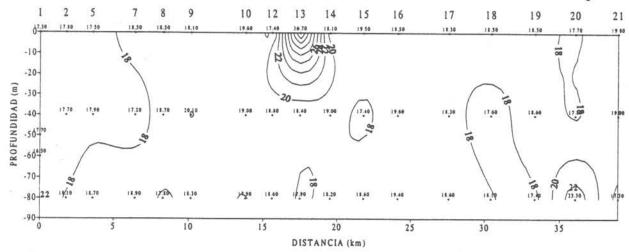


Figura 265 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Yelcho.

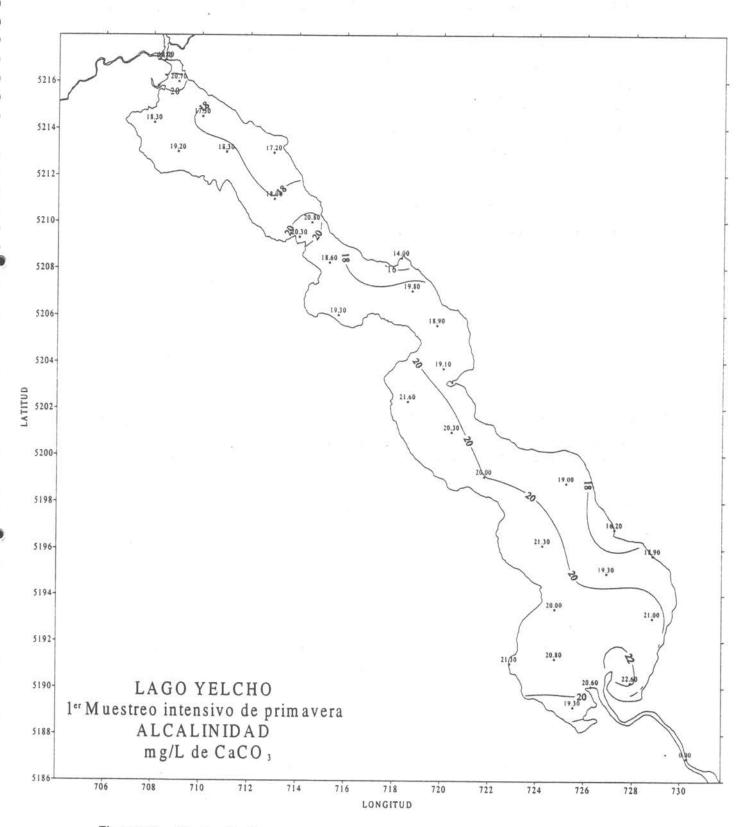


Figura 266 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

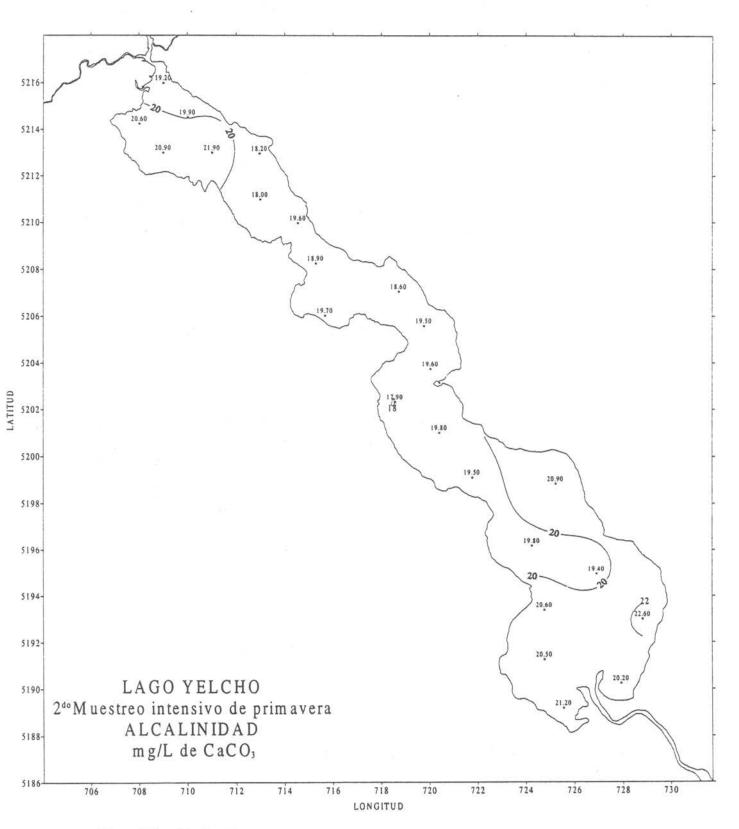


Figura 267 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I ALCALINIDAD mg/L de C

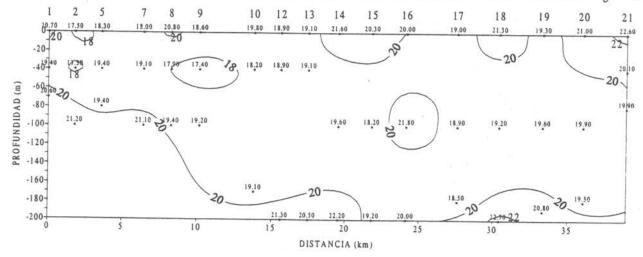


Figura 268. Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Yelcho.

LAGO YELCHO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 ALCALINIDAD mg/L de C

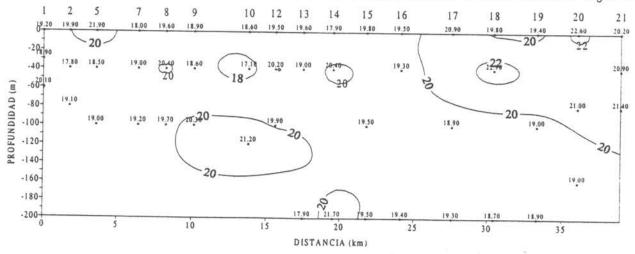


Figura 269. Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Yelcho.

Determinación de la capacidad de carga y balance de P y N de los lagos Chapo, Yelcho Popetán y San Antonio

LAGO POPETAN

LAGO POPETAN

ANTECEDENTES DEL LAGO

El lago Popetán (42°12'S, 73°28'W) se ubica en el noreste de la isla grande de Chiloé, a unos 8 km al sur de Quemchi, siendo el más nortino de los lagos chilotes. Administrativamente depende de la comuna del mismo nombre Es un cuerpo de agua mediano y forma elíptica que llena una depresión del terreno y desagua por el río Colu hacia el golfo de Ancud. El relieve del terreno en que se asienta es relativamente plano, con colinas que no superan los 160 m sobre el nivel del mar (Fig. 270). Las orillas son de pendiente suave y permiten un fácil acceso por cualquiera de sus riberas, en las franjas que se encuentran cubiertas por praderas.

Su alimentación proviene de las aguas lluvias y del drenaje tanto endorreico como exorreico de las lomas circundantes. Las aguas acceden a él fundamentalmente por un afluente ubicado en el extremo sudeste del lago, cuyo curso es permanente en los años de precipitación normal. Los otros dos afluentes consignados en la Figura 270 producen escasos aportes, salvo en períodos de saturación total del suelo y sólo con lluvias de alta intensidad.

El clima de la hoya del lago es templado marítimo, con temperaturas medias moderadas y precipitaciones concentradas en los meses de invierno. Las orillas y su cuenca se encuentran cubiertas en la actualidad principalmente por praderas destinadas a pastoreo. Fotos aéreas de la década del 60 permiten apreciar que en esa época la mayor parte de la cuenca del lago se encontraba cubierta de bosque nativo. El poblamiento humano en el área de la cuenca es bajo, constituido por alrededor de 8 a 10 familias.

1. ESTIMACIÓN DE APORTES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO

1.1 MORFOMETRIA DEL LAGO Y CARTOGRAFIA DE LA RED DE DRENAJES

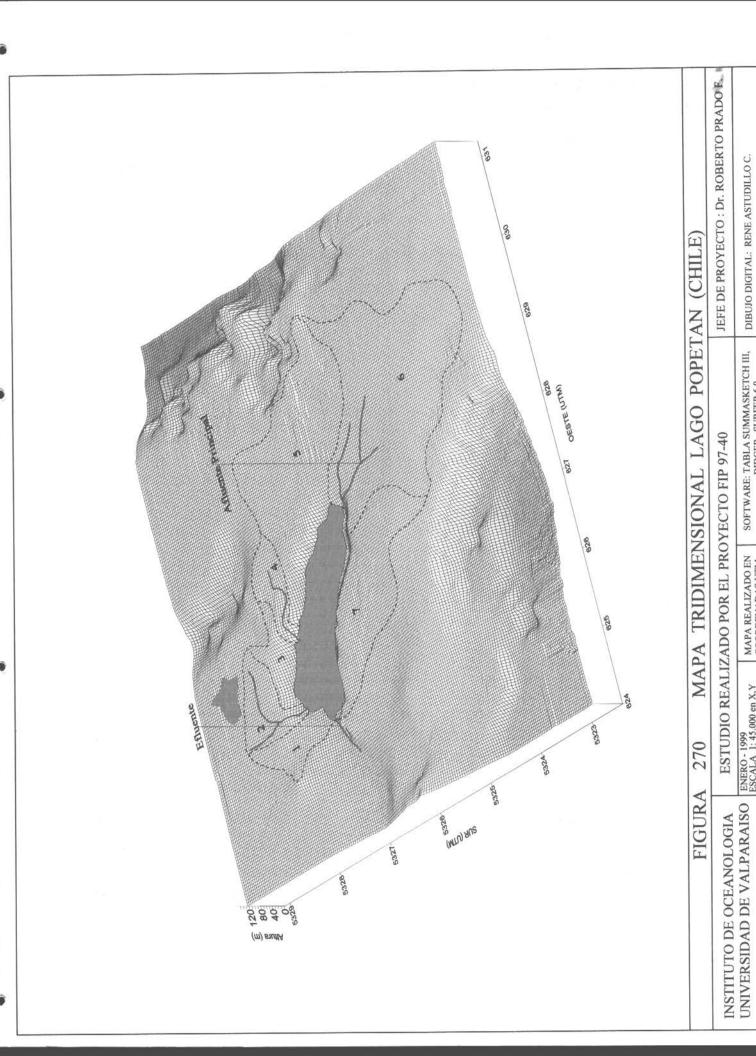
El lago Popetán tiene una cuenca de drenaje, determinada a partir de su mapa base digital, de 13,28 km². El desarrollo de su línea de costa es reducido. Sus principales parámetros morfométricos se entregan en la Tabla 61. Los resultados del sondaje efectuado en este estudio se entregan en forma de proyección batimétrica planar escala 1: 15.000 en la Figura 271. La batimetría del lago se caracteriza por una sola cuenca de pendiente suave,

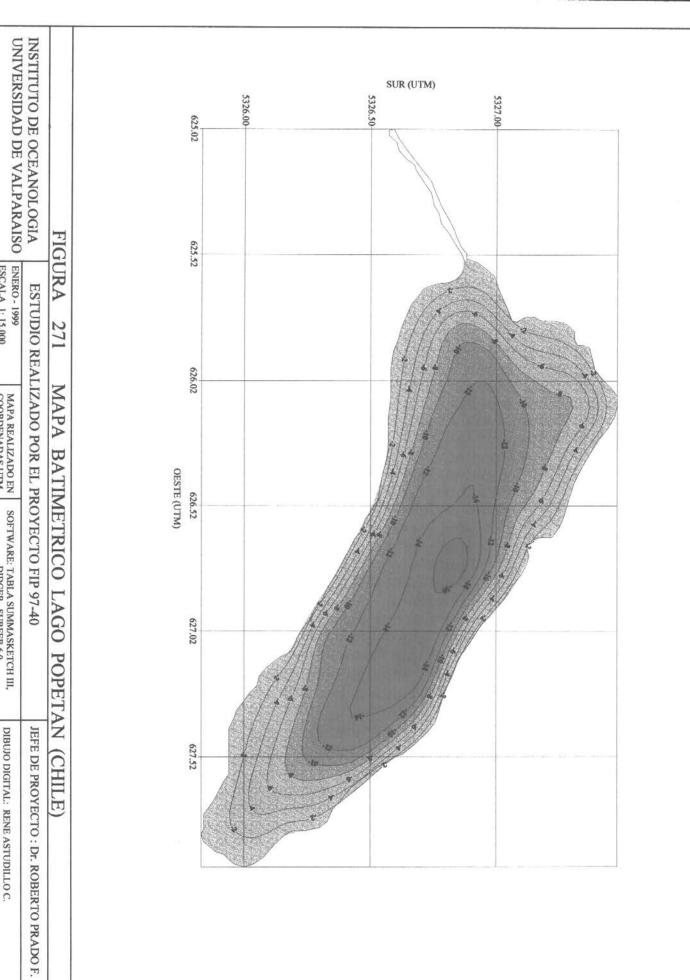
particularmente en sus riberas oeste y sudeste, siendo algo más abrupta en su vertiente norte. La profundidad total es baja y en términos relativos la batimetría del lago es somera, con su profundidad media ubicada a menos de la mitad de la profundidad máxima. El fondo del lago configura una cuenca en forma de plato asimétrico con fondo relativamente plano y ubicación aproximadamente central de la isobata de 16 m. El volumen es pequeño y la relación entre el área de drenaje y el área del espejo de aguas es moderada.

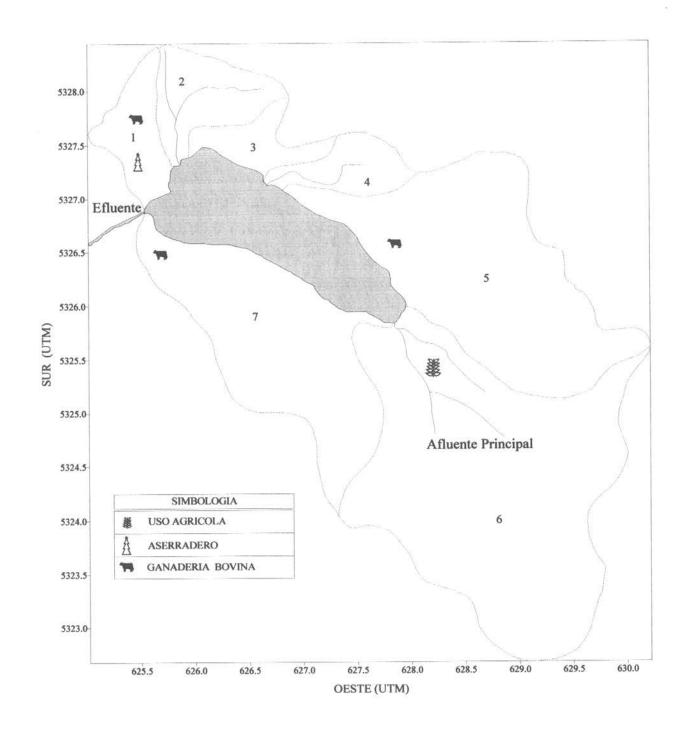
del lago Popetan. Longitud máxima	2,54 km
Ancho máximo	0,91 km
Ancho medio	0,63 km
Línea de costa	6,61 km
Area superficial	1,60 km²
Desarrollo línea de costa	1,97
Pendiente promedio	1,8 %
Profundidad máxima	17,4 m
Profundidad media	8,1 m
Relación profundidad media a máxima	0,47
Volumen	1,3·10 ⁻² km ³
Area de drenaje	13,28 km²
Relación área de drenaje a área superficial	8,32

La baja altura de las elevaciones del terreno, cuyas cumbres máximas superan sólo levemente los 150 metros sobre el nivel medio del mar determina que los cursos de agua sean de baja pendiente. Este hecho y la relativamente modesta superficie total de las cuencas que los alimentan determina que los caudales de estos cursos sean pequeños.

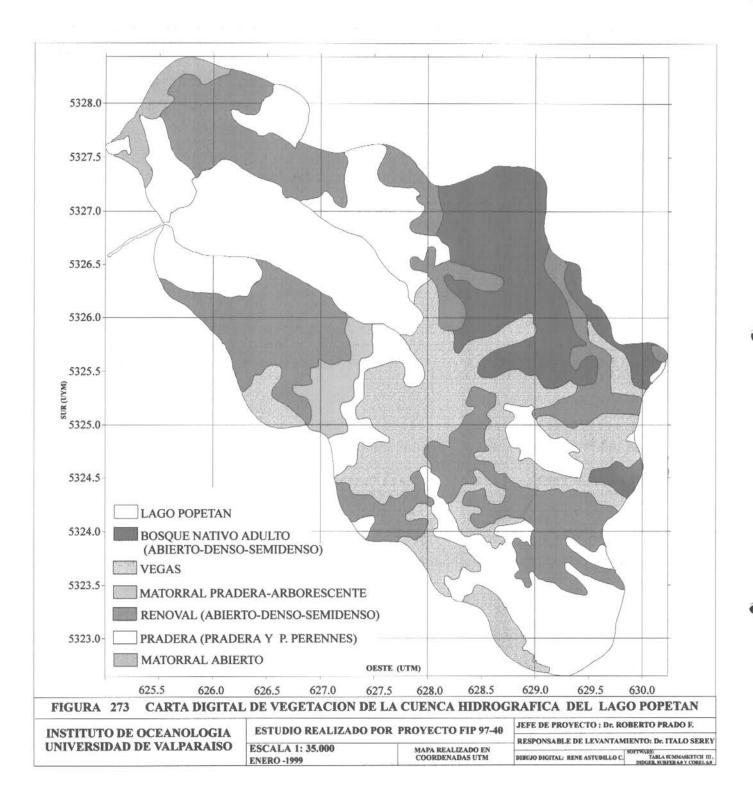
El total de subcuencas que desembocan en el lago Popetán asciende a 7 y se muestran en la Figura 272. La Tabla 62 muestra los valores de superficie y porcentajes del área total de la cuenca del lago que representa cada una de ellas. Tres subcuencas representan el 80 % de la superficie, y de ellas una contiene al principal curso de agua afluente de tal modo que tiene una gran incidencia en la calidad de las aguas del cuerpo











lacustre. De hecho este es el único curso de agua relativamente permanente del lago. Las cuatro restantes subcuencas solamente suman el 20 % de la hoya de drenaje y contienen los únicos otros dos cursos de agua, de naturaleza esporádica, de los cuales el segundo en importancia relativa verificada en terreno es el contenido en la cuenca nº 4 de la Figura 272.

Tabla 62. Superficie de la cuenca hidrográfica del Lago Popetan en la Isla Chiloé.

Número de la subcuenca	Superficie / km²	Porcentaje de la subcuenca
1	0,50	3,8
2	0,75	5,6
3	0,425	3,2
4	0,45	3,7
5	3,35	25,2
6	5,25	39,4
7	2,55	16,9
Area Total de la Cuenca	13,28	100

1.2 DIAGNOSTICO DE USO DEL SUELO

La vegetación dominante de acuerdo a la región pertenece al bosque de coigue de Chiloé (*Nothofagus nitida*), y en los lugares más inundados o húmedos a una mezcla con canelo (*Drimys winteri*), que se desarrolla bastante bien en ese tipo de condiciones. La cuenca ha sido perturbada en forma sistemática por el uso agrícola de la superficie, que ha tenido como consecuencia una disminución notable de la vegetación nativa y su reemplazo por praderas producto del desmonte. La mayoría de los tipos presentan mezcla con especies de mirtáceas (*Amomyrtus luma*, *Luma apiculata*). Los tipos de vegetación más importantes se destacan en la Figura 273 y sus áreas se entregan en la Tabla 63.

A) Bosques

La vegetación nativa de bosques nativos adultos densos, con una grado de perturbación menor está dominada por *Drimys winteri*, *Nothofagus nitida* y *Luma apiculata*, que fisionómicamente son bosques de canelo, en suelos relativamente mal drenados, consecuencia del bajo relieve del sector donde se encuentra el lago Popetan, y cubren el 12,2 % de la superficie de la cuenca. Este es un bosque de tipo higrófilo. Los bosques nativos adultos semidensos se presentan dominados por *Nothofagus nítida*, *Drimys winteri* y *Luma*

apiculata, que se encuentran en suelo con un drenaje un mejor que el tipo anterior, y que representan solamente 3,7 % de la superficie de la cuenca.

B) Renovales

Los renovales densos están dominados por *Drimys winteri* y acompañados por *Nothofagus nitida*, con una gran similitud a los bosques adultos densos, y se presentan también en suelos con un drenaje pobre. Ocupan el 20,1 % de la cuenca. Los renovales semidensos alcanzan a 1,26 km² y representan el 12,2% de la superficie, y están dominados por *Nothofagus nitida*, *Drimys winteri* y a veces acompañados de *Luma apiculata*, con una gran similitud al bosque adulto semidenso. Los renovales abiertos solamente alcanzan al 3,8 % de la superficie con 0,50 km² y están dominados por *D. winteri* y *L. apiculata*.

Tabla 63. Tipos de vegetación presentes en la cuenca del lago Popetan, Isla de Chiloé.

Tipos de Vegetación	Superficie en km²	Porcentaje
Bosque Nativo Adulto Denso	1,625	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	0,275	2,1
Vegas	2,92	22
Superficie Total	13,28	

C) Matorrales

Existe un tipo de vegetación secundaria, formado por un matorral arborescente abierto dominado por *Luma apiculata* y *Drimys winteri* que tiene una pequeña superficie, alcanzando el 2,6 % del total de la cuenca. También se presenta un matorral abierto con el 2,1 % de la superficie dominado por *Juncus* sp. y acompañado de *Luma apiculata* y *Amomyrtus luma*, que pueden ser estados sucesionales secundarios que se desarrollan después del desmonte de alguno de los tipos de bosques mencionados anteriormente.

D) Praderas perennes

Este tipo de vegetación productos del desmonte de la vegetación nativa, está dominado por especies introducidas herbáceas, que se usan en la ganadería. alcanzan al 25,1

% de la superficie de la cuenca. Su distribución se observa en la carta adjunta (Fig. 273). Estos suelos de pradera están en el presente sujeto a pastoreo por ganado bovino en tres de las cuatro zonas que establecen contacto directo con el lago, como se indica en la Fig. 272.

E) Vegas

Este tipo de vegetación en suelos que tienen una gran cantidad de agua pero con algún grado de circulación, está dominada por ciperáceas del Género *Juncus*, acompañado por *Drimys winteri*, *Amomyrtus luma y Luma apiculata*. Representan una superficie importante de la cuenca y representan el 22 % de la superficie de ella. Un sector menor de vegas al sudeste del lago e inmediato al afluente principal, en la zona indicada en la Fig. 272, se observó con cultivo de papas.

1.3 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS AFLUENTES

El ingreso de agua por afluentes al lago Popetán se vio completamente interrumpido desde la primera semana de febrero, ocasión en que se llevó a cabo el primer muestreo en el área, hasta abril, mes en el cual el registro de caudal fue despreciable. Los resultados de caudales afluentes medidos en forma mensual a lo largo de un año de observaciones se entregan en la Tabla 64. Ellos permiten apreciar la existencia de una fuerte estacionalidad en el régimen de aporte de aguas, que se concentró en junio y julio y que el flujo de ingreso por afluentes se interrumpió durante los meses de verano. Producto de la prolongada sequía, que determinase durante 1998 un aporte pluvial menor que el normal, se observó incluso sequedad total del principal afluente en enero de 1999.

En ninguno de los muestreos realizados fue posible observar curso mensurable en el afluente 3. El afluente 2, mensurable desde junio representó una proporción que fluctuó entre el 2,3% del afluente principal en junio hasta incluso equipararlo en noviembre. Esta última contribución, significativa en términos proporcionales, es de todos modos muy baja en términos absolutos. La diferencia se explica por la mayor pendiente y frondosa cobertura vegetal del tributario 2, que posibilita una menor evaporación que la que afecta al afluente principal junto con posibilitar que siga fluyendo por un período un poco más largo tras una lluvia copiosa. El descenso más lento del caudal del afluente 2 es claramente observable al establecer las diferencias entre el primer y segundo muestreo de noviembre. Por otra parte, la

1.4 INGRESO POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO

Tomando en consideración el uso del suelo de las cuencas en su margen de contacto con el lago Popetán, se seleccionaron dos parcelas para la medición directa de la concentración de fósforo y nitrógeno presente en las aguas de escurrimiento difuso que no vierten hacia afluentes individuales del lago. Estas parcelas fueron instaladas en un área de bosque renoval y en un área de pradera, correspondientes respectivamente a las subcuencas 3 y 5. Con los resultados de concentración determinadas para cada uno de los dos tipos de parcela representativa y los flujos de escurrimiento correspondientes al relieve, grado de infiltración del suelo, condición de almacenamiento superficial y cubierta vegetal, se estimó un caudal de escurrimiento difuso equivalente al 79,8% del total aportado por cursos afluentes, el cual contribuyó anualmente con 0,9 kg de fósforo (de los cuales 0,2 kg corresponden a ortofosfato) y 4,8 kg de nitrógeno total, del cual el 7,9% fue inorgánico (0,2 kg de nitrato, 0,2 kg de amonio y 0,0 kg de nitrito).

1.5 AGUAS RESIDUALES

Cerca de las orillas del lago Popetán existen sólo tres casas habitadas en conjunto por media docena de personas, cuyas aguas residuales son evacuadas hacia pozos sépticos que no descargan directamente hacia el lago. No existe afluencia turística al lago. La incidencia del factor aguas residuales sobre la carga de fósforo y nitrógeno del lago es por lo tanto nula.

1.6 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR PRECIPITACIONES

Condiciones meteorológicas

Durante el año 1998 predominaron los vientos del norte, noroeste y sudeste, representando sobre el 75% del total de frecuencia de viento. Más del 80% de las intensidades registradas fluctuaron entre 0 y 4 m/s, siendo el porcentaje total de calmas del orden de 5 % (Fig. 274). En general el viento presentó intensidades similares a lo largo de todo el año, con una marcada variabilidad interdiaria e intradiaria. Las rachas sobre 8 m/s estuvieron asociadas a viento del noroeste (Fig. 275).

El mayor rango de temperatura del aire se presentó en verano y primavera, con valores entre 10 °C y 35 °C. En invierno la temperatura osciló entre 0 °C y 17 °C. La humedad relativa

alcanzó valores mínimos cercanos al 30 % en los períodos de verano y primavera y mínimos de 70 % en invierno. El período de mayor precipitación fue en invierno, alcanzándose valores máximos de intensidad del orden de 10 mm/hora (Fig. 276). Observando la Tabla 66 notamos que el mes más lluvioso registrado fue julio con 271 mm mientras que el mes más seco solo alcanzó 11 mm. La Tabla 67 presenta los valores de precipitación mensual acumulada registrados entre 1961 y 1990 en el aeródromo de Quellón por la Dirección Meteorológica de Chile.

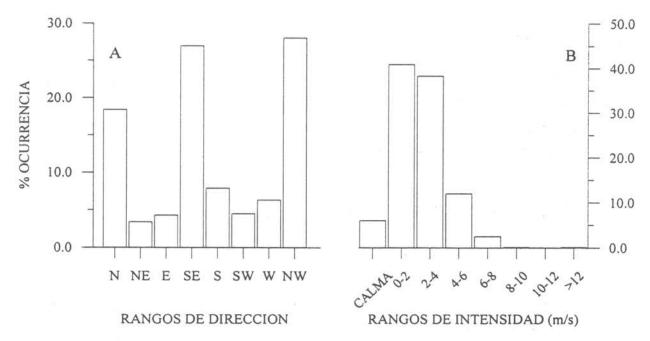


Fig. 274 Histogramas de dirección e intensidad del viento registrado durante 1998 en el lago Popetán (A, B).

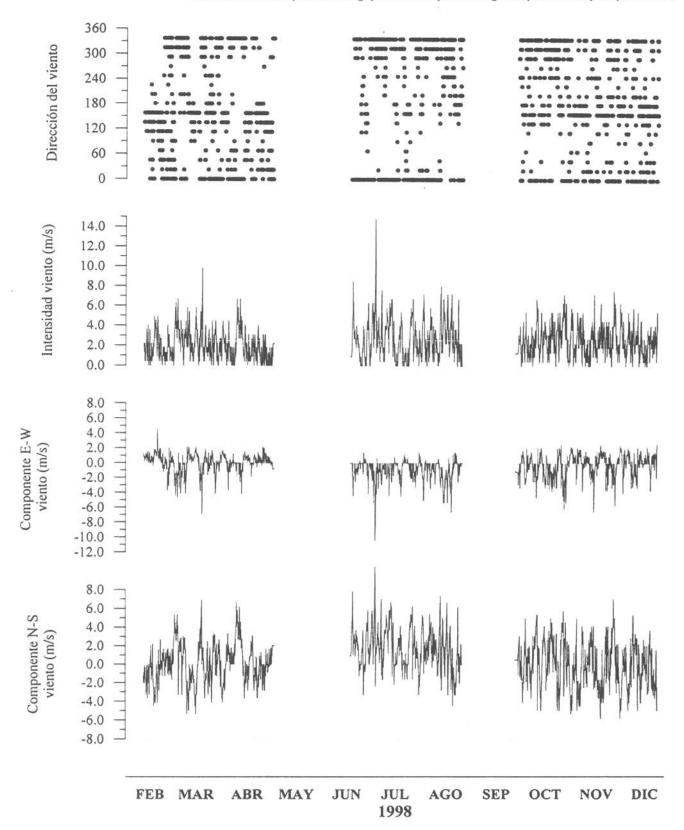


Fig. 275 Series de tiempo dirección, intensidad y componentes E-W (u) y N-S (v) del viento durante 1998. Estación meteorológica del lago Popetan.

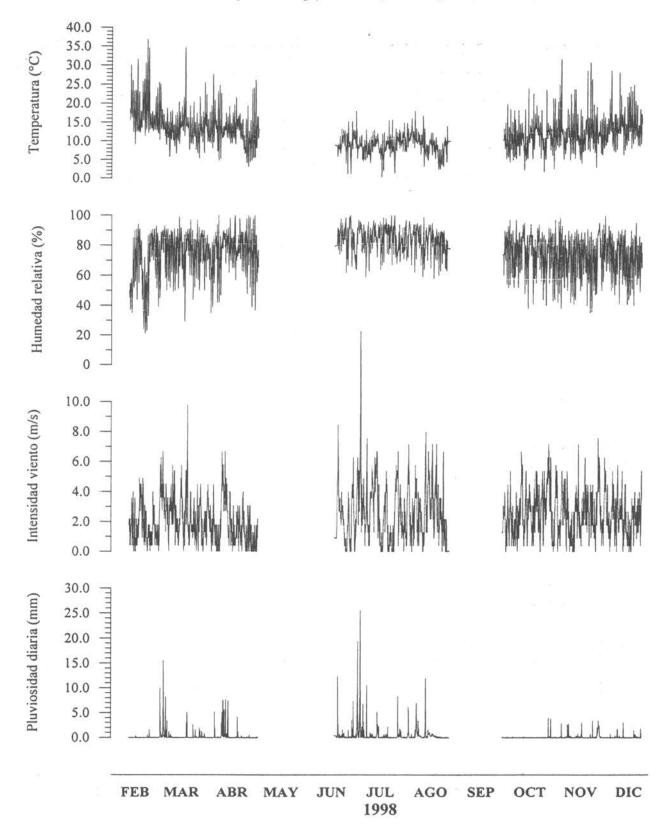


Fig. 276 Series de tiempo de temperatura del aire, humedad relativa intensidad del viento y pluviosidad diaria durante 1998. Estación meteorológica del lago Popetan.

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		想

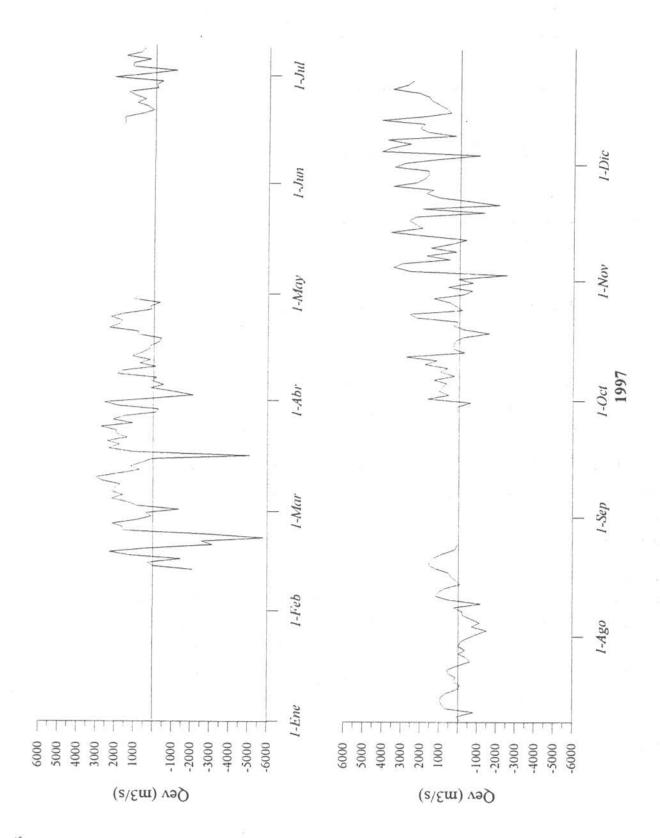
Tabla 67. Precipitación acumulada mensual normal, período 1961-1990, Quellón.

MES	PP (mm)	MES	PP (mm)	
Enero	127	Julio	270	
Febrero	103	Agosto	254	
Marzo	105	Septiembre	182	
Abril	167	Octubre	141	
Mayo	265	Noviembre	118	
Junio	254	Diciembre	127	

Las precipitaciones del año 1998 pueden considerarse normales hasta el mes de julio ya que los valores observados son similares al promedio histórico. Sin embargo los meses de octubre a diciembre son significativamente menores, indicando la primavera como un período seco agudo.

Evaporación

Los resultados de la pérdida de agua del lago Popetán por evaporación, calculada en forma de promedios diarios para el área superficial de su espejo como m³/s a partir de los registros automáticos de viento y temperatura, se entregan la Fig. 277. Los valores positivos indican pérdida neta de vapor de agua, en tanto que valores negativos son indicativos de ocurrencia de saturación del aire con vapor de agua y formación de neblina, condiciones que impiden la evaporación desde el lago. La emisión anual de vapor alcanzó un total de 2,70·10⁵ m³.



379

Aporte pluvial de nitrógeno y fósforo

El resultado de los análisis efectuados a muestras de lluvia mensuales se entrega en la Tabla 68. Tomando en consideración la menor importancia relativa que en general tiene el aporte atmosférico de fósforo frente al de nitrógeno (Duce, 1986; Prado-Fiedler, 1988; Prado-Fiedler & Fuenzalida, 1996) y la menor influencia continental que cabría esperar en la isla de Chiloé sobre el contenido de la deposición húmeda, la prioridad analítica sobre las muestras de lluvia se concentró en la determinación de las formas nitrogenadas, por lo que no se incluyeron determinaciones directas de fósforo total ni fosfato. Para la estimación de las cargas de fósforo y fosfato aportadas anualmente por precipitaciones se empleó el promedio ponderado por precipitación establecido para el lago Chapo en este mismo estudio (13,7 μg/L y 8,2 μg/L, respectivamente).

Tabla 68. Concentraciones de nitrógeno en precipitaciones del lago Popetán

MES	AMONIO	NITRATO
	μg/L	μg/L
enero		
febrero	53.6	23.5
marzo	46.5	20.4
abril	47	20.6
mayo		
junio	46.8	20.5
julio	42.2	18.5
agosto	45.6	20.0
septiembre		
octubre	53.1	23.2
noviembre	49.8	21.8
diciembre	52.6	23.0

Las cargas anuales totales de nitrógeno incorporadas directamente por las lluvias al espejo de aguas del lago Popetán ascendieron a 31,1 kg de nitrato y 71,0 kg de amonio. De este modo, la fracción inorgánica de nitrógeno directamente utilizable para asimilación por microalgas presente en las precipitaciones asciende a 102 kg anuales. Por falta de información analítica directa del contenido pluvial de nitrógeno total y carencia de valores de literatura para ellos en Chiloé, se efectúa en este informe una estimación de la fracción orgánica presente escalando el valor del contenido de nitrógeno inorgánico proporcionalmente

a lo determinado para el área del lago Chapo y adicionando este resultado último. De este modo se obtiene una estimación de 788 kg de nitrógeno total aportado en el año. Por su parte, la carga anual de fósforo total aportada por lluvias al lago Popetán se estima igual a 21 kg.

2. INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO DESDE CENTROS DE CULTIVO

2.1 Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos

El alimento utilizado por el único centro de cultivo ubicado en el lago Popetán corresponde a extruidos de marca comercial ALITEC. Esta marca indica como porcentajes nominales de P y N <1,2% y 8%, respectivamente.

Los resultados obtenidos para los contenidos de fósforo y nitrógeno, así como aquellos de carbono orgánico y materia orgánica total presentes en los alimentos de salmones utilizados se entregan en la Tabla 69. Los resultados de los análisis permiten apreciar que los proporciones efectivas de fósforo y de nitrógeno se encontraron por debajo del límite dado por el fabricante, como también lo fue la materia orgánica esperada, estimada sobre la base de la diferencia con el contenido de ceniza declarado. Esto permite emplear la indicación del alimento como un límite superior de aporte esperable de fósforo y nitrógeno al ambiente. El centro proyectaba continuar utilizando la misma marca y tipo de alimento en 1999.

Tabla 69. Valores de concentración de fósforo total, nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica presente en los alimentos del centros de cultivo del lago Popetán.

FOSFORO TOTAL %	NITROGENO TOTAL %	CARBONO ORGANICO %	MATERIA ORGANICA %
0,88	7,40	53,4 ± 0,07	86,7 ± 0,31

2.2 Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonideos

Para cuantificar el aporte de fósforo y nitrógeno que representan el alimento no consumido y las fecas de los peces del centro de cultivo del lago Popetán, se instalaron trampas de sedimentación de aporte en los trenes de balsas y de control natural en tres sitios

distintos, ubicados en sectores cercanos a la zona de ingreso del afluente principal, en el área central del lago, relativamente próximo al sector de balsas y en un sector ubicado en el tercio del lago que lleva a su desagüe natural. La selección de los puntos de anclaje obedeció a una disposición en el sentido de curso de agua. En verano no se pudo contar oportunamente con la autorización de ingreso otorgado por la gerencia de la empresa para suspender trampas desde las balsa jaula, por lo que la medición se efectuó en invierno y en primavera.

Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla 70. La duración de los anclajes estuvo determinada por el tiempo total de permanencia en la zona del lago para cada uno de los muestreos; para los controles fluctuó entre 69 y 88 horas y para los trenes de balsas entre 54 y 72 horas. El sedimento natural del lago Popetán, de tipo arcilloso fino, mostró una tasa muy baja de deposición, por lo que la cantidad acumulada no posibilitó la determinación de su contenido de fósforo y nitrógeno. La baja cantidad del mismo presente en la columna de agua, hace suponer que su proporción de contribución de P y N es despreciable frente a aquella de las partículas sedimentables emitidas desde las balsas. Los resultados permiten apreciar un flujo más intenso de material sedimentable en invierno y también una mayor proporción de nitrógeno y materia orgánica en su contenido. Este resultado coincide con el comportamiento del suministro de alimento en el centro de cultivo en cuanto a su cantidad.

Tabla 70. Sedimento captado por trampas de sedimentación en el lago Popetán y contenido promedio de nitrógeno total, fósforo total y materia orgánica de estos sedimentos. (Los valores se indican 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	70,5	1,2	nd	nd	nd
	Inviemo	71,3	3,06	nd	nd	nd
	Primavera	87,1	0,64	nd	nd	nd
Control centro lago	Verano	69,6	0,4	nd	nd	nd
	Inviemo	71,4	3,42	nd	nd	nd
	Primavera	87,5	0,44	nd	nd	nd
Control efluente	Verano	69,1	0,58	nd	nd	nd
	Inviemo	71,4	nd	nd	nd	nd
	Primavera	87,9	0,11	nd	nd	43,1
Tren de balsas	Verano	=	-	-	140	-
	Inviemo	53,5	305,59 ± 37,27	$7,31 \pm 1,73$	$2,85 \pm 0,18$	83,40 ± 1,00
	Primavera	71,7	$72,77 \pm 9,62$	$3,56 \pm 0,27$	$3,79 \pm 0,96$	63,13 ± 3,30

2.3 Contenido de fósforo y nitrógeno de los sedimentos del fondo

Los sedimentos del fondo en el lago Popetán fueron obtenidos bajo los puntos de trampas de control en verano y varios puntos bajo el centro de cultivo existente en invierno (en verano se carecía de autorización de acceso). La caracterización en cuanto a su porosidad y a sus contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se efectuó a partir de cinco réplicas en cada punto de muestreo, excepto bajo la balsa central en que se obtuvieron dos réplicas.

Los resultados obtenidos para la porosidad y contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se entregan en la Tabla 71. En razón a su constitución arcillosa, los sedimentos del lago Popetán se caracterizan por elevada porosidad (>0,95 en promedio), lo cual significa que una fracción considerable de los mismos se encuentra en la fase líquida y que por lo mismo su densidad y contenido de materia sólida es relativamente bajo. La baja variabilidad de los resultados, expresada en términos del error estándar, refleja asimismo la notable homogeneidad macroscópica observada. Diferencias respecto a la porosidad de los sedimentos entre distintos sectores del lago sólo resultaron significativas para el sector de afluente respecto a los demás (p<0,03).

Tabla 71. Composición de los sedimentos del fondo del lago Popetán. (Valores promedio y error estándar; MO= materia orgánica)

LUGAR	% P	% N	% MO	POROSIDAD
TERCIO DE AFLUENTE	0,21±0,02	1,45±0,10	61,4±5,5	0,954±0,0003
TERCIO CENTRAL DEL LAGO	0,20±0,01	1,37±0,18	71,9±1,4	0,970±0,0001
TERCIO DE EFLUENTE	0,18±0,01	1,28±0,15	70,4±4,3	0,966±0,0003
BALSAS: COSTADO SUR	0,24±0,02	2,00±0,04	71,9±0,8	0,972±0,0007
BALSAS: CENTRO	0,15±0,02	1,91±0,02	73.3	0,969
BALSAS: COSTADO NORTE	0,28±0,05	0,60±0,10	73,5±1,9	0,972±0,0002

Los contenidos de materia orgánica son elevados, superando el 60% en promedio en todos los lugares, como también lo son los contenidos de nitrógeno. La materia orgánica mostró una correlación significativa con la porosidad (r =0,8 ; p<0,05). El sector de balsas mostró una diferencia significativa (p<0,05) de sus medias en cuanto al contenido de nitrógeno respecto a los restantes sectores del lago, no así de fósforo que resultaron similares.

3. BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO POPETAN

3.1.1 Caracterización física de la columna de agua

Circulación de las aguas

Para determinar las corrientes del lago Popetán se utilizaron derivadores liberados a dos profundidades complementado con el anclaje de correntómetro a 3 m de profundidad. Las intensidades de corriente registradas por este último en verano presentaron magnitudes inferiores a 1 cm·s⁻¹ en casi toda la serie y solo se registraron dos pulsos de mayor intensidad, ambos menores a 2,5 cm·s⁻¹. Este registro se presenta a intervalos de 2 horas en la Figura 278.

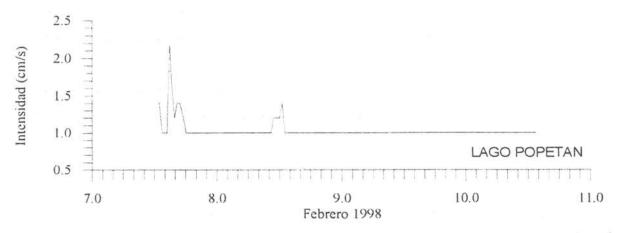


Figura 278 Serie de tiempo de magnitud en cm/s de la corriente en el lago Popetán a 3 m de profundidad.

La Figura 279 muestra el desplazamiento de los derivadores liberados a 0 y 5 m de profundidad inmediatamente antes de la instalación del correntómetro el día 7 de febrero. El derivador a 0 m de profundidad se desplazó hacia el NW mientras que aquel ubicado a 5 m derivó hacia el NE. Las intensidades medias de la corriente a 0 y 5 m fueron de 54,1 cm·s⁻¹ y 7,0 cm·s⁻¹ respectivamente.

Las corrientes registradas en junio presentaron intensidades menores a 2 cm·s⁻¹ y dirección predominante hacia el NW; en noviembre predominó la corriente hacia el SSW, alcanzando intensidades de hasta 6 cm/s y hacia el norte con intensidades menores a 1 cm·s⁻¹ (Fig. 280). Los derivadores seguidos a mediados de noviembre se desplazaron hacia el NW, siguiendo el eje del lago (Fig. 281). Las intensidades medias fueron de 11.5 cm·s⁻¹ a 0 m y 21.9 cm·s⁻¹ a 5 m.

El lago Popetán tiene un sistema de circulación por viento con una marcada estratificación vertical de intensidad. Las corrientes son más intensas en primavera que en invierno o verano. La corriente dominante tiene durante todo el año una orientación que favorece el transporte de volumen hacia el desagüe natural del lago.

Distribución de estaciones

El muestreo se realizó en un total de 5 estaciones distribuidas de modo de cubrir toda el área del lago y permitir un apropiado cálculo de isolineas para cada uno de los parámetros medidos. La información obtenida se presenta en forma de distribuciones horizontales en superficie y secciones verticales. La ubicación de las estaciones y de las dos secciones construidas se entrega en la Figura 282. La interpolación en las distribuciones se realizó empleando el método Kriging con variograma lineal en las horizontales y cuadrático en las verticales, teniendo una anisotropía de 1,0 con efecto Nugget 0 en error de varianza para ambos casos. La resolución obtenida es de 24 m en las distribuciones horizontales y de 33 m en distancia y 1,6 m en profundidad en el caso de las secciones verticales.

Estructura térmica

La Figura 283 muestra los perfiles verticales de temperatura registrados por medio de CTD en el lago Popetán en verano (a), invierno (b) y primavera (c). En verano, la distribución vertical estuvo caracterizada por homogeneidad térmica hasta los 6 a 7 m de profundidad en la mitad oriental (hasta la Est. 3) y en la vertiente norte del lago (Est. 4), extendiéndose por lo tanto hasta el fondo en buena parte del mismo. En el sector más profundo, caracterizado por

la estación 3, se extendió un fuerte gradiente de disminución desde los 7 m hasta el fondo, ubicado a poco más de 12 m. En esta capa la temperatura disminuyó en poco más de 2 aC. El margen occidental, caracterizado por el perfil vertical de la estación 5 exhibió un descenso progresivo de la temperatura desde la superficie hasta el fondo, el cual se presentó escalonado en dos segmentos de diferente gradiente con inflexión a los 5 m.

Los perfiles de temperatura realizados en junio (Fig. 283b) presentaron valores similares, entre 11 y 11.5 °C, entre la superficie y el fondo. Por lo tanto, el lago se caracterizó en invierno por una estructura vertical homogénea sin termoclina. En noviembre (Fig. 283c) se presentó nuevamente la termoclina, con un marcado gradiente vertical extendiéndose desde la superficie hasta el fondo. La diferencia de temperatura entre superficie y fondo en primavera fue del orden de los 3 °C.

La temperatura del lago registrada por el correntómetro presentó durante el verano una marcada periodicidad diaria (Fig. 284 a), registrándose las máximas temperaturas en la tarde y los mínimos valores alrededor del medio día, en directa correlación con las fluctuaciones de temperatura ambiental. El rango de variación para el período estudiado fue de 18.0 °C a 19.1 °C. El periodo de registro fue del 7 al 11 de febrero. En invierno (periodo de registro entre el 16 y el 18 de junio), la temperatura se mostró sin variaciones diarias y con una tendencia a descender progresivamente en el tiempo (Fig. 284 b). Por último en primavera (periodo de registro entre el 17 y el 19 de noviembre), retornó la oscilación diurna de la serie de tiempo de temperatura, pero con superposición de mayor variabilidad en el registro.

El registro de temperatura permite establecer que el lago Popetán es de tipo monomíctico, con mezcla total de su columna de agua en invierno, la que se ha concretado ya a partir de junio. En el resto del año se caracteriza por la formación de un gradiente de temperatura de superficie a fondo (Fig. 285 a), que con la progresión del calentamiento origina una separación en dos estratos en verano, con un epilimnion que se extiende hasta los 7 m de profundidad y un metalimnion que progresa desde ese nivel hasta el fondo.

Transparencia

El lago Popetán se caracterizó por una transparencia moderada a baja en condiciones de verano. En verano la transparencia media medida con disco Secchi fluctuó entre 3,2 y 3,6 m, con los menores valores en ambos extremos del lago, particularmente en el extremo oriental, donde se registró el mínimo absoluto en el primer muestreo de este período. A su vez

la mayor transparencia se registró en la zona media del lago (estación 3). La profundidad moderada de disco Secchi se mantuvo a lo largo de todo el año, alcanzando un máximo de poco más de 4 m en invierno, como puede apreciarse en la Tabla 72. Las oscilaciones de corto período no superaron los 40 cm en verano (20 cm en invierno). El rango total anual de variación fue de 1 m.

Tabla 72. Transparencia del lago Popetán medida como profundidad de disco Secchi en metros.

Mes de 1998	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 1999
Profundidad												
de disco	3,2	3,5	4,0	4,5	4,2	4,0	3,5	4,5	3,0	4,0	3,5	4
Muestreo 2	3,6	- 0.0.			4,0					3,9		

Turbidez

El lago se caracterizó durante todo el año por bajos valores de turbidez, en promedio menores de 0,80 NTU (Fig. 285 b). Esto resultó particularmente cierto en verano, período en el cual la distribución en superficie mostró una leve tendencia a aumentar desde su margen oriental al occidental (Figura 286). La distribución vertical en esta época del año estuvo caracterizada en un comienzo por un gradiente de disminución de la turbidez en dirección al fondo, cambiando posteriormente a una condición de mayor homogeneidad espacial (Figuras 287 y 288). En invierno la distribución en superficie mantuvo bajos valores, auque acusando un incremento local en el margen sudoriental, asociado al aporte de material suspendido arrastrado por las precipitaciones (Fig. 289). En profundidad el lago mantuvo una condición similar a la del verano, caracterizada por baja turbidez, con una distribución más homogénea en esta estación del año, aun cuando conservando una tendencia a disminuir hacia el fondo (Figs. 290 y 291).

En primavera los aportes de material arrastrado por los cursos de agua afluentes determinaron un considerable aumento de turbidez en las orillas del margen oriental y de la vertiente norte del lago (Fig. 292). En la columna de agua también se observó un aumento de los valores de turbidez al doble de los registrados en los muestreos previos (Figs. 293 y 294).

gradientes de aumento desde la zona del afluente, representada por la estación 1 hacia la zona del efluente, representada por las estaciones 5 y 4 (Figs. 321 y 322).

La variación del contenido de nitrógeno total en el lago Popetán a lo largo de una serie de tiempo anual fue baja, manteniéndose durante la mayor parte del año concentraciones entre 500 μg/L y 800 μg/L, con el mínimo en invierno (junio) y el máximo en diciembre (Fig. 323 a). Este patrón de distribución en el tiempo lleva a adscribir las altas concentraciones de nitrógeno a partículas de origen biológico.

Nitrato

El patrón de distribución en el tiempo del nitrato no es coincidente con aquel del nitrógeno total. En el caso del nitrato, las máximas concentraciones se alcanzaron en mayo y diciembre, con valores superiores a 260 μg/L (Fig. 323 b). El contenido de nitrato del lago Popetán se reveló muy elevado, con concentraciones sobre 220 μg/L en prácticamente todo el cuerpo de agua, esto es de uno a dos órdenes de magnitud superior a los restantes lagos del presente estudio.

La distribución superficial de verano fue homogénea y sólo el sector aledaño al afluente principal (sudeste) presentó niveles menores, aun cuando de todos modos altos (Fig. 324). La distribución vertical también estuvo caracterizada por concentraciones homogéneamente altas (Figuras 325 y 326). En invierno el nitrato mantuvo valores sobre 200 μg/L en la mayor parte de la extensión superficial del lago, con los máximos de más de 240 μg/L ubicados en su parte central (Fig. 327). La distribución vertical se mantuvo caracterizada por concentraciones homogéneamente altas, con algo de variabilidad en la zona cercana al efluente (Figs. 328 y 329). En primavera no se observaron cambios sustantivos en la distribución de superficie, percibiéndose concentraciones más altas en el cuerpo del lago que en sus afluentes (Fig. 330). La columna de agua mantuvo las elevadas concentraciones, pero con un gradiente vertical de variación que mostró un aumento de superficie a fondo del lago (Figs. 331 y 332)

<u>Nitrito</u>

Las concentraciones detectadas de esta forma de nitrógeno fueron bajas durante todo el año. En superficie las concentraciones más altas se presentaron la mayor parte de las veces cercanas a las orillas (Figs. 333, 334 y 335), en tanto que en profundidad el máximo tendió a registrarse en la parte media del lago, ya sea en la estación 2, o en su defecto en la estación 3 (Figs. 336 a 341), área aledaña a las balsas de cultivo (estación 2). Desde esta zona se

estableció en verano (Figs. 336 y 337) y en primavera (Figs. 340 y 341) un gradiente de disminución hacia los extremos del lago, de carácter en general más intenso en la Sección I.

La distribución en el tiempo de esta forma de nitrógeno se caracterizó por la aparición de dos períodos de máxima concentración, uno en mayo, con valores más altos en la zona profunda y otro en noviembre, con su mayor expresión en superficie. En invierno este compuesto micronutriente descendió hasta desaparecer en agosto (Fig. 342 a).

Amonio

El lago Popetán se caracterizó por concentraciones relativamente elevadas de nitrógeno amoniacal durante el año 1998, manteniéndose por sobre los 40 μg/L durante la mayor parte del tiempo y llegando a registrar un máximo absoluto de 100 μg/L en marzo (Fig. 342 b). Los mayores contenidos se observaron durante el otoño (marzo y abril) y los mas bajos se presentaron en diciembre.

En verano, la concentración del nitrógeno presente como amonio en superficie osciló entre menos de 40 μg/L cerca del afluente y cerca de 80 μg/L en su parte central (Fig. 343). La distribución vertical se caracterizó por un aumento gradual de concentración hacia el fondo, desde valores cercanos a 70 μg/L hasta poco más de 90 μg/L cerca del fondo en la estacion 2 (Figs. 344 y 345). Al igual que lo observado en verano, en invierno la distribución superficial se caracterizó por presentar concentraciones más altas en la parte central del lago, pero en esta oportunidad extendiéndose hacia la zona del efluente, cerca del cual se alcanzó el valor máximo; la disminución fue observada en dirección del afluente principal (Fig. 346). En las secciones verticales se advirtieron concentraciones máximas levemente superiores a 60 μg/L en las inmediaciones del fondo (Figs. 347 y 348).

En primavera se mantuvo el patrón de distribución horizontal en superficie, con concentraciones más altas entre la zona próxima al efluente y el centro del lago y disminución hacia el afluente principal (Fig. 349). La distribución vertical del nitrógeno de amonio en tanto tendió a una considerable homogeneidad de concentración, entre 50 μg/L y poco más de 60 μg/L (Figs. 350, 351).

Clorofila

Los valores de clorofila de verano fueron bajos, menores que 1 mg/m3 excepto en superficie (Fig. 352). Aquí la distribución horizontal se caracterizó por máximos relativos en el margen oeste y sector central del lago Verticalmente las mayores concentraciones de este

pigmento fotosintético se ubicaron en superficie, disminuyendo rápidamente hacia el fondo y en particular hacia la zona del desagüe (Figuras 353 y 354). En junio la clorofila disminuyó a poco más de la mitad de los valores de concentración del verano y su distribución en superficie mantuvo similar posición de los máximos y orientación de las isolíneas, de EN a SW (Fig. 355).

En primavera se experimentó un fuerte aumento de la concentración de este pigmento, encontrándose valores superiores 1 mg/m³ en todo el cuerpo de agua. En la superficie las máximas concentraciones se ubicaron en la mitad oriental del lago, con el valor más alto, de 4 mg/m³ en el centro del mismo (Fig. 356). En la distribución vertical se observó concentraciones de clorofila mayores de 3 mg/m³ en el tercio oriental del lago, más somero y cercano al afluente principal (Figs. 357 y 358).

La distribución de la clorofila en el tiempo durante el año 1998 mostró valores bajos durante la mayor parte del año, no superando los 2 mg/m³ entre enero y octubre, con la sola excepción de los primeros 3 a 5 m de profundidad entre agosto y septiembre, en que se alcanzó hasta 2,6 mg/m³ (Fig. 359 a). Hacia el final del período primaveral (noviembre y diciembre) la clorofila aumentó considerablemente, superando los 4 mg/m³ en superficie y extendiéndose valores mayores que 2 mg/m³ hasta profundidades superiores a los 5 m.

Oxígeno disuelto

El contenido de oxigeno disuelto del lago Popetán alcanzó durante el verano (enero a marzo) valores menores de 8 mg/L a profundidades mayores de 5 m, con un mínimo de 6,7 mg/L en febrero (Fig. 359 b). Como consecuencia de la fuerte y prolongada insolación que caracterizó toda la última etapa del verano de 1998 para la parte norte de la isla de Chiloé, el oxígeno en superficie disminuyó a un mínimo absoluto de 4,2 mg/L (correspondiente a una subsaturación de 44%) en marzo. Durante todo el resto del año el contenido de oxígeno disuelto del lago se mantuvo por sobre los 8 mg/L.

La distribución espacial a nivel superficial en verano exhibió valores entre 8,4 y 8,8 mg/L, correspondientes a saturaciones entre 92 y 97%. Los máximos se situaron en el margen occidental, cerca de la boca del efluente del lago, en tanto que los mínimos se alternaron entre la ribera oriental y el sector central del lago (Fig. 360). La distribución vertical se caracterizó por un fuerte gradiente de disminución de la concentración hacia el fondo, más acentuado en la Sección II y particularmente en el sector central de la misma, donde se ubicaron los mínimos (Estación 3), correspondientes a una saturación entre 65 y 71% (Figuras 361 y 362).

En invierno el oxígeno disuelto estuvo en toda la superficie por sobre los 9,5 mg/L, con la mayor concentración frente a la zona de ingreso del afluente principal (Fig. 363). La distribución vertical presentó poca variación entre la superficie y el fondo, con valores mayores de 9,7 mg/L salvo por la zona en torno a la estación 2, en que estos alcanzaron un mínimo de 9,4 mg/L (Figs. 364 y 365).

La distribución horizontal de primavera volvió a presentar las máximas concentraciones de superficie en el margen occidental y el mínimo en el sector central del lago, con una apreciable variabilidad en el corto plazo, de hasta 1 mg/L en tres días (Fig. 366). A su vez la distribución vertical presentó valores mayores de 9 mg/L en la columna de agua de los tercios del lago correspondientes a los extremos de su eje longitudinal, en tanto su zona central y en particular el sector cercano a la estación 3 presentó concentraciones algo menores (Figs. 367 y 368).

pH

La distribución horizontal de superficie en verano exhibió valores de pH levemente superiores a 6, donde los valores más altos se situaron en la parte central del margen sur del lago (Fig. 369). Verticalmente se estableció un gradiente de disminución hacia el fondo, con los mínimos en el sector central del lago (Figuras 370 y 371). En invierno se observó una notable uniformidad en el registro de pH, tanto a nivel superficial (Fig. 372), como en profundidad (Fig. 373). En primavera los valores más ácidos en superficie se situaron en los márgenes norte y sudoeste del lago (Fig. 374). La distribución vertical en esta época del año mostró una leve tendencia de aumento del pH a lo largo del eje longitudinal del lago en dirección oeste (hacia la estación 5) y un grado de variabilidad en la estación más cercana al afluente principal (estación 1), con diferencias de 0,5 unidades de pH en tres días (Figs. 375 y 376).

Los valores de pH observados in situ fueron levemente ácidos durante todo el año y se ubicaron en un rango entre 5,16 y 6,22, con el mínimo situado al final del invierno o comienzo de primavera (Fig. 377 a).

<u>Alcalinidad</u>

La alcalinidad del lago Popetán se caracterizó a lo largo del año por una fluctuación entre valores mínimos de 4 mg/L de CaCO3 en febrero (verano) y máximos de 14,8 mg/L de

CaCO3 en julio (invierno). Con la excepción de este último mes, el cuerpo de agua permaneció todo el año con alcalinidades menores de 10 mg/L de CaCO3 (Fig. 377 b).

En verano la alcalinidad fue muy baja, entre 4 y 5 mg/L de CaCO3 en prácticamente todo el cuerpo de agua. En superficie la distribución horizontal exhibió la tendencia a aumentar desde la ribera norte a la sur (Fig. 378). La distribución vertical fue distinta en ambas secciones: la sección 1 se caracterizó por gradientes horizontales en la parte media del lago en tanto que la sección 2 presentó un gradiente vertical a lo largo de todo el lago, con un máximo centrado a 5 m de profundidad. (Figs. 379 y 380).

En invierno pudo observarse un alternancia de corto plazo en el patrón de distribución horizontal de la alcalinidad, entre un aumento desde el centro del lago hacia el margen oriental (punto de ingreso del afluente principal) y un aumento desde la ribera sur a la norte, en dirección a los afluentes secundarios (Fig. 381), patrón que puede asociarse a los cambios en los volúmenes de aportes fluviales en respuesta a la precipitación. La distribución vertical muestra una situaciones diferentes para la vertiente norte y la vertiente sur del lago. En el caso de la vertiente sur, mostrada por la sección I, existió un hundimiento de bajos valores de alcalinidad hasta ocupar toda la columna de agua en la zona central del lago (estación 2, Fig. 382). En la vertiente norte, mostrada por la sección II, se nota de modo más claro la progresión en superficie de una cuña de agua de mayor alcalinidad que se origina en la estación 1, sobreponiéndose a las aguas de menor alcalinidad situadas en el resto del lago (Fig. 383).

En primavera la distribución horizontal mostró la dispersión de plumas de agua de mayor alcalinidad desde los puntos de afluencia de los dos tributarios más regulares, al SW y N del lago (Fig. 384). La distribución vertical continuó haciendo patente la forma de cuñas de progresión de aguas de mayor alcalinidad originadas en la zona de ingreso del afluente principal (Figs. 385 y 386).

3.2 BALANCE HIDRICO DEL LAGO POPETAN

El balance hídrico del lago se estableció como variación de su volumen a partir de la suma de los ingresos y egresos de agua, como ΔV = ingresos - egresos. Para establecer el balance hídrico de la cuenca del lago Popetán se cuantificaron como componentes de ingreso por medición directa la suma de los caudales de afluentes hídricos y los aportes por lluvia. Como componentes de egreso se cuantificó el caudal evacuado por el efluente del lago y la

evaporación. Los resultados parciales para cada uno de los términos del balance hídrico han sido individualmente reportados en las secciones precedentes del capítulo lago Popetán en este informe. Los montos globales anuales obtenidos a partir de las mediciones para los flujos de ingreso y egreso de aguas se indican en la Tabla 73.

Tabla 73. Estimación del balance hídrico del lago Popetán durante 1998

Ingreso directo por	Ingreso por Afluentes	Ingreso por Escurrimiento	Egreso por Evaporación	Egreso por Efluente	ΔV	
Lluvia /10 ⁸ m ³	10 ⁶ m ³	Difuso / 10 ⁸ m³	10° m3	10° m3	10 ⁸ m ³	
1,554	10,715	8,551	0,172	52,583	-31,934	

El resultado obtenido para el balance hídrico (valor negativo) indica que la cuenca del lago entregó más agua de la recibida durante el año. Una diferencia de magnitud tan sustantiva como la obtenida a partir de esta estimación habría de tener como consecuencia una práctica desecación del lago de no considerar la existencia de otra fuente de agua no medida, proveniente de aportes subterráneos. Tomando en cuenta la configuración de la hoya que circunda al lago y las características de su suelo, así como la elevada porosidad del fondo, la existencia de aportes subterráneos sustantivos es perfectamente plausible.

Si bien el lago Popetán experimentó un descenso apreciable de su volumen durante el año como producto de la sequía y frente a caudales mensurables del efluente en marzo de 1998 y enero de 1999 los aportes por afluentes en esos meses fueron tan reducidos que impidieron la medición de su flujo, cesando incluso por completo en enero de 1999 por sequedad de sus cauces, la magnitud del flujo negativo podría estimarse abultada en proporción al tamaño de la hoya que drena hacia el lago. Cabe que parte de la diferencia calculada resulte de una subestimación de los flujos de entrada respecto a aquellos de salida de agua, ya que estos últimos fueron medidos durante todos los meses del año pero no así los primeros. Considerando el hecho de que por falla de la fuente de poder del sistema registrador de precipitaciones no fue posible computar la lluvia que ciertamente ha de haber caído al lago durante mayo, la primera semana de junio y todo septiembre y que por la dificultad de acceso en varios meses del período húmedo del año no se controló el flujo de los afluentes menores, podría estimarse por comparación de los caudales individuales un error total por defecto entre el 35 % y el 40 % del valor estimado para el total de agua ingresada. Si esta proporción se

ampliase al 50 %, amplificando al doble el total de ingresos de agua, se tendrá de todos modos una diferencia negativa de flujo de 11,113 · 10⁶ m³ que habría de ser explicada por ingreso de aportes subterráneos. Puesto que el nivel del lago experimento un descenso efectivo, el monto del aporte subterráneo es algo menor que esta cantidad, pero de todos modos sustantivo.

El cálculo del tiempo de renovación del volumen del lago Popetán, estimado a partir la tasa de egreso de aguas imperantes en 1998, que ascendió a 52,755 · 10⁶ m³/año, permite establecer un resultado de 0,246 años. Esto implica que la capacidad de renovación anual del agua es de 4,1 veces el volumen total del lago.

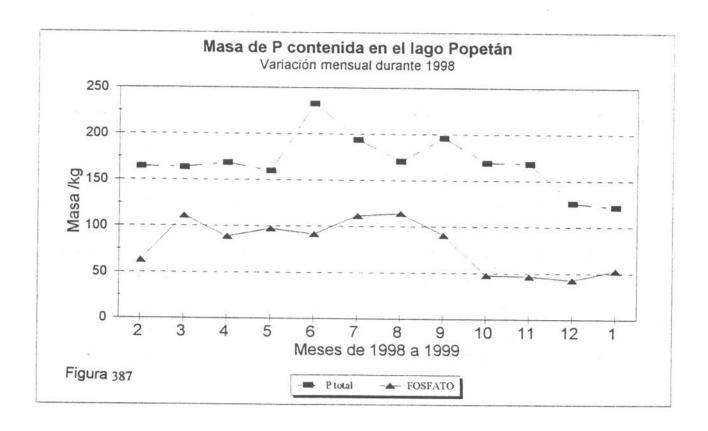
3.3 MASA TOTAL DE FÓSFORO Y NITRÓGENO CONTENIDA EN EL LAGO

Las masas totales de las principales formas de fósforo y nitrógeno obtenidas a partir de las sumas de sus contenidos por estrato en el lago Popetán se presentan en la Tabla 74. La masa total de fósforo contenida en el lago tuvo un promedio de 170 kg, con una considerable variabilidad intranual, que exhibió un rango desde un máximo de 233 kg en junio de 1988 hasta un mínimo de 121 kg en enero de 1999. La forma de fósforo de inmediata disponibilidad para productores primarios (ortofosfato) representó, con una masa promedio de 79,8 kg, una media de 47% del contenido total de fósforo. Su variabilidad intranual fue mayor que la del fósforo total, con un amplio rango entre un máximo de 114 kg en agosto y un mínimo de 42,7 kg en septiembre. El patrón de variación mensual de su abundancia fue similar al del fósforo total durante todo el año, pero alcanzando su máximo con posterioridad y declinado hasta el mínimo con antelación. La estacionalidad en ambos casos fue marcada (Fig. 387).

La masa total de nitrógeno contenida en el lago Popetán tuvo un promedio de 6,97 toneladas, con relativamente poca variabilidad de un mes a otro, excepto para la aparición del mínimo o máximo de concentración (Fig. 388), que ocurrieron respectivamente en junio con 4,17 toneladas y en diciembre con 8,96 toneladas. La fracción inorgánica del nitrógeno se mantuvo relativamente alta durante todo el año, oscilando entre un mínimo de 41% y un máximo de 91%, con una moda de 49%. Esta fracción estuvo representada fundamentalmente por nitrato con un 39,2% del nitrógeno total. Los contenidos máximos de nitrito (enero) y amonio (febrero) se presentaron estacionalmente desfasados respecto al nitrato (junio).

Tabla 74. Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago Popetán.

	FOSFORO	FOSFATO	NITROGENO	NITRATO	NITRITO	AMONIO	
MES	MES TOTAL /kg kg		TOTAL /kg	kg	kg	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	2653	1,5	572	
Enero	121	52,7	7996	2983	9,9	402	
PROMEDIO ANUAL	170	79,8	6967	2725	4,3	651	

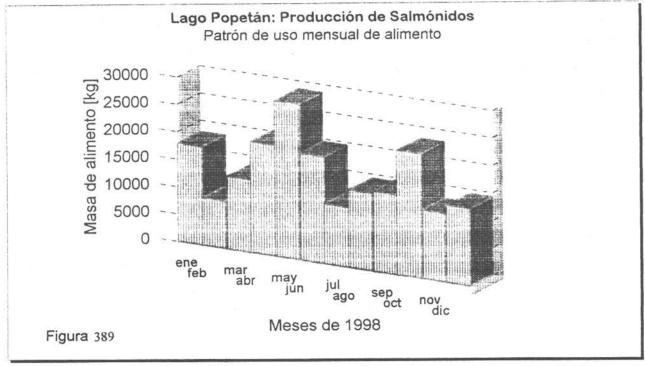


4. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SALMONIDEOS EN CULTIVO

En el lago Popetán se ubica un centro de cultivo, actualmente de propiedad de Pesquera Popetán Ltda., que ha operado allí durante toda la década. La información proporcionada por la empresa señala que la ocupación de balsas jaulas con stock de peces se ha llevado a cabo en la totalidad de los meses desde enero de 1995 al presente. Las especies cultivadas en los últimos dos años son tres (salmón del Atlántico, salmón coho y trucha arcoiris) primando en 1998 el salmón del Atlántico con 220.000 individuos por mes, los que fueron cosechados al alcanzar los 140 g de peso promedio.

Las densidades de peces por jaula empleadas por el centro han sido de 28.000 para salmón del Atlántico, 27.000 para salmón coho y 26.000 para la trucha arcoiris. El número de individuos cultivados mensualmente en 1998 fue de 220.000 entre enero y octubre para el salmón del Atlántico y 500.000 entre junio y diciembre para trucha arcoiris. Los planes de producción para 1999 tienen el propósito de mantener el volumen producido durante 1998.

El patrón de suministro del alimento a los salmónidos (Fig. 389) permite observar una fuerte concentración de la producción en los meses de otoño y primavera, que responde a las cosechas sucesivas de salmón del Atlántico al término del primer semestre y de trucha arcoiris al término del segundo semestre.



5. CAPACIDAD DE CARGA DEL LAGO POPETAN

El coeficiente de retención por sedimentación R para el lago Popetán, calculado a partir de la fracción del volumen de agua renovado al año, es de 0,397. A su vez, la carga total actual de fósforo por unidad de área del lago (ΣL) es de 4995 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados arrojan una concentración total de P en el lago de 91,2 mg·m⁻³ empleando el modelo de Dillon y Rigler. La masa total de P en el lago estimada a partir de esta concentración es de 1,185 toneladas. La diferencia de 1 tonelada respecto a la masa calculada por segmentos de volumen corresponde a la masa presente al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación de P estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 7,98 toneladas. La discrepancia entre ambas estimaciones es considerable.

La carga crítica de fósforo para el lago Popetán obtenida con el uso del modelo aplicado dio como resultado 494 mg·m⁻²·a⁻¹. Puesto que la carga actual medida (4995 mg·m⁻²·a⁻¹) es considerablemente mayor que la carga crítica, la capacidad de carga para este lago respecto a fósforo se encuentra totalmente sobrepasada, existiendo una sobrecarga de 7,2 toneladas anuales.

Tomando en consideración que la composición estequeométrica de la materia orgánica en cuanto a su proporción de nitrógeno y fósforo es de 7,2 : 1 en términos de masa, al efectuar con ella una proyección de la carga crítica de fósforo al nitrógeno se obtiene una carga de 5120 mg·m⁻²·a⁻¹ de N. Si se compara esta estimación con la carga de nitrógeno por unidad de área del lago (9200 mg·m⁻²·a⁻¹), se constata la existencia de más nitrógeno que el requerido para sostener una relación equivalente a la de la materia orgánica con la carga crítica de fósforo, por lo que el nitrógeno no es limitante de la producción primaria en el lago Popetán

Por otra parte, la carga total actual de nitrógeno por unidad de área del lago (ΣL) es de 9200 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados, empleando el modelo de Dillon y Rigler, arrojan una concentración total de N en el lago de 168 mg·m⁻³. La masa total de N en el lago estimada a partir de esta concentración es de 2,2 toneladas. La diferencia de 4,8 toneladas corresponde a la masa de nitrógeno al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 14,7 toneladas de N.

La carga estimada por la fórmula de Bachmann arrojó 301550 mg·m⁻²·a⁻¹, que es considerablemente superior a la carga actual, indicando que el lago Popetán mantiene

capacidad disponible para incorporar una carga de nitrógeno superior a la que le está recibiendo actualmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el lago Popetán presenta limitación por fósforo y no existe actualmente margen de carga disponible para ser llevado a producción piscícola sin cambiar el estado de trofía del cuerpo de agua, sino que, por el contrario, la evidencia indica que existe sobrecarga de P. Esta sobrecarga puede determinar cambio del actual estado de trofía del lago con su consecuente deterioro. Probablemente gracias a la elevada tasa de recambio que poseen las aguas de este lago, los cambios se encuentran todavía en una etapa de evolución temprana como para introducir una acción correctiva oportuna.

6. SENSIBILIZACIÓN DEL MODELO EMPLEADO

El lago Popetán presenta una elevada tasa de renovación de sus aguas, recambiándose la totalidad de su volumen cuatro veces en el año y su dinámica hasta los 5 m de profundidad es apreciable, tendiendo el transporte de volumen hacia el desagüe natural. Consecuentemente, la sensibilización del modelo respecto del coeficiente de retención por sedimentación R, muestra que la variación de la carga del lago Popetán es relativamente robusta a variaciones en la retención por los sedimentos. La variación de la carga retenida responde en forma aproximadamente lineal hasta una variación de aproximadamente un 15%, produciendo para ese valor un 10% de diferencia en la concentración final del lago (de aumento o disminución, según la dirección de cambio). Para valores más altos, el impacto de la variación de R sobre la concentración cae exponencialmente.

Tabla 77. Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto de disminución de producción total de salmónidos en centros de cultivo del lago Popetán

Salmónidos adicionales (ton./año)	1	10	25	50	65	75	93
Carga total de P ingresada por todas las vías al lago (mg·m ⁻² ·a ⁻¹)	4947	4511	3784	2574	1896	1363	491
Concentración esperada de P para todo el volumen del lago mg·m-3	90,3	82,4	69,1	47,0	33,7	24,9	9,0

La sensibilización del modelo utilizado respecto a la reducción de biomasa de salmónidos cultivados en el lago Popetán arroja los resultados que se entregan en la Tabla 77. Es posible observar que alcanzar niveles de carga inferiores a la carga crítica estimada para este lago prácticamente obligaría al cierre de la piscicultura existente, por cuanto la reducción de salmónidos en cultivo requerida alcanza a las 93 toneladas anuales, lo que equivale aproximadamente a un 90% del cultivo actual.

Puesto que las concentraciones de fósforo medidas actualmente en el lago y los valores de las restantes características descriptoras de su estado son claramente indicativas de condiciones de mesotrofía, se estima que una acción de este tipo, además de social y económicamente perjudicial, resulta ya inoportuna. Sin embargo, la mantención de la actual condición de mesotrofía, cuyo criterio es no sobrepasar una concentración de fósforo de 35 mg/L (OCDE, 1982), requiere de todos modos una reducción que alcanza a 65 toneladas de salmonídeos (Tabla 77). Similares efectos con reducciones menores estarían ligadas a alimentos con menor liberación de fósforo hacia el ambiente.

7. <u>APORTE DE QUIMIOTERAPÉUTICOS DESDE LOS CENTROS DE CULTIVO Y PERSISTENCIA EN EL AMBIENTE</u>

Determinación de quimioterapéuticos en las zonas de centros de cultivo del lago Popetán.

En el lago Popetán las muestras de agua para análisis de quimioterapéuticos se tomaron en los meses de enero, junio y noviembre, sometiéndolas a determinación de Oxitetraciclina, Trimetoprim, Sulfametoxazol, Sulfadimetoxina, Eritromicina y Coramfenicol. Considerando el reducido tamaño del lago, la toma de muestras no se limitó a las aguas de la zona de balsas del centro de cultivo, extendiéndola a la totalidad de las estaciones de muestreo ordinario de aguas. Al tomar conocimiento en junio de la época de aplicación de quimioterapéuticos por parte del centro, desarrollada entre julio y septiembre, se efectuó un muestreo adicional de aguas en agosto. Adicionalmente se obtuvieron muestras de sedimentos en febrero, las que fueron sometidas a determinación de los mismos quimioterapéuticos indicados para aguas.

La totalidad de las muestras de agua de enero y noviembre, así como aquellas del muestreo supernumerario de agosto mostraron resultados negativos para todos los quimioterapéuticos. Similar fue el resultado obtenido para las muestras de agua de junio en lo

que respecta a Sulfametoxazol, Oxitetraciclina, Eritromicina, Sulfadimetoxina y Coramfenicol. Los límites de detección y cuantificación para los análisis de estos quimioterapéuticos aparecen indicados en la Tabla 78. En junio, las muestras de agua resultaron positivas para Trimetoprim, el cual pudo ser cuantificado en todas las estaciones.

Tabla 78. Límites de detección y de cuantificación de quimioterapéuticos

Quimioterapéutico	Límite de detección /ppm	Límite de cuantificación /ppm
Sulfametoxazol	1.10-3	3,3·10 ⁻³
Trimetoprim	0,07	2,5
Oxitetraciclina	0,7	2,4
Eritromicina	0,1	WOLDHARD?
Sulfadimetoxina	0,7	2,5
Cloramfenicol	0,3	1

La distribución horizontal de las concentraciones de Trimetoprim en superficie (Fig. 390) permite observar la presencia de este quimioterapéutico en la totalidad de las aguas del lago Popetán en junio y la ocurrencia de un gradiente de disminución de la concentración desde un máximo de 9,37 ppm ubicado en el noroeste del cuerpo de agua, hasta un mínimo en la zona noroeste. A su vez, la distribución vertical (Fig. 391) acusó la mayor abundancia en superficie de este compuesto, con un gradiente de disminución tanto en sentido vertical como horizontal desde oeste a este, de 7 ppm en un kilómetro, alcanzando un mínimo en la parte más profunda del lago. La distribución encontrada para este quimioterapéutico y en particular la ubicación de su área de máximo permite establecer que su fuente se encontró en el margen noroeste del lago, probablemente asociado a tratamiento de ganado bovino que se mantiene en ese lugar de la cuenca y sin relación con el centro de cultivo, ingresando en superficie por escurrimiento con el afluente 3, que se ubica inmediato a la zona del máximo (Fig. 272).

En sedimentos los resultados fueron también positivos para Trimetoprim y negativos para los restantes quimioterapéuticos analizados. Las muestras de sedimentos fueron obtenidas en tres zonas del lago a lo largo de su eje principal por el centro del mismo, correspondientes a cada uno de sus tercios (zona de afluente principal al este, zona de balsas y zona del efluente al oeste). En cada una de estas zonas se tomaron 5 réplicas de sedimento. La zona del afluente estuvo caracterizada por un promedio \pm error estándar de 26,04 \pm 13,56 ppm, la zona del efluente por 9,32 \pm 0,77 ppm y la zona de las balsas jaulas por 8,19 \pm 1,66

ppm, avalando también estas cifras la indicación de que la introducción de Trimetoprim tiene una fuente distinta al centro de cultivos, en cuyo fondo se encontraron las concentraciones más bajas.

En los sedimentos de la zona de balsas una de las muestras fue dividida al momento de la obtención en tres segmentos verticales para establecer posibles gradientes relacionados con la degradación de los quimioterapéuticos en el tiempo. Las concentraciones determinadas en cada segmento se indican en la Tabla 79. Esta tabla permite visualizar la existencia de un gradiente de disminución de la concentración de Trimetoprim con la profundidad en el sedimento, que refleja el descenso de este quimioterapéutico en el tiempo.

Tabla 79. Persistencia del Trimetoprim en sedimentos de fondo del lago Popetán

Profundidad del sedimento / cm	Trimetoprim / ppm (prom. ± desv. est.)
0 - 2	13,12 ± 0,01
2 - 4	$6,17 \pm 0,9$
> 4	< 0,07

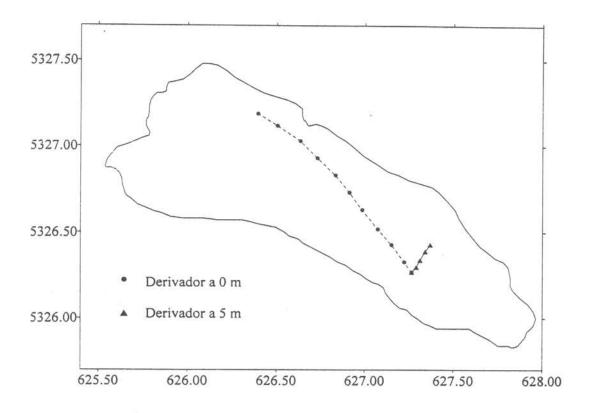
La ausencia de Trimetoprim en aguas de agosto, oportunidad en que se efectuó el muestreo adicional de control y la presencia en sedimentos obtenidos a comienzos del año (febrero de 1998), permite establecer que este quimioterapéutico se asocia a partículas orgánicas, sedimentado y desapareciendo por lo tanto en corto plazo del agua. Su persistencia en los sedimentos es sin embargo más larga, permaneciendo a la luz de estos resultados de un año a otro.

8. AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO DE SALMONIDEOS

El lago Popetán es de pequeño tamaño en cuanto su extensión areal y se encuentra expuesto al viento en toda su extensión. Su fondo esta cubierto por arcillas finas no mezcladas con otros sedimentos. Su distribución de temperatura es uniforme, al igual que aquella de pH, caracterizada por un leve acidez (5,2 a 6,2) y la oxigenación es alta en toda su extensión. El desarrollo de línea de costa es escaso. Las corrientes responden exclusivamente al viento,

son verticalmente estratificadas en cuanto a intensidad y presentan una distribución semejante a lo largo de la extensión del lago. En consecuencia, las condiciones determinantes para la ubicación de centros de cultivo en algún área preferencial están dadas exclusivamente por la batimetría. De allí que el sector central del lago sea el más apropiado en términos ambientales para este efecto.

ANEXOS DE FIGURAS LAGO POPETAN



Profundidad (m)	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s)
0 m	1.27	54.11
5 m	0.19	6.95

Fig. 279 Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago Popetan, 13 a 16 horas del 7 de febrero de 1998.

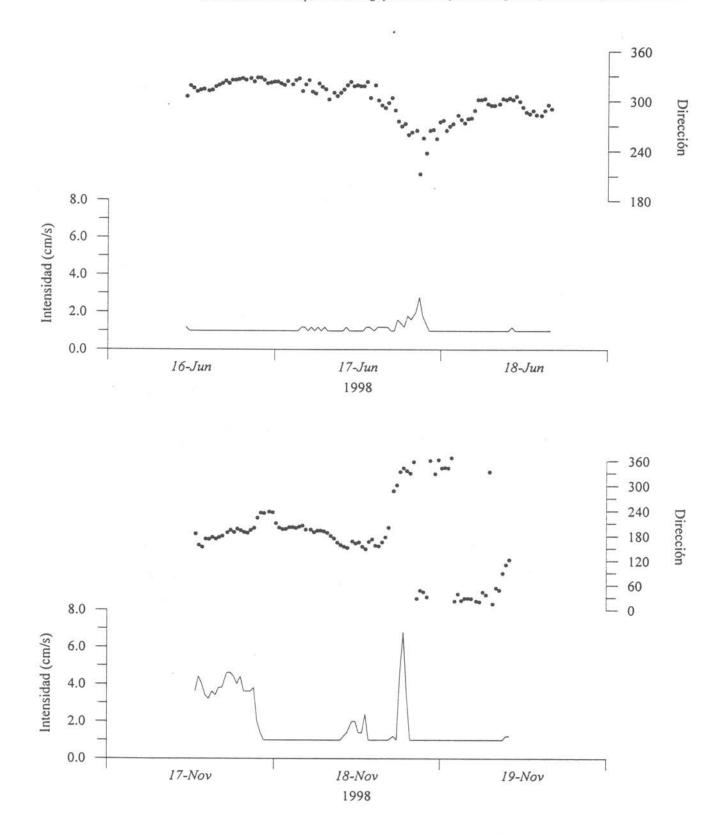
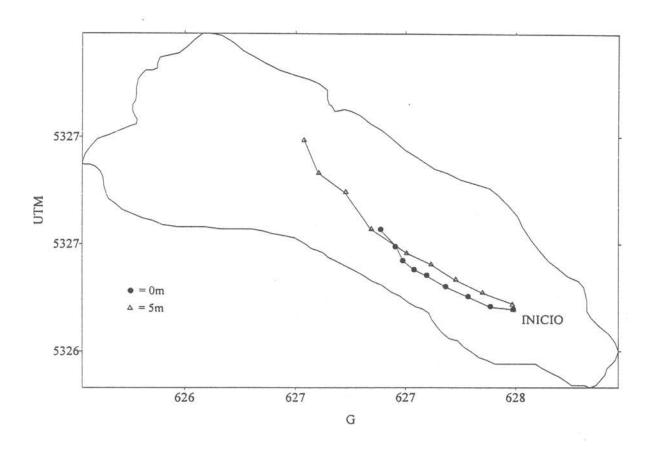


Fig. 280 Series de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el lago Popetan registrada en junio y noviembre de 1998.



Profundidad	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s
0 m	0.71	11.5
5 m	1.23	21.9

Fig. 281/ Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago Popetan, noviembre de 1998.

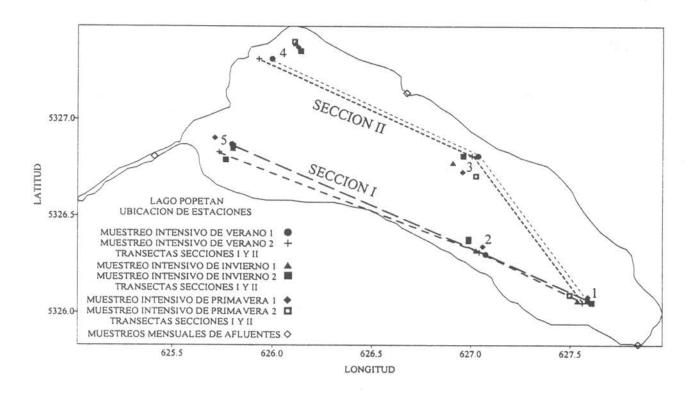


Fig. 282. Ubicación de estaciones de muestreos en el Lago Popetán.

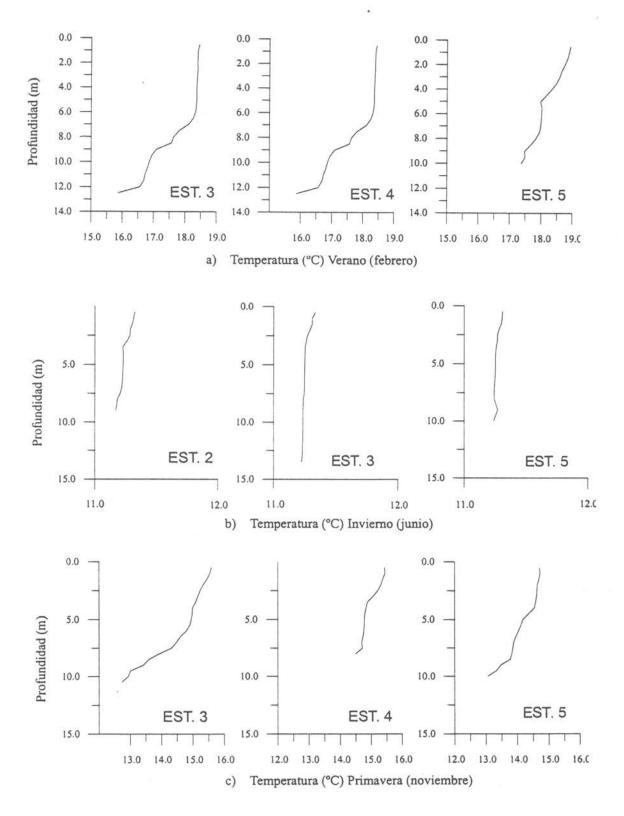
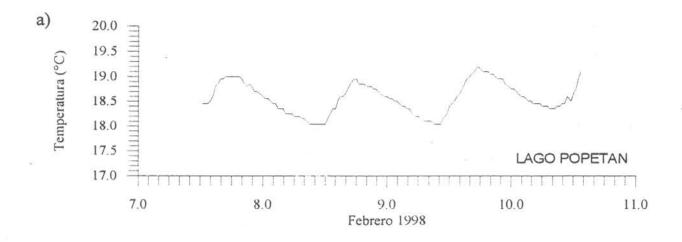


Fig. 283 Perfiles de Temperatura del lago Popetán en 1998



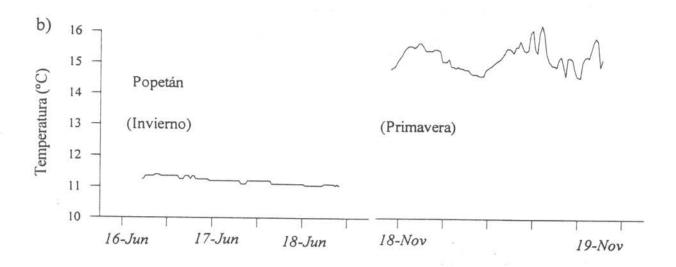
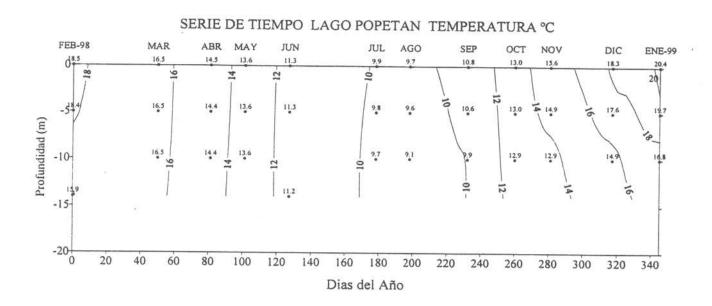


Fig. 284 Variación diaria de temperatura del agua en el lago Popetán registradas en verano (a), invierno y primavera (b) durante 1998.



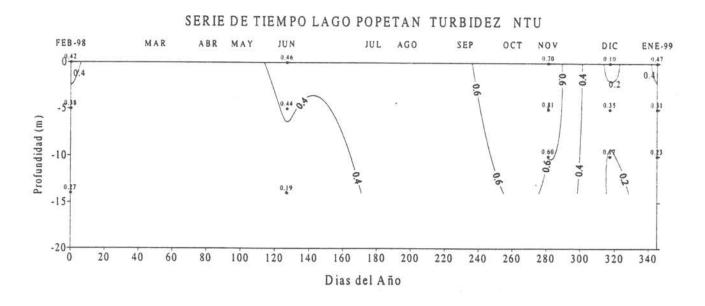
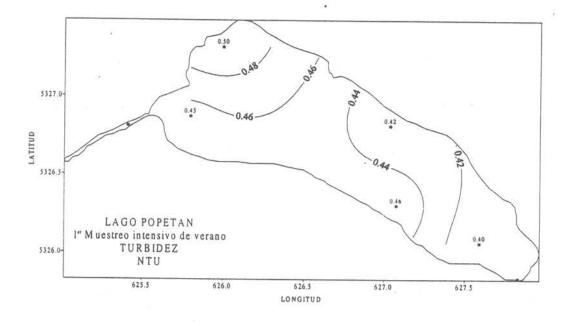


Figura 285 Variación temporal anual de Temperatura en °C y Turbidez en NTU en el lago Popetán.



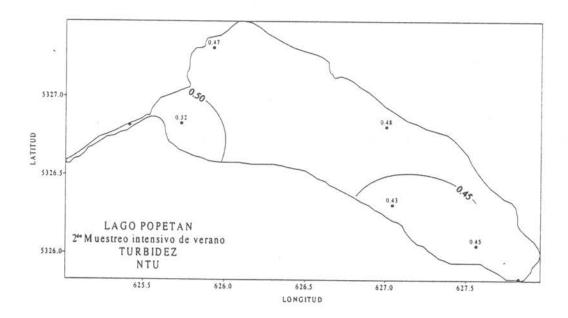


Figura 286 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetan.

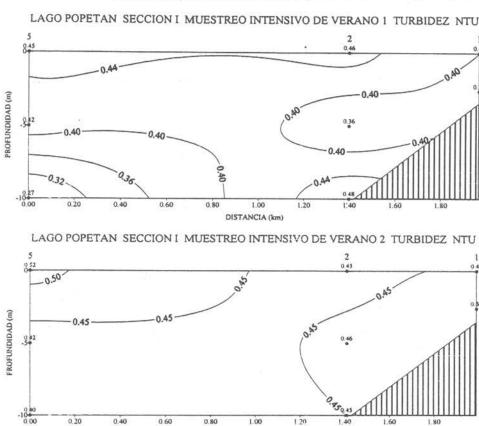


Figura 287 Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago Popetán

DISTANCIA (km)

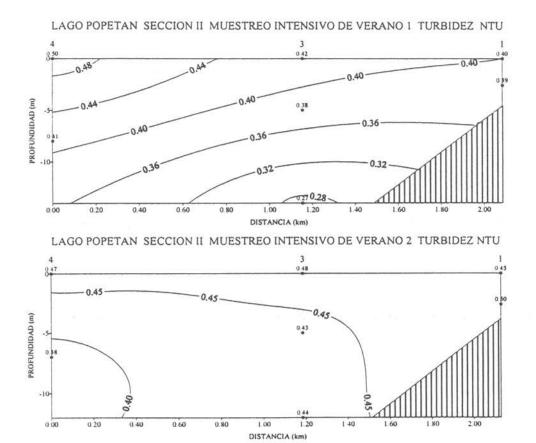
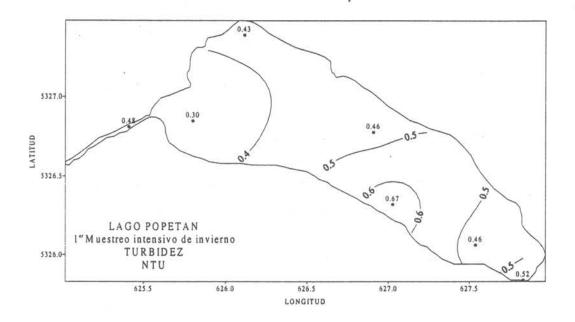


Figura 288 Sección vertical Nº 2 de turbidez en NTU en el lago Popetán



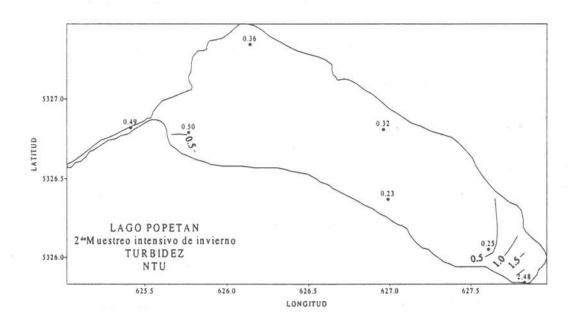
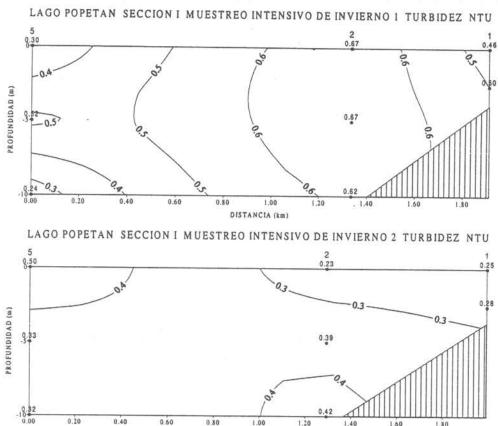


Figura 289 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetan.



DISTANCIA (km) Figura 290 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Popetan.

0.80

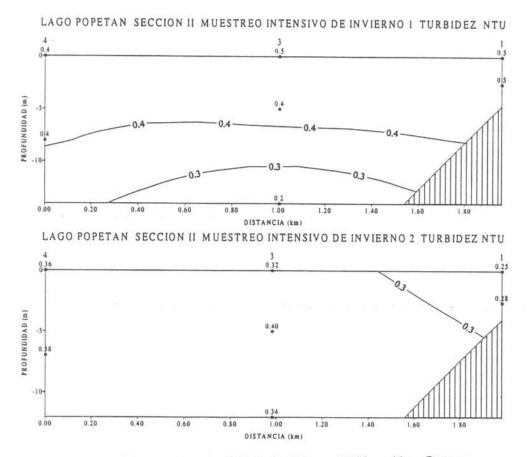
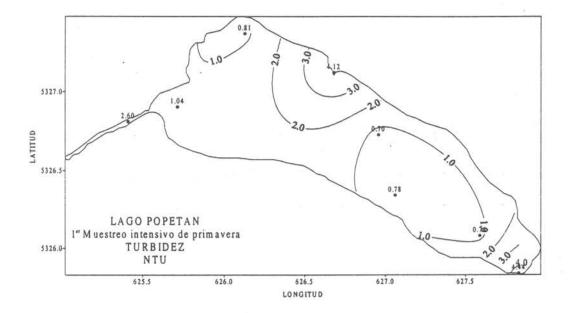


Figura 291 - Sección vertical Nº2 de Turbidez en NTU en el lago Popetan.



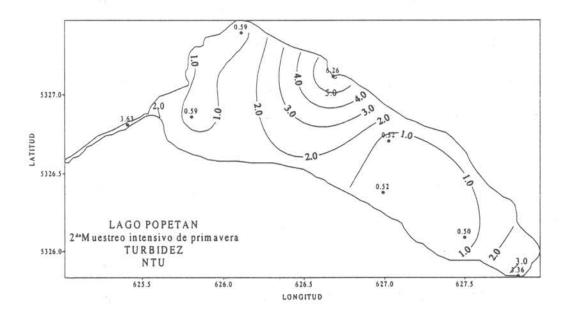


Figura 292 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago Popetan.

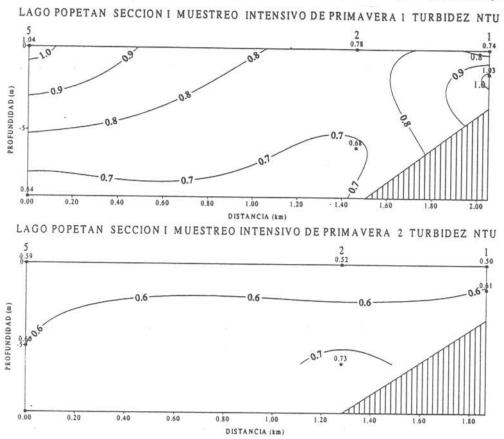


Figura 293 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago Popetan.

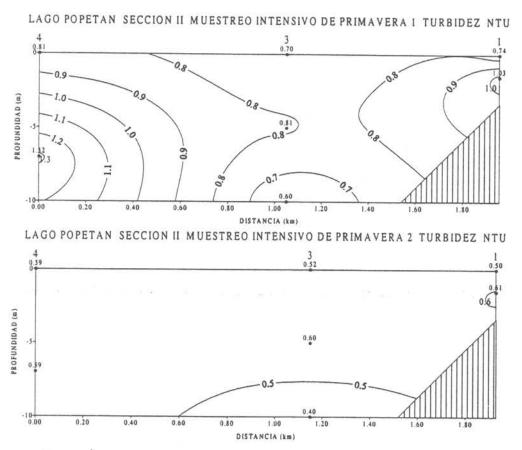
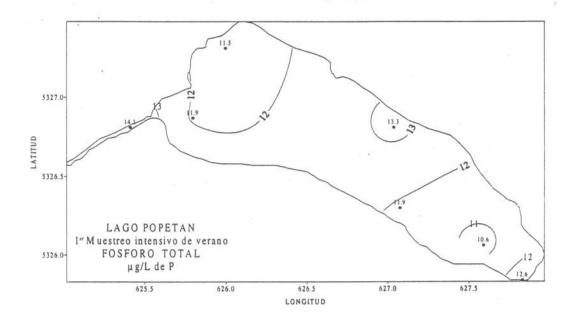


Figura 294 Sección vertical Nº2 de Turbidez en NTU en el lago Popetan.



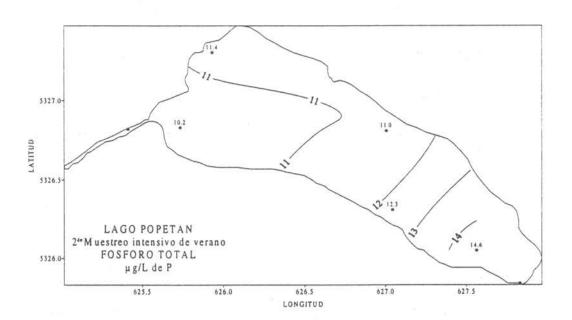
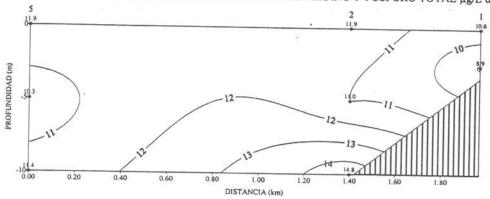


Figura $\,$ 295 , Distribución horizontal de Fósforo total $\mu g/L$ de P a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 FOSFORO TOTAL $\mu g/L$ de P



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFORO TOTAL μ g/L de P

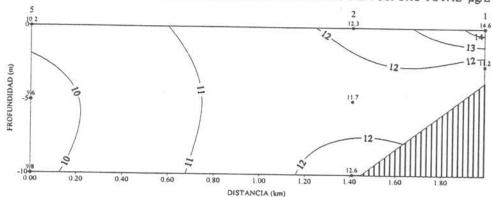
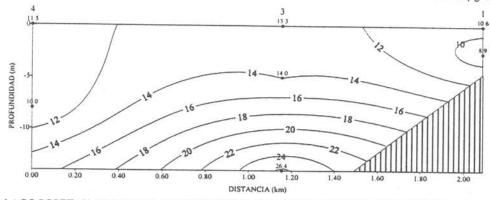


Fig. 296 Sección vertical Nº 1 de Fósforo total μg/L de P en el lago Popetán

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO I FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFORO TOTAL $\,\mu g/L$ de P

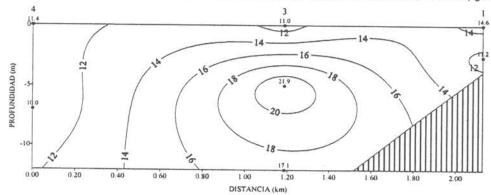
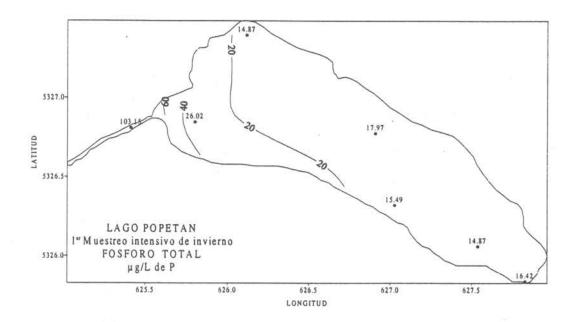


Fig. 297 Sección vertical Nº 2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Popetán



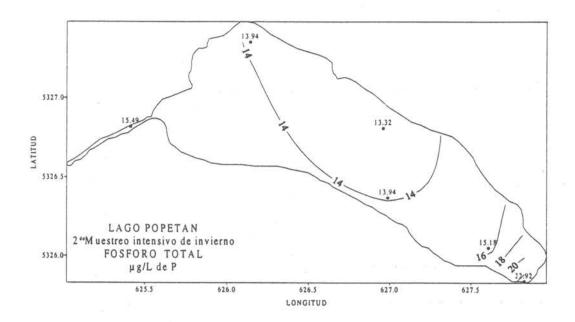
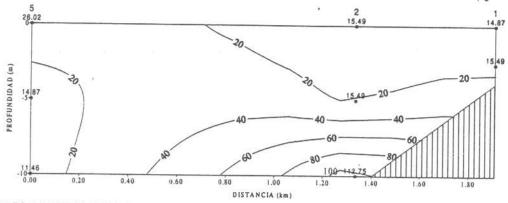


Figura 298 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I FOSFORO TOTAL μ g/L de P



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

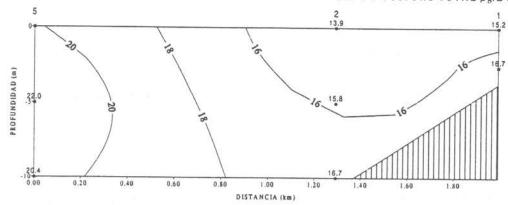
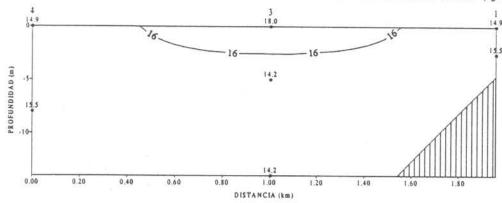


Figura 299. Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

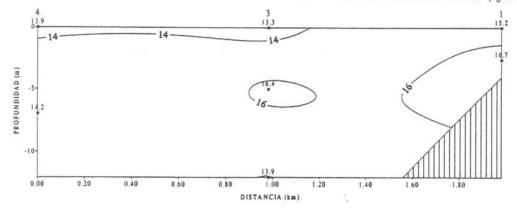
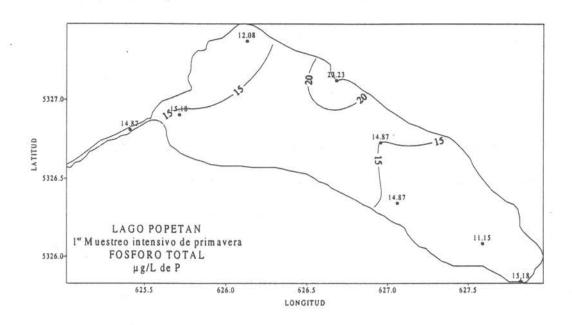


Figura 300 Sección vertical Nº2 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetan.



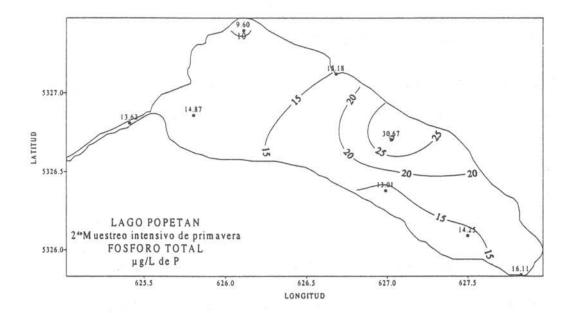
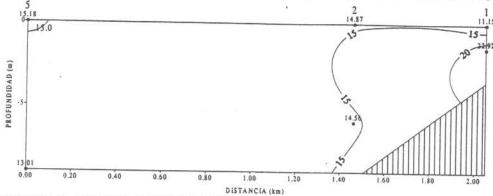


Figura 301 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

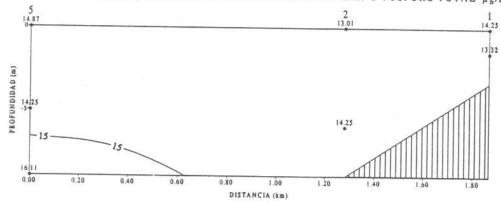
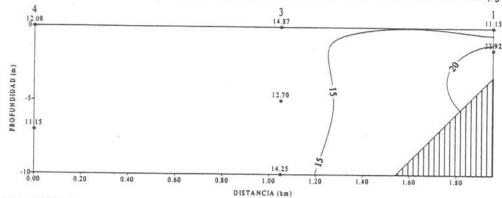


Figura 302 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

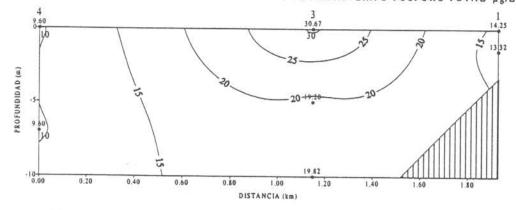
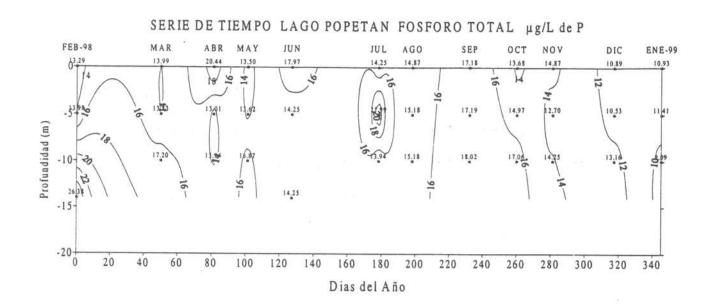


Figura 303 Sección vertical Nº2 de Fósforo total μg/L de P en el lago Popetan.



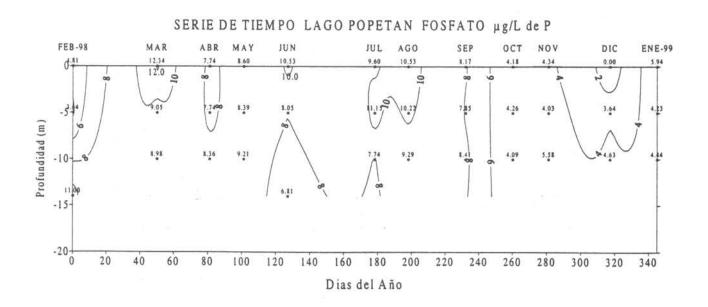
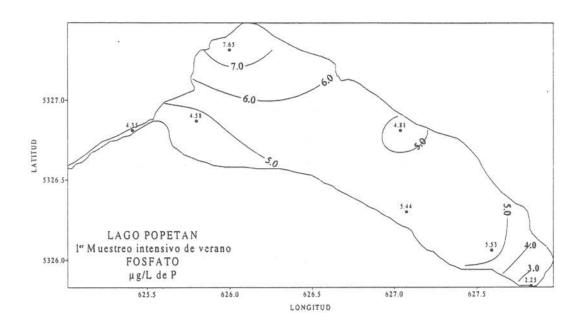


Figura 304 Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en µg/L de P en el lago Popetán.



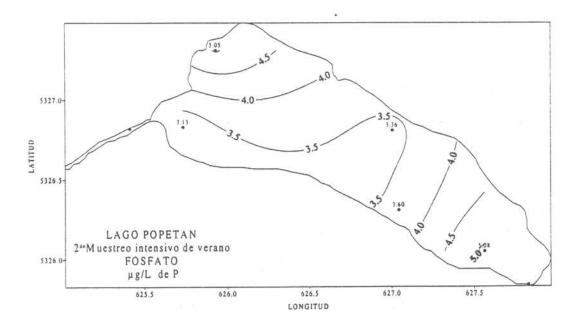
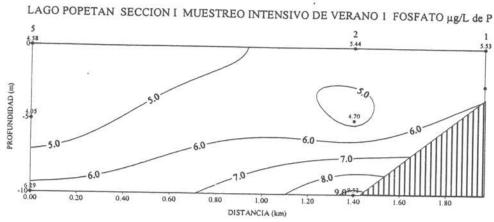
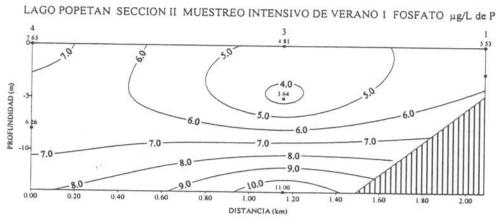


Figura 305 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetan.



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFATO μg/L de P

Fig. 306 Sección vertical Nº 1 de Fosfato μg/L de P en el lago Popetán



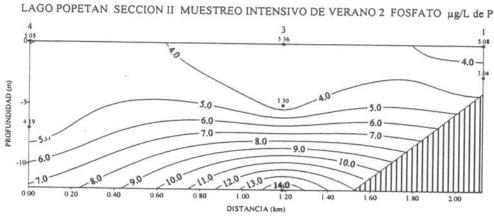
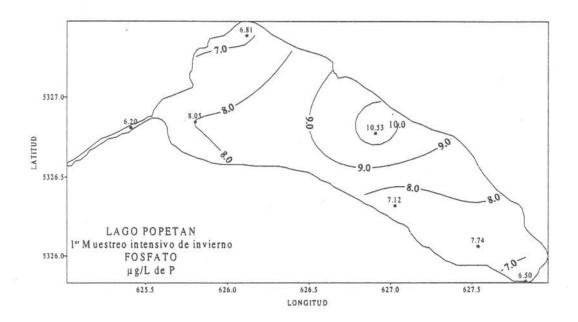


Fig. 307 Sección vertical Nº 2 de Fosfato μg/L de P en el lago Popetán



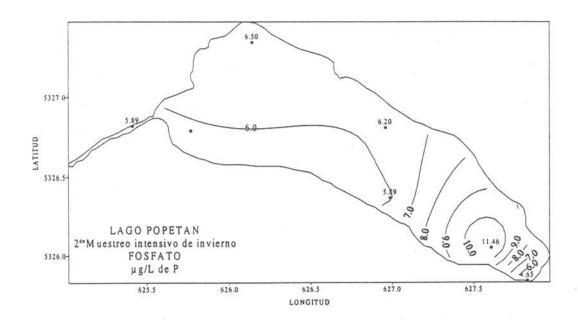


Figura 308 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago Popetan.

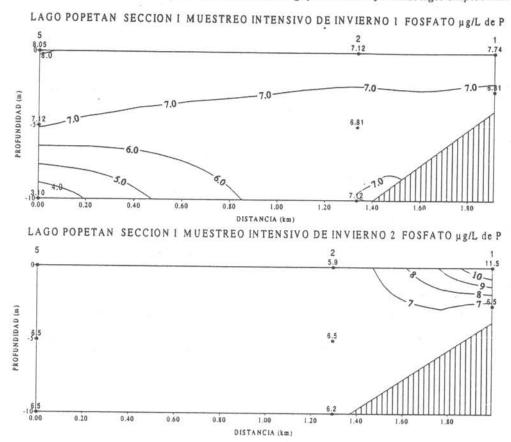


Figura 309 Sección vertical Nº1 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetan.

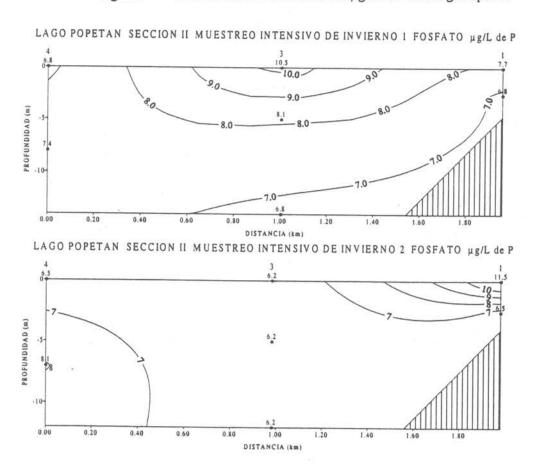
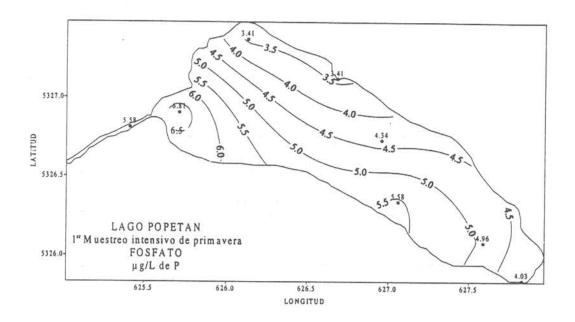


Figura 310 Sección vertical Nº2 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetan.



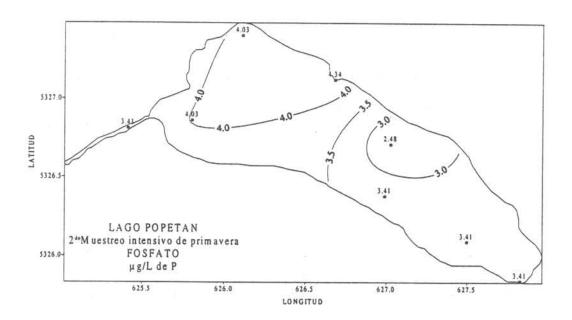
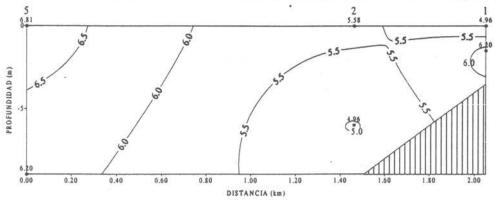


Figura 311 Distribución horizontal de Fosfato μ g/L de P a nivel superficial en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFATO µg/L de P

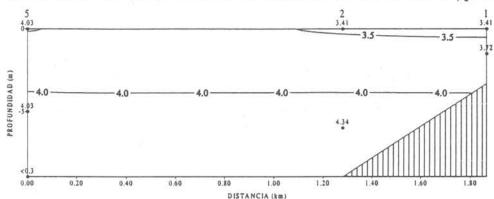
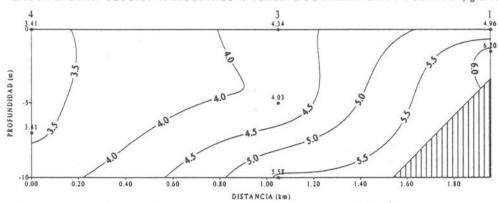


Figura 312 Sección vertical Nº1 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I FOSFATO µg/L de P



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFATO µg/L de P

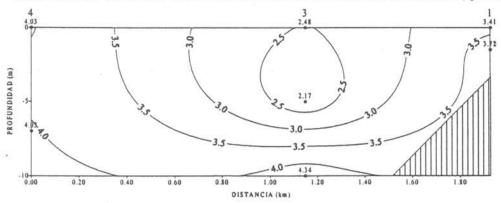
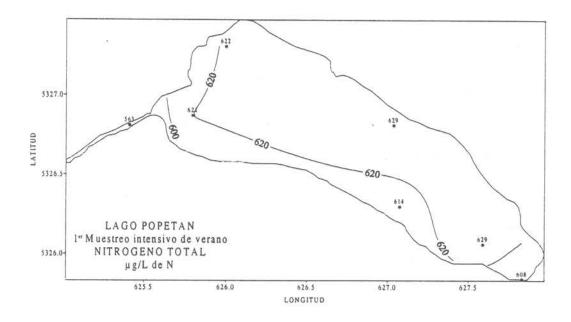


Figura 313 Sección vertical Nº2 de Fosfato µg/L de P en el lago Popetan.



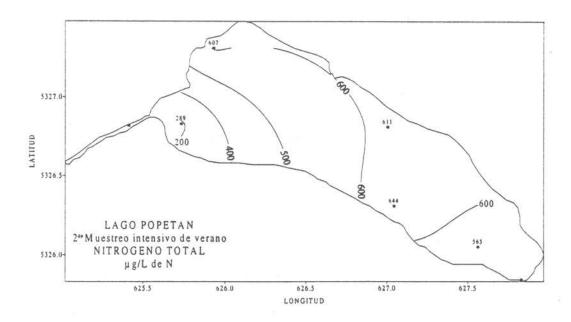
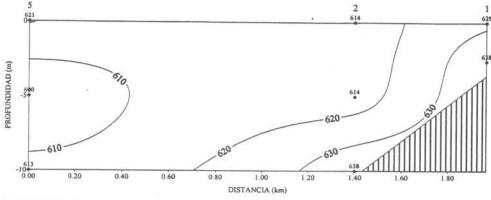


Figura 314 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITROGENO TOTAL μg/L de N

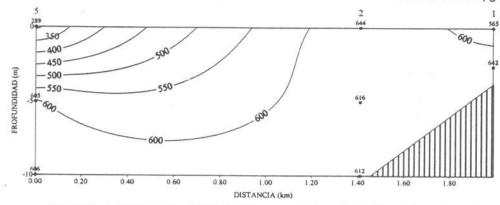
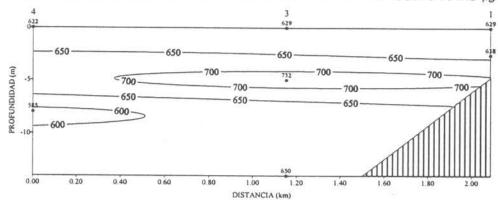


Fig. 315 Sección vertical Nº 1 de Nitrogeno total μg/L de N en el lago Popetán

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 NITROGENO TOTAL μg/L de N



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITROGENO TOTAL μ g/L de N

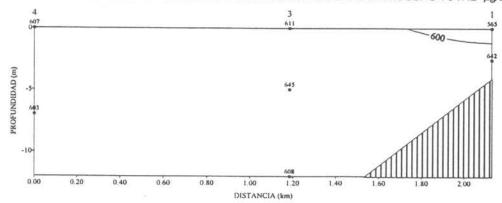
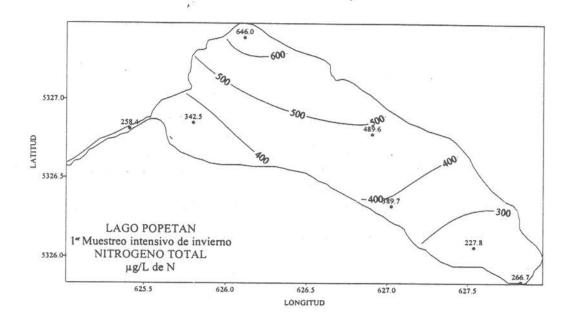


Fig. 316 Sección vertical Nº 2 de Nitrogeno total μg/L de N en el lago Popetán



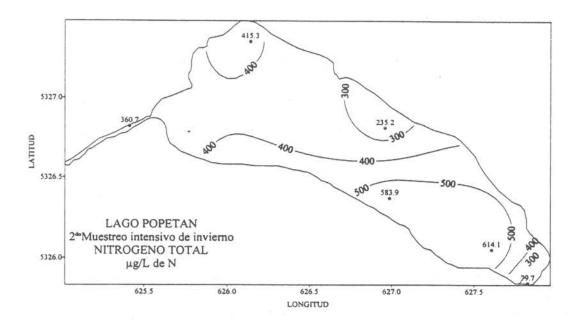
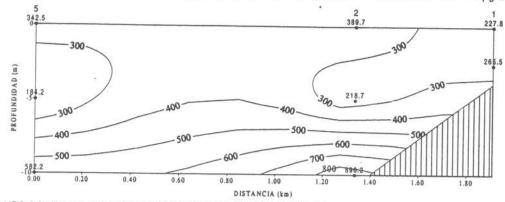


Fig. 317 Distribución horizontal de Nitrogeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetán.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 NITROGENO TOTAL μg/L de N



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

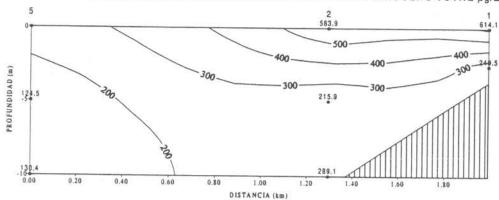
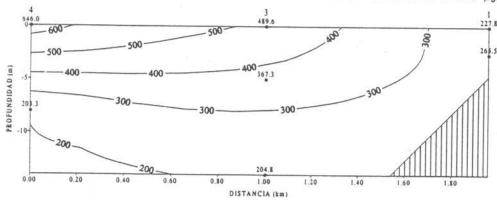


Figura 318 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

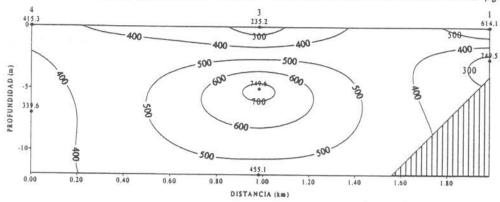
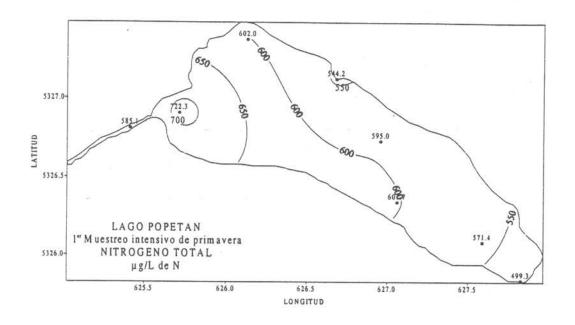


Figura 319 Sección vertical Nº2 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Popetan.



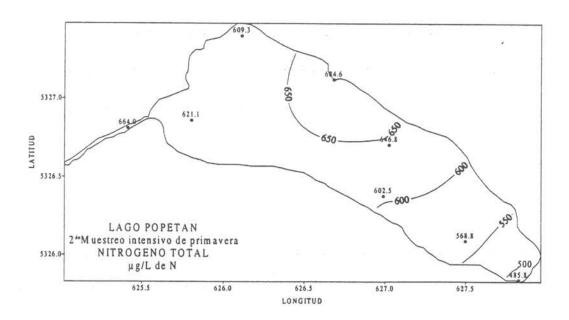
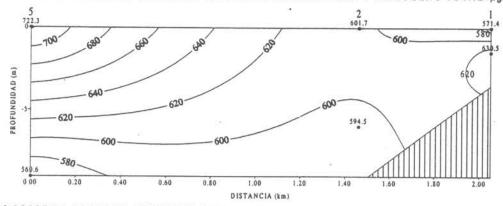


Figura 320 Distribución horizontal de Nitrógeno total μ g/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

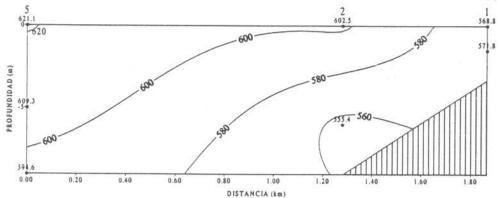
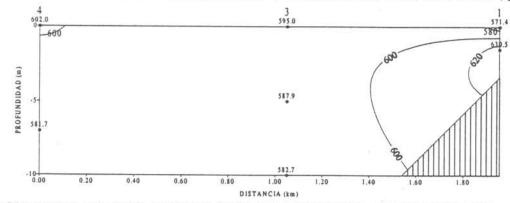


Figura 321 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

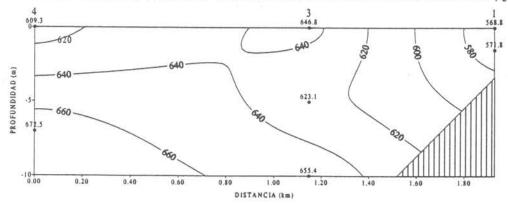
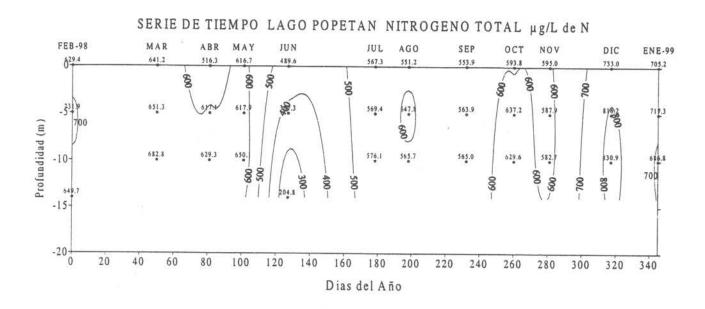


Figura 322 Sección vertical N°2 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago Popetan.



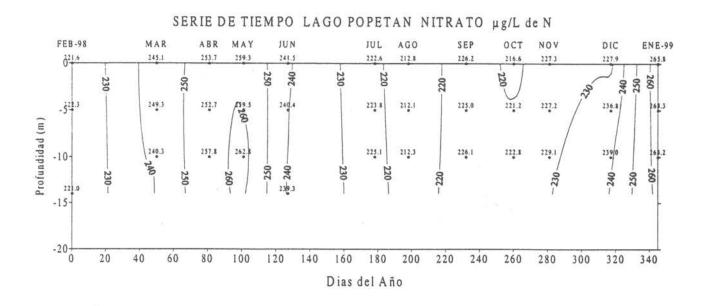
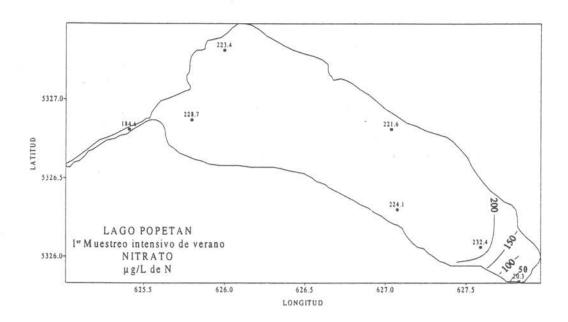


Figura 323 Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en µg/L de N en el lago Popetán.



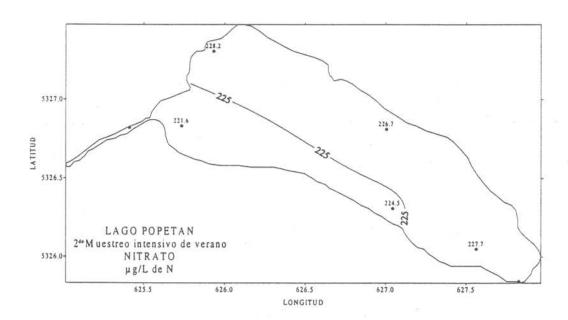


Figura 324 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

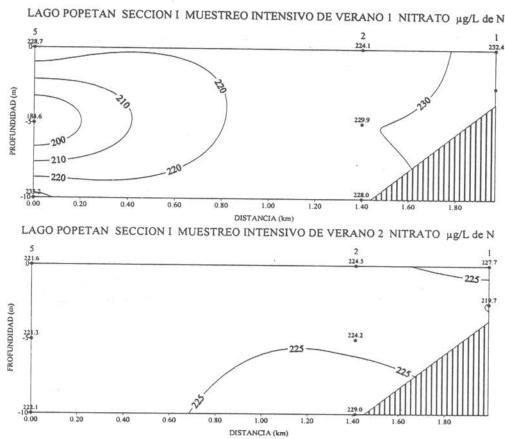
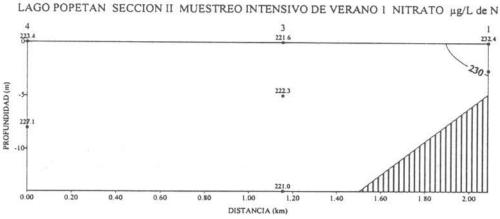


Fig. 325 Sección vertical Nº 1 de Nitrato μg/L de N en el lago Popetán



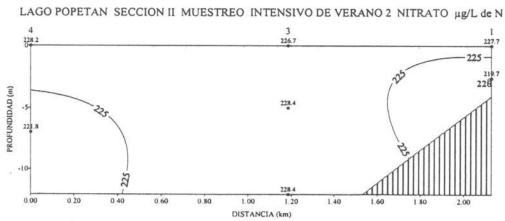
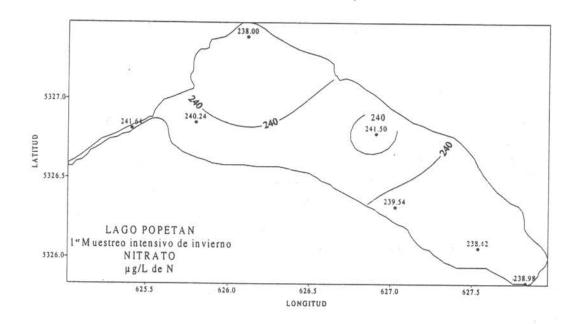


Fig. 326 Sección vertical Nº 2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetán



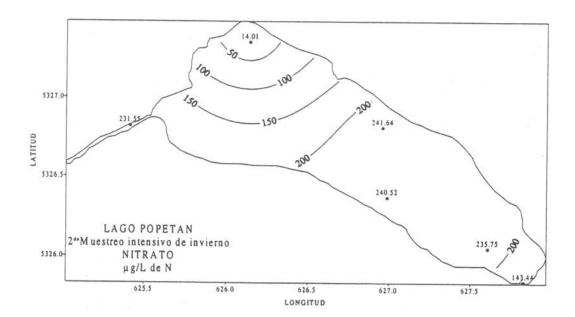
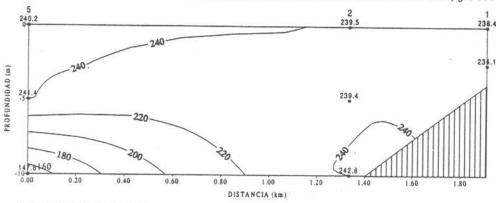


Figura 327 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITRATO μg/L de N 235.8 238.1 PROFUNDIDAD (m) 238.1 238.1 238.0 0.20 0.40

DISTANCIA (km) Figura 328 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetan.

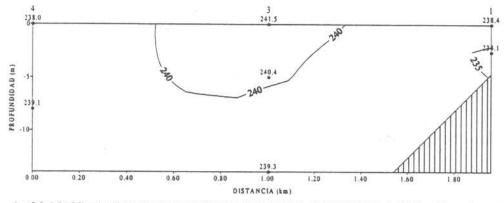
1.00

1.20

0.60

0.80

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I NITRATO µg/L de N



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITRATO µg/L de N

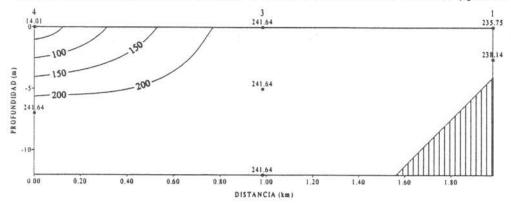
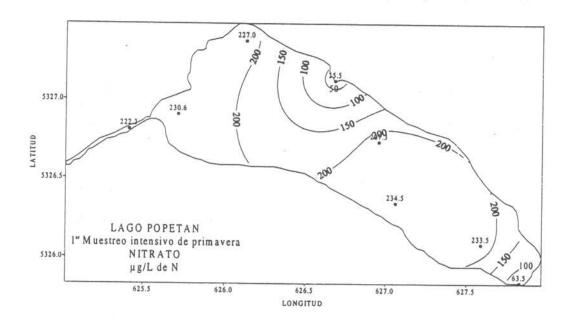


Figura 329 Sección vertical Nº2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetan.



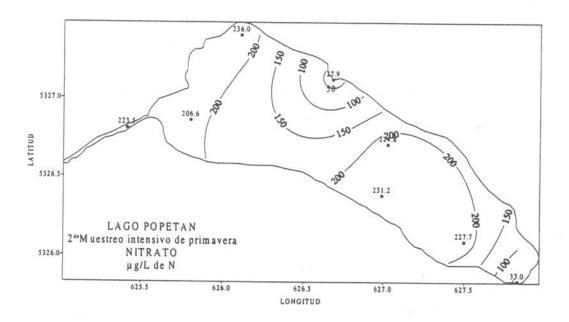
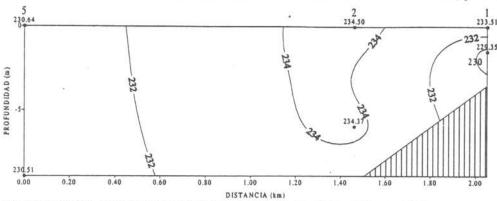


Figura 330 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I NITRATO µg/L de N



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRATO µg/L de N

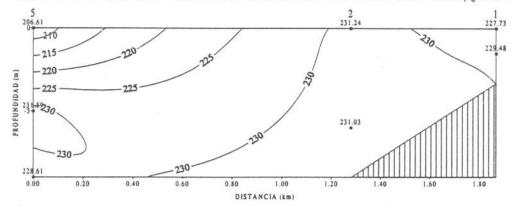
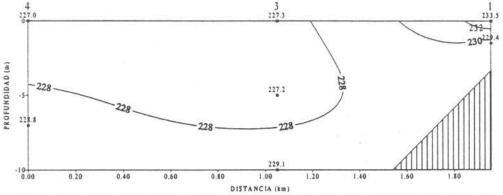


Figura 331 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRATO μg/L de N

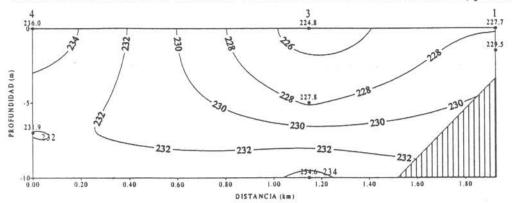
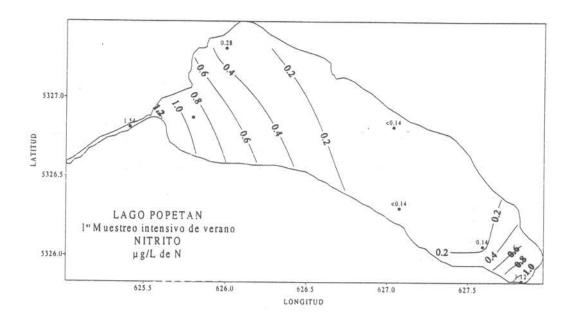


Figura 332 Sección vertical Nº2 de Nitrato µg/L de N en el lago Popetan.



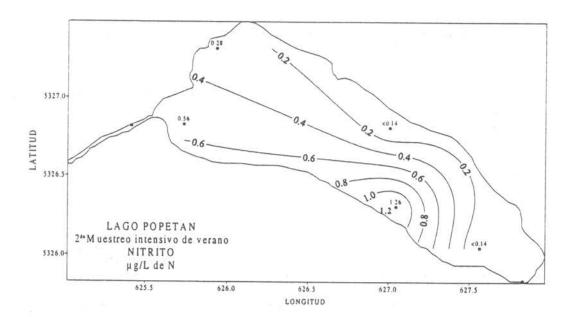
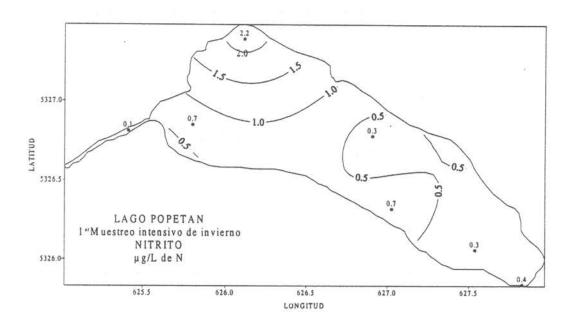


Figura 333 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.



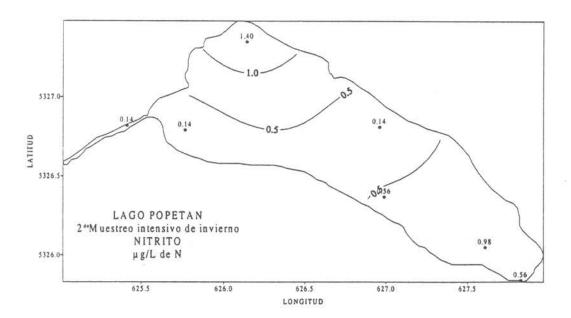
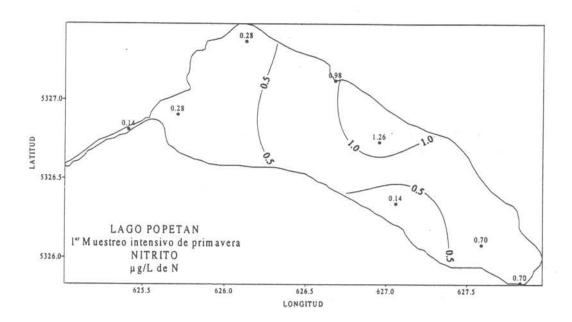


Figura 334 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.



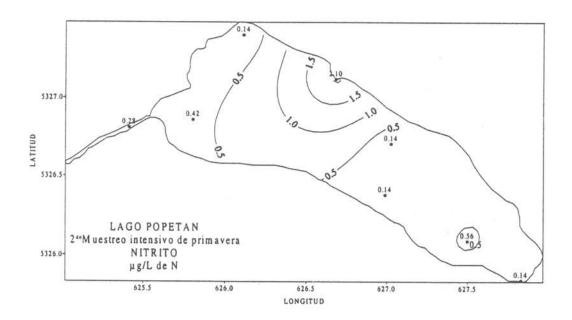


Figura 335 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

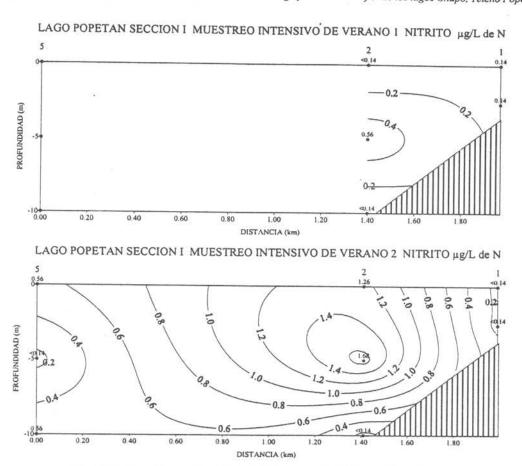


Fig. 336 Sección vertical Nº 1 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetán

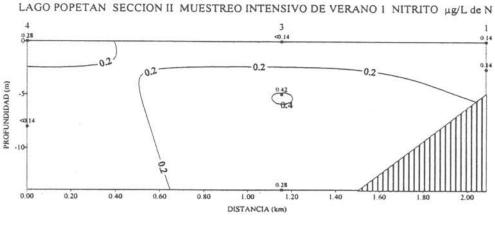
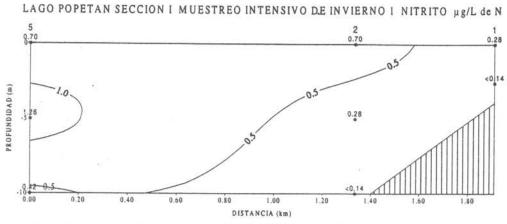




Fig. 337 Sección vertical N° 2 de Nitrito μg/L de N en el lago Popetán



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITRITO μg/L de N

10,14

0,14

0,56

0,98

0,56

0,98

0,50

1,00

1,50

0,50

0,14

0,50

0,50

0,14

0,50

0,50

0,14

0,50

0,50

0,14

0,50

0,50

0,14

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

0,50

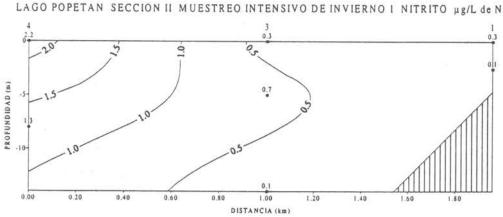
0,50

0,50

0,50

0

Figura 338 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetan.



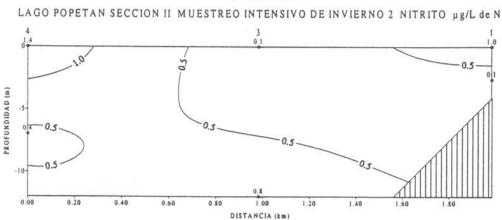
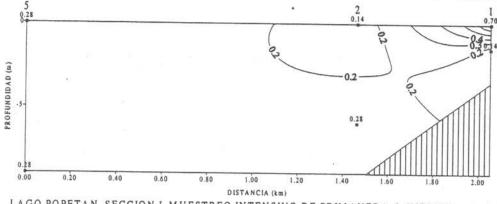


Figura 339 Sección vertical Nº2 de Nitrito μg/L de N en el lago Popetan.
INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRITO µg/L de N

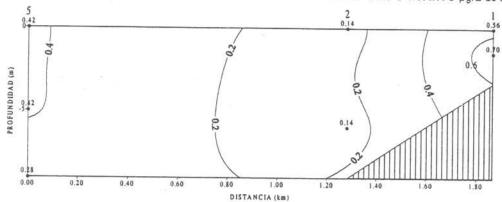
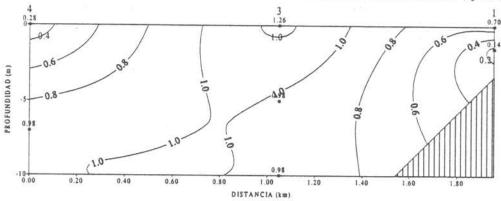


Figura 340 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRITO µg/L de N

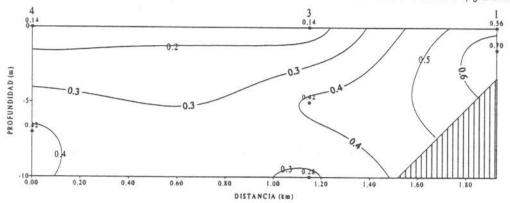
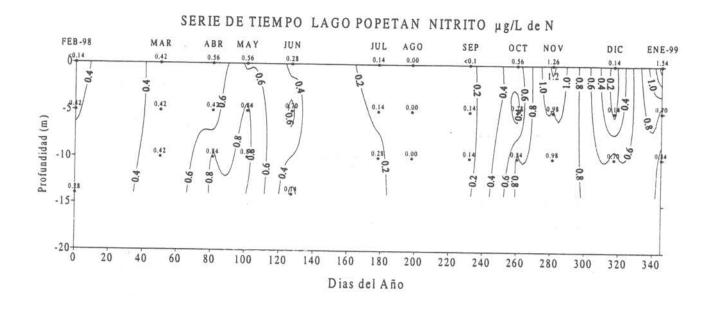


Figura 341 Sección vertical Nº2 de Nitrito µg/L de N en el lago Popetan.



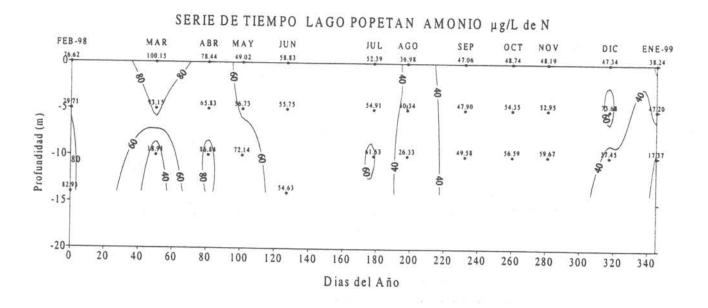
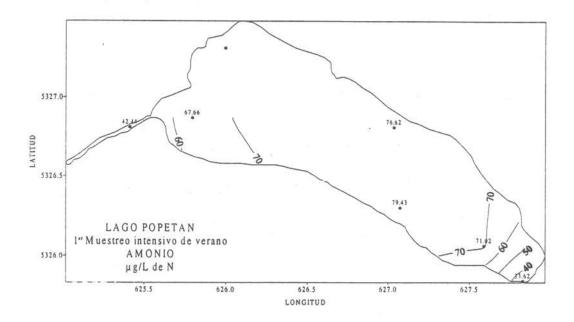


Figura 342 Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en $\mu g/L$ de N en el lago Popetán.



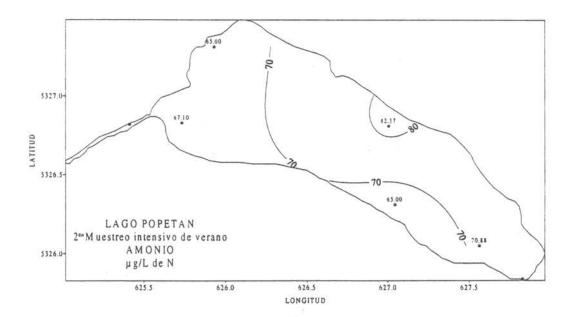
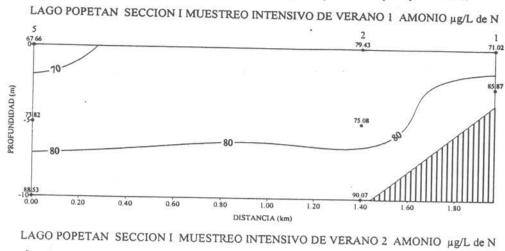


Figura 343 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

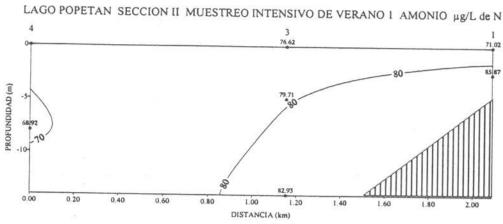


LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 AMONIO μg/L de N

5
67.10
70
70
70
70
80
86.29
80
86.29
80
86.29

100
100
1.20
1.40
1.50
1.80

Fig. 344 Sección vertical Nº 1 de Amonio μg/L de N en el lago Popetán



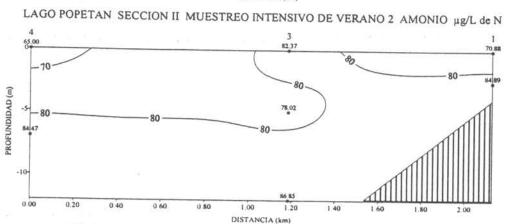
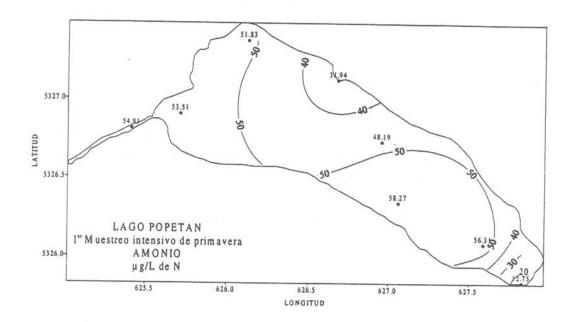


Fig. 345 Sección vertical Nº 2 de Amonio µg/L de N en el lago Popetán



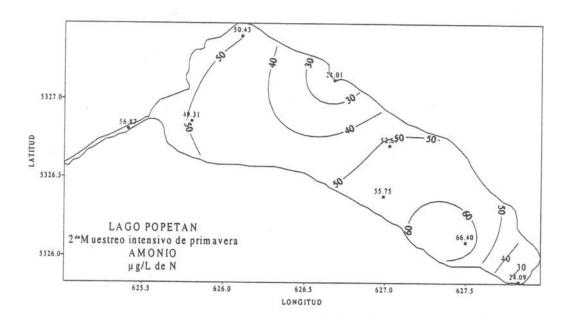
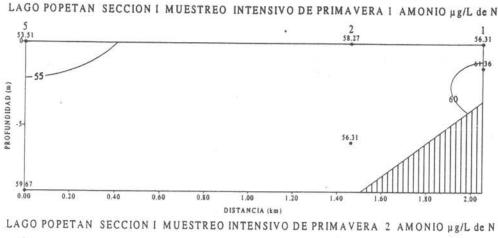


Figura 346 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.



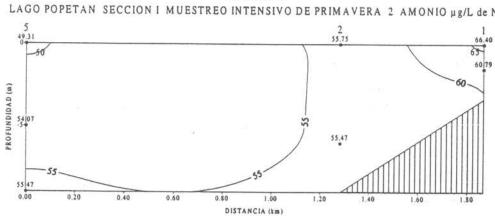
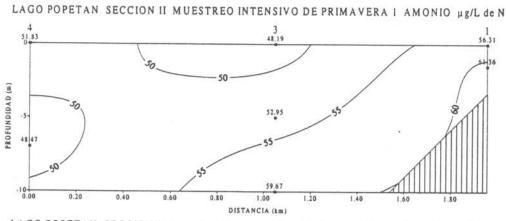


Figura 347 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago Popetan.



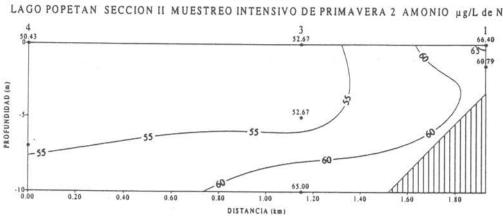
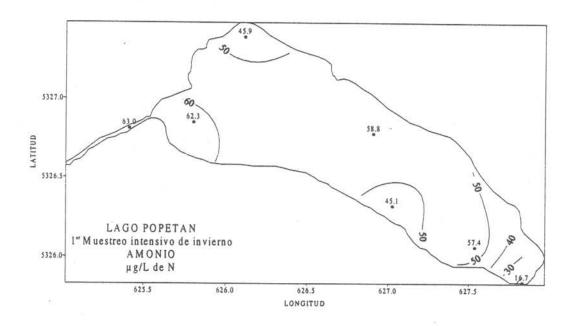


Figura 348 Sección vertical Nº2 de Amonio µg/L de N en el lago Popetan.



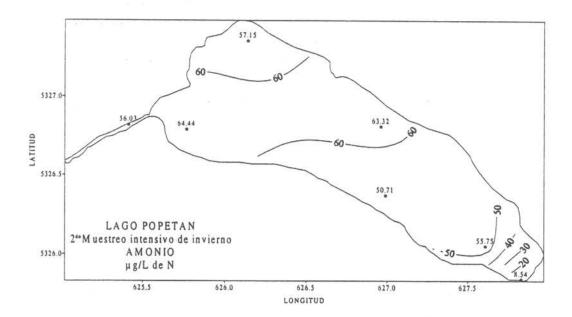


Figura 349 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago Popetan.

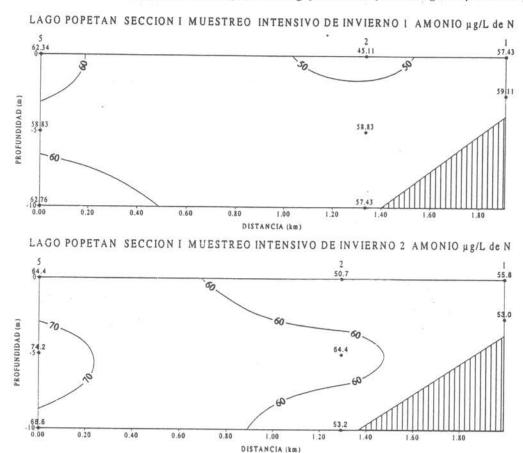


Figura 350 Sección vertical Nº1 de Amonio μg/L de N en el lago Popetan.

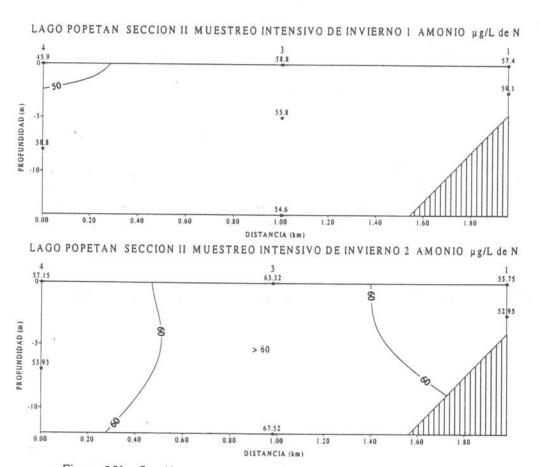
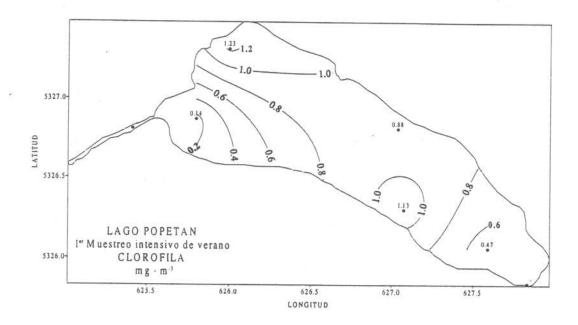


Figura 351 Sección vertical Nº2 de Amonio μg/L de N en el lago Popetan.



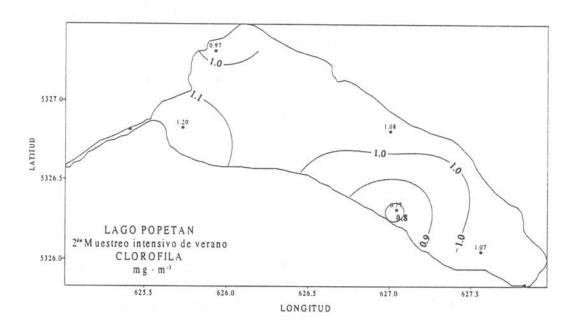
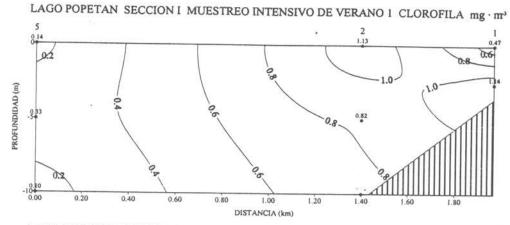


Figura 352 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Popetan.



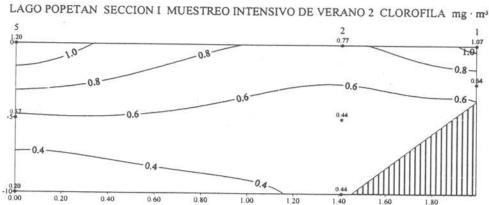
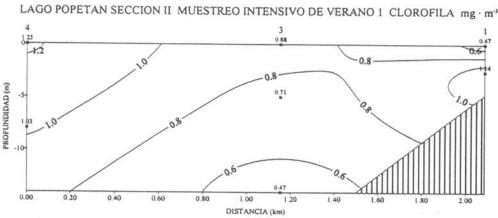


Fig. 353 Sección vertical Nº 1 de Clorofila mg·m· en el lago Popetán



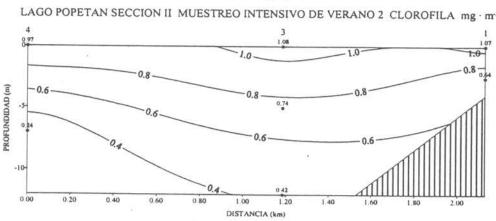
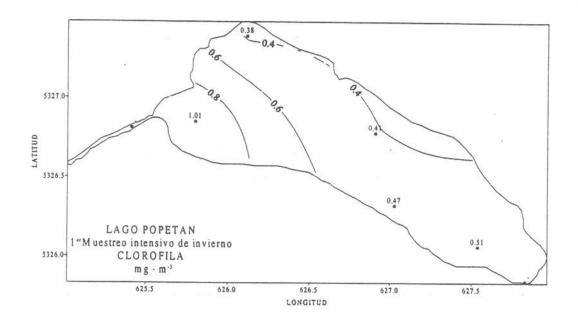


Fig. 354 Sección vertical Nº 2 de Clorofila mg·m² en el lago Popetán

FROFUNDIDAD (m)



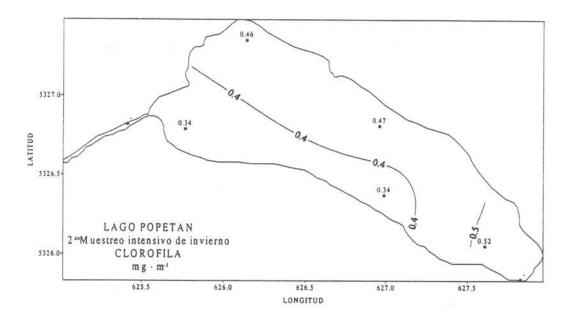
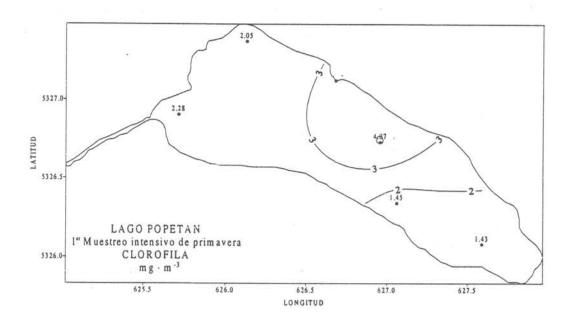


Figura 355 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Popetan.



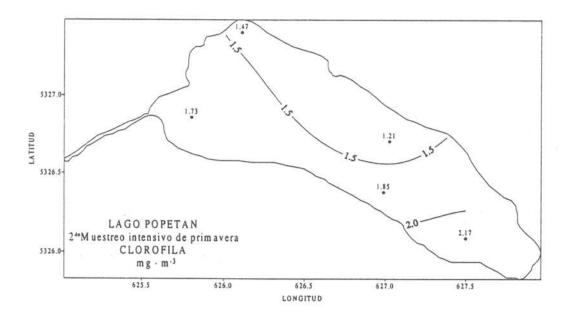
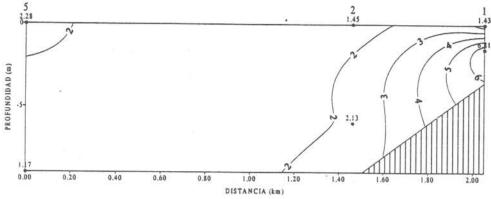


Figura 356 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 CLOROFILA $mg \cdot m^{-3}$

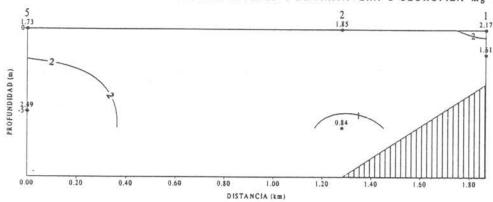
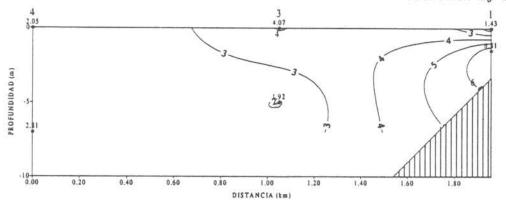


Figura 357 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I CLOROFILA mg·m³



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 CLOROFILA mg·m³

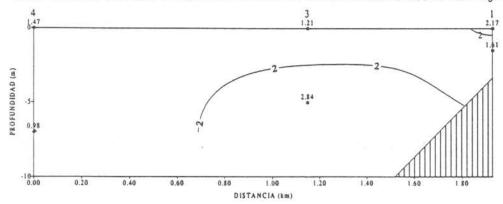
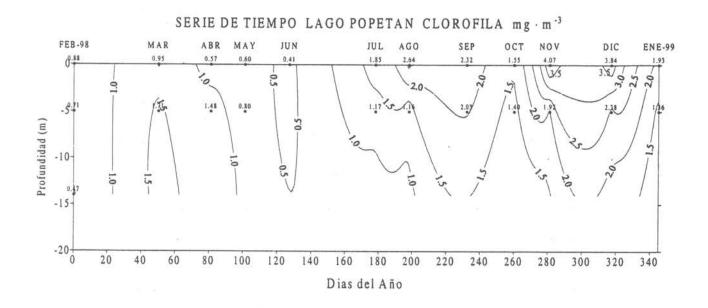


Figura 358 Sección vertical Nº2 de Clorofila mg·m³ en el lago Popetan.



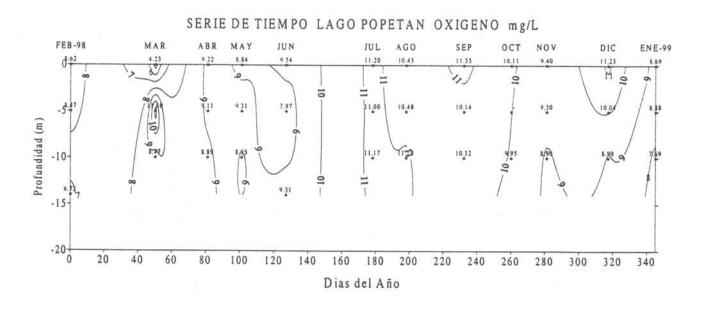
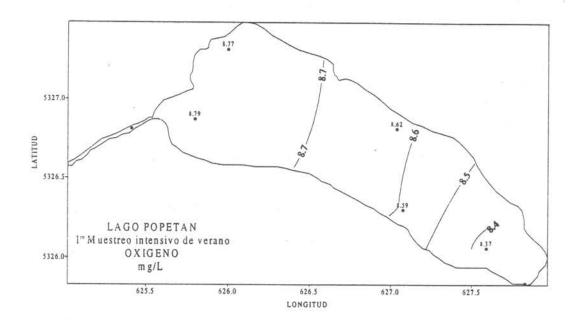


Figura 359 · Variación temporal anual de Clorofila en mg·m⁻³ y de Oxígeno en mg/L en el lago Popetán.



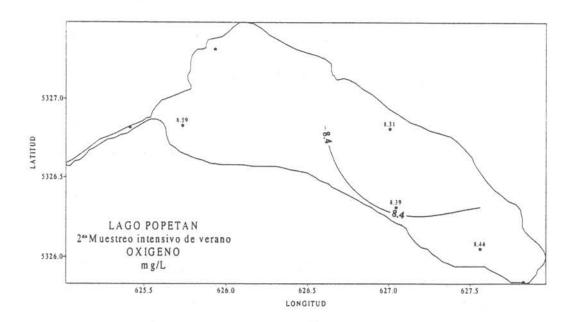
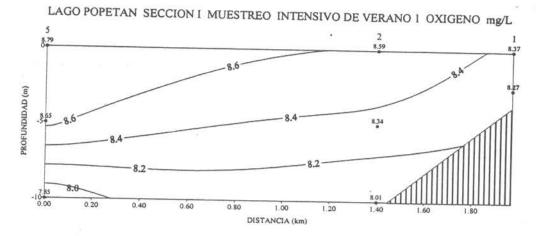


Figura 360 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetan.



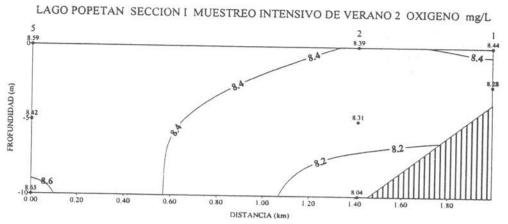
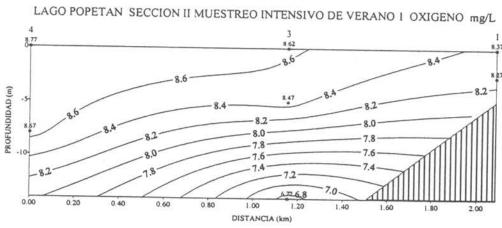


Fig. 361 Sección vertical Nº 1 de Oxigeno mg/L en el lago Popetán



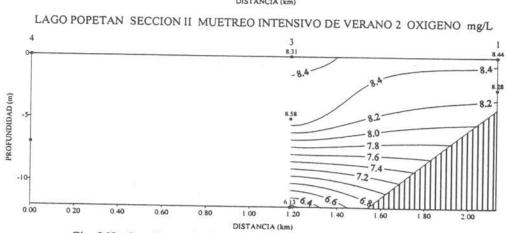
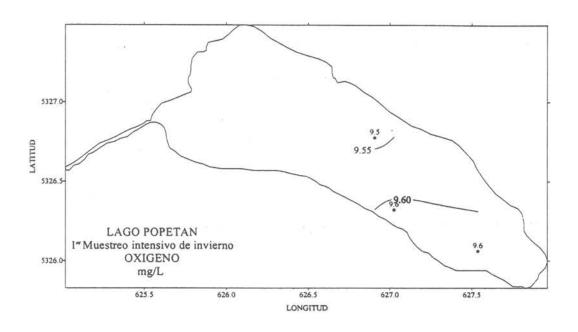


Fig. 362 Sección vertical Nº 2 de Oxigeno mg/L en el lago Popetán



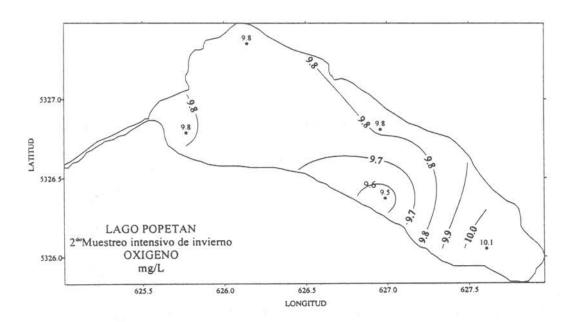


Fig. 363 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetán

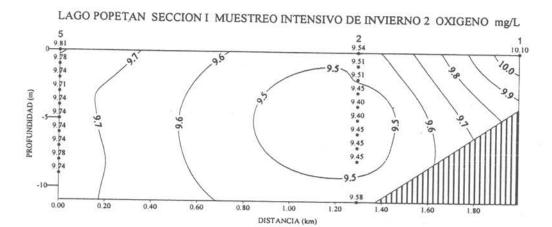


Fig. 364 Sección vertical Nº 1 de Oxigeno mg/L en el lago Popetán

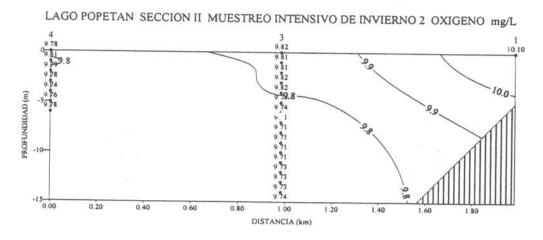
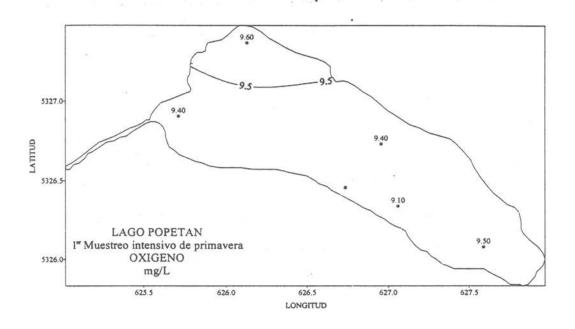


Fig. 365 Sección vertical Nº 2 de Oxigeno mg/L en el lago Popetán



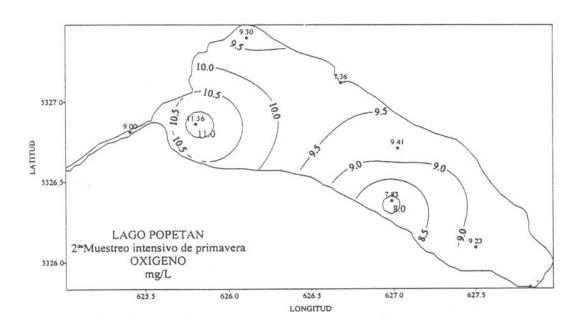
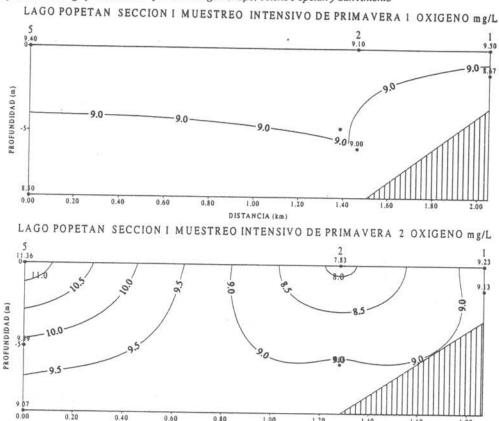


Fig. 366 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago Popetán

0.20

0.40

0.60



DISTANCIA (km) Figura 367 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago Popetan.

1.00

1.20

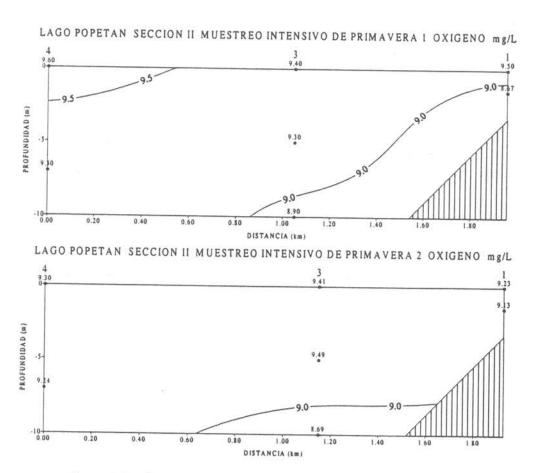
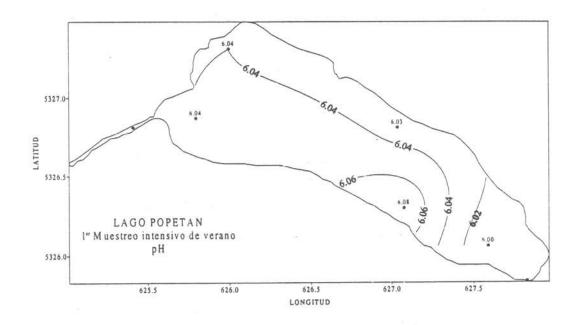


Figura 368 Sección vertical Nº2 de Oxígeno mg/L en el lago Popetan.



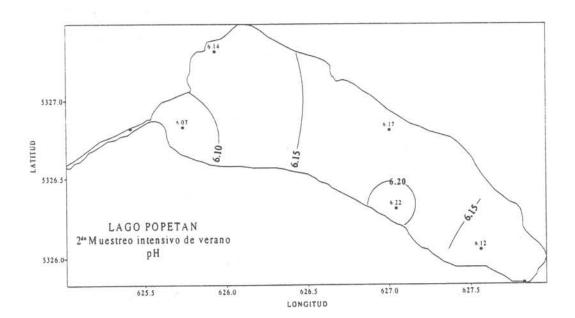
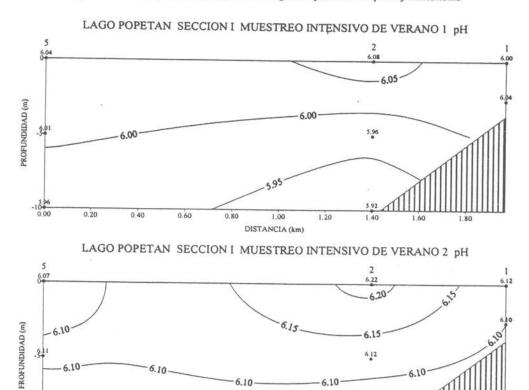


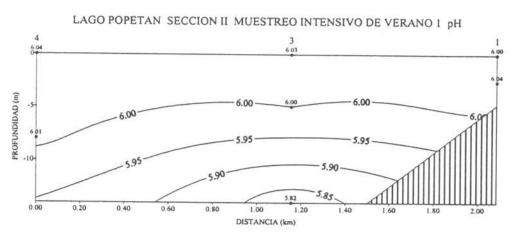
Figura 369 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetan.

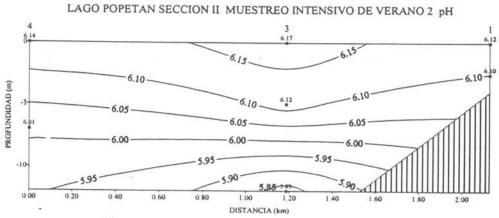


DISTANCIA (km)

Fig. 370 Sección vertical Nº 1 de pH en el lago Popetán

1.00





0.20

0.40

0.60

0.80

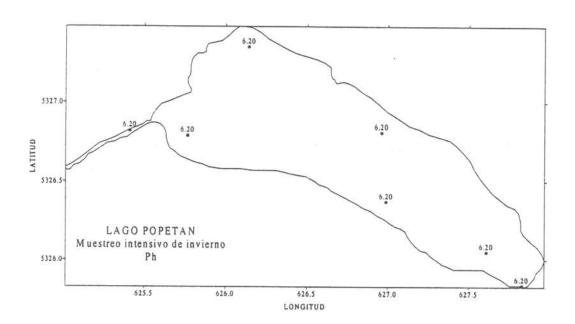
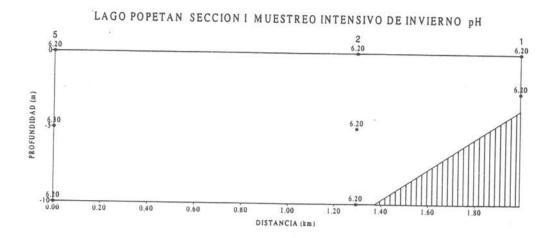


Figura 372 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetan.



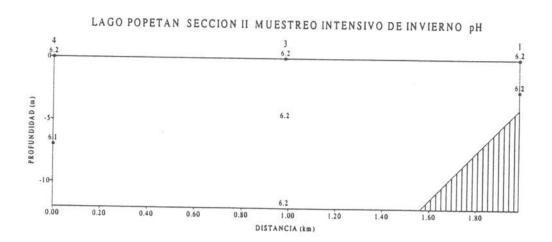
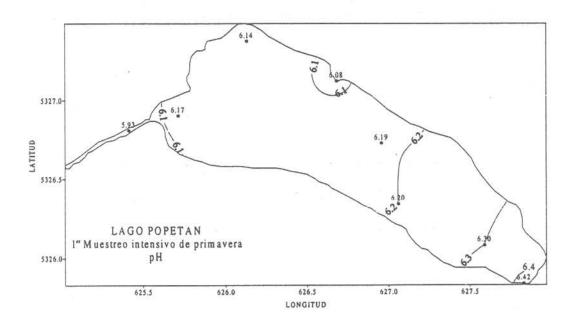


Figura 373 Sección vertical Nº2 de pH en el lago Popetan.



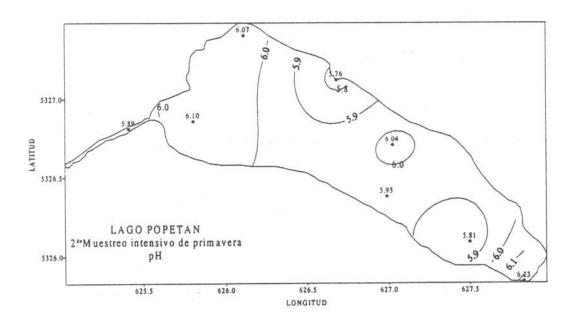


Figura 374 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago Popetan.

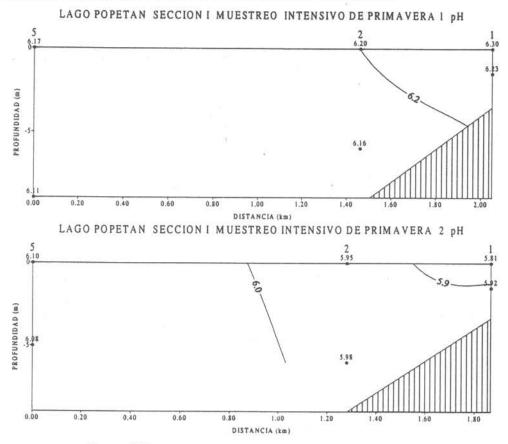


Figura 375 Sección vertical Nº1 de pH en el lago Popetan.

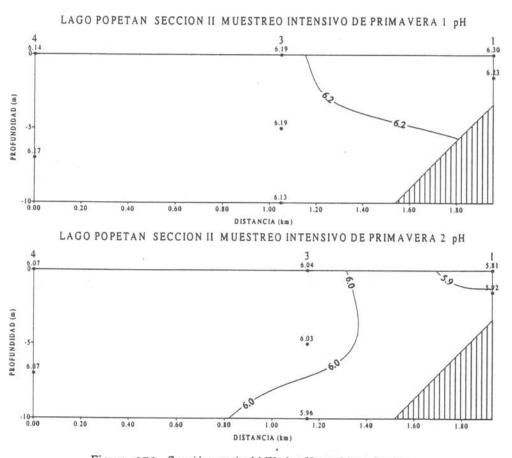
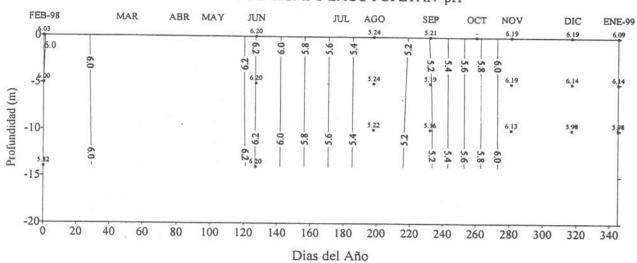


Figura 376 Sección vertical Nº2 de pH en el lago Popetan.





SERIE DE TIEMPO LAGO POPETAN ALCALINIDAD mg/L de Ca CO 3

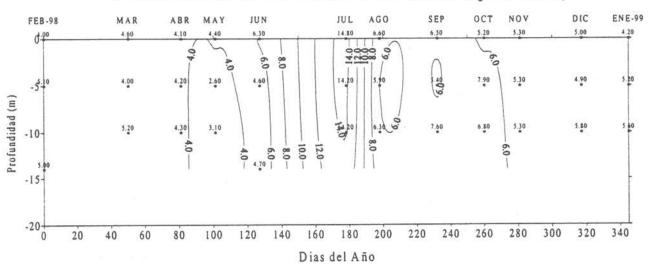
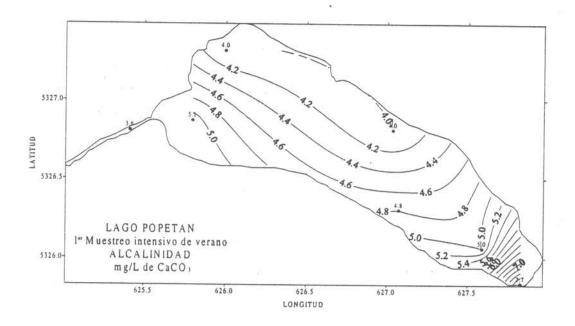


Fig. 377 Variación temporal de pH y Alcalinidad en mg/L de Ca CO₃ en el lago Popetán



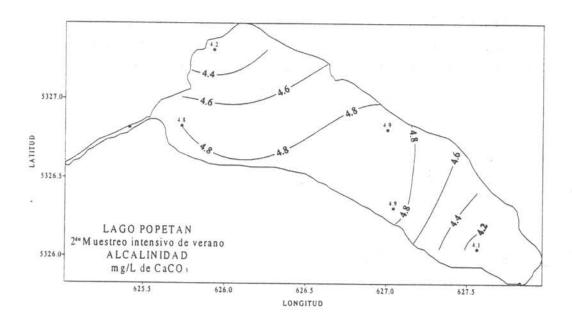
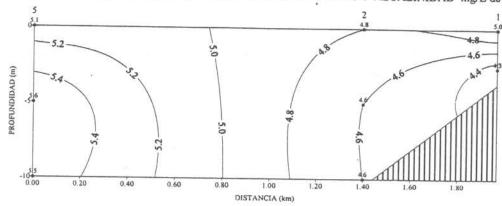


Figura 378 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

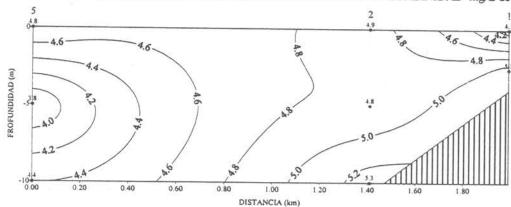
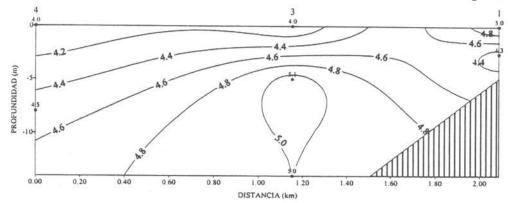


Fig. 379 Sección vertical Nº 1 de Alcalinidad mg/L de CaCO, en el lago Popetán

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

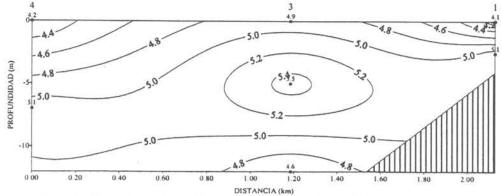
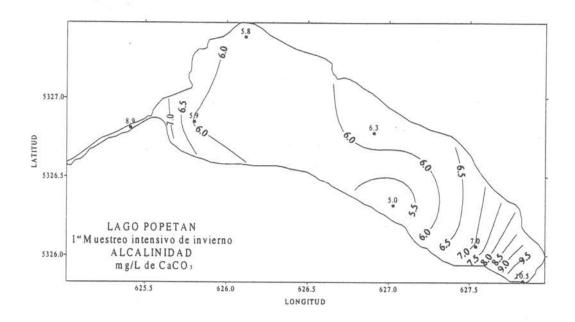


Fig. 380 Sección vertical Nº 2 de Alcalinidad mg/L de CaCO, en el lago Popetán



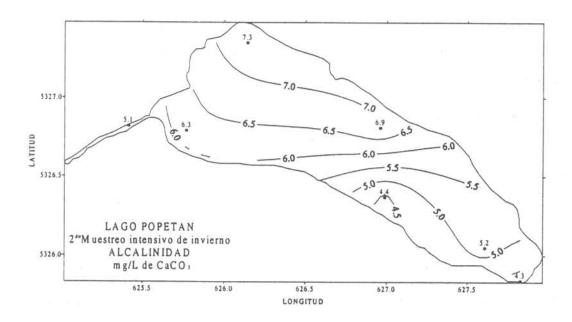
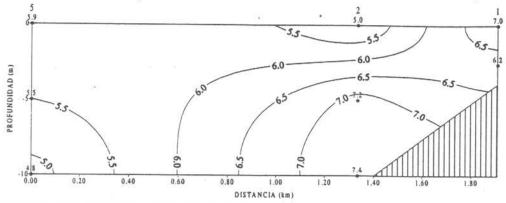


Figura 381 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

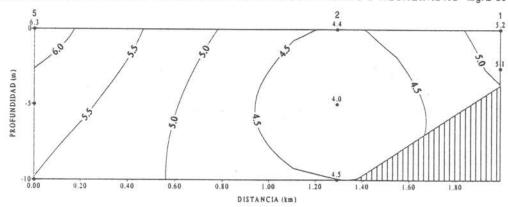
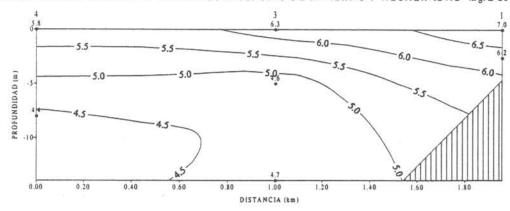


Figura 382 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO I ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

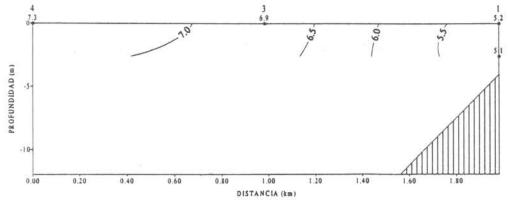
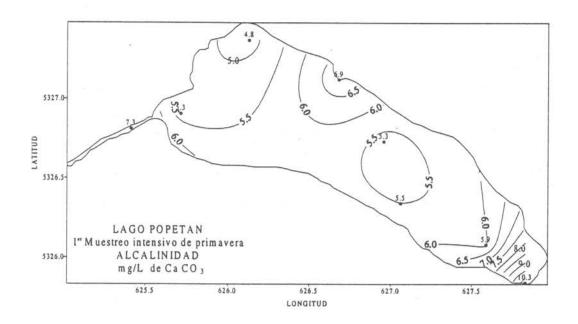


Figura 383 Sección vertical Nº2 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Popetan.



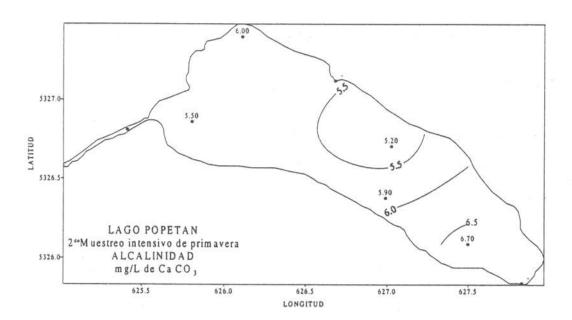
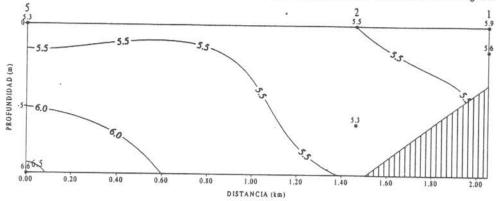


Figura 384 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago Popetan.





LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 ALCALINIDAD mg/L de Ca CO3

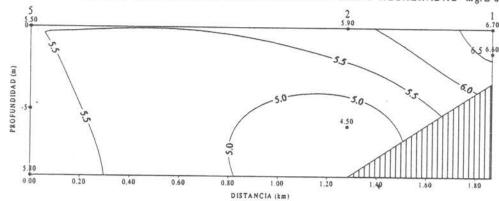
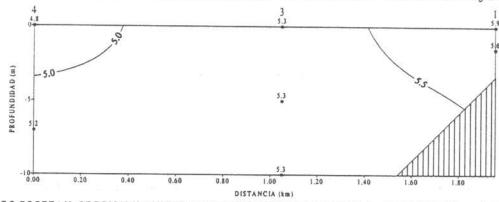


Figura 385 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Popetan.

LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I ALCALINIDAD mg/L de Ca CO;



LAGO POPETAN SECCION II MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 ALCALINIDAD mg/L de Ca CO3

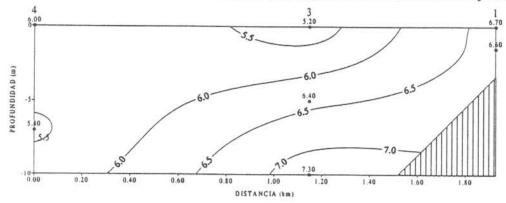


Figura 386 Sección vertical Nº2 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago Popetan.

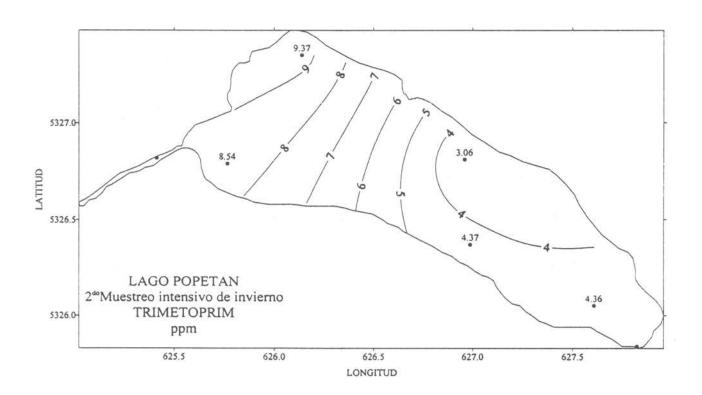


Fig. 390 Distribución horizontal de Trimetoprim a nivel superficial del lago Popetán

LAGO POPETAN SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 TRIMETOPRIM ppm 5 8.54 2 4.37 4.36 4.28 PROFUNDIDAD (m) 5.65 3.38 0.20 0.40 0.60 0.80 1.00 1.20 1.40 DISTANCIA (km)

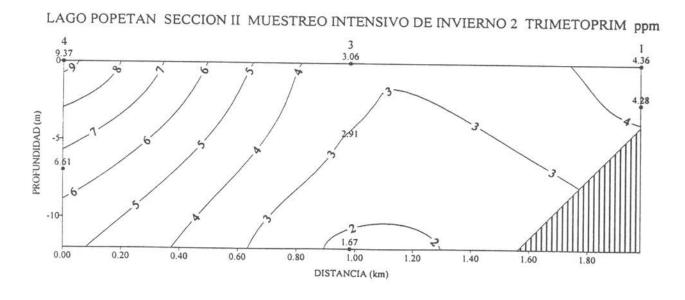


Fig. 391 Sección vertical de Trimetoprim en el lago Popetán

LAGO SAN ANTONIO

LAGO SAN ANTONIO

ANTECEDENTES DEL LAGO

El lago San Antonio (42°57'30"S, 73°44'W) se ubica en el sudeste de la isla grande de Chiloé, a unos 25 km al norte de Quellón, en la zona conocida como San Antonio de Chadmo. Administrativamente depende de la comuna de Quellón. Es un cuerpo de agua mediano y con forma de brazo de svástica que llena una depresión del terreno y desagua por el río San Antonio hacia el golfo Corcovado. La cartografía oficial de la República lo denomina lago y su espejo de aguas posee una superficie del doble de tamaño que la del lago Popetán con una profundidad comparable. El relieve del terreno en que se asienta es ondulado, con colinas cuyas cumbres más altas varían entre 200 y 270 m de altura sobre el nivel del mar (Fig. 392). Las orillas son de pendiente suave y permiten un fácil acceso por cualquiera de sus riberas, existiendo un camino de penetración desde el cercano poblado de Colonia Yungay que lleva a su orilla sur.

Su alimentación proviene de las aguas lluvias y del drenaje de las colinas circundantes. Las aguas acceden principalmente por un afluente ubicado en el extremo oeste del lago, cuyo curso es permanente durante el año. Los otros afluentes consignados en la Figura 392 producen aportes menores, siendo el segundo en importancia aquel ubicado en el extremo norte del lago, cuyo flujo también permanece todo el año. La topografía determina que los arroyos afluentes tengan velocidad suficiente para mantener una buena oxigenación inclusive durante la temporada cálida.

El clima de la hoya del lago es templado, con temperaturas medias moderadas y precipitaciones concentradas en los meses de invierno. El poblamiento humano en el área de la cuenca es bajo, constituido por menos de 10 familias, dedicadas principalmente a la explotación maderera de los densos bosques que cubren la cuenca. El asentamiento humano data solo de fines de los años sesenta, habiéndose reducido posteriormente por migración hacia los centros urbanos. Las orillas del lago se encuentran cubiertas en la actualidad principalmente por renovales semidensos, con parte de su extensión relativamente más abierta en la ribera sur, donde opera un aserradero y se concentran los residentes. La vegetación de la cuenca es más diversa que la presente en la cuenca del lago Popetán.

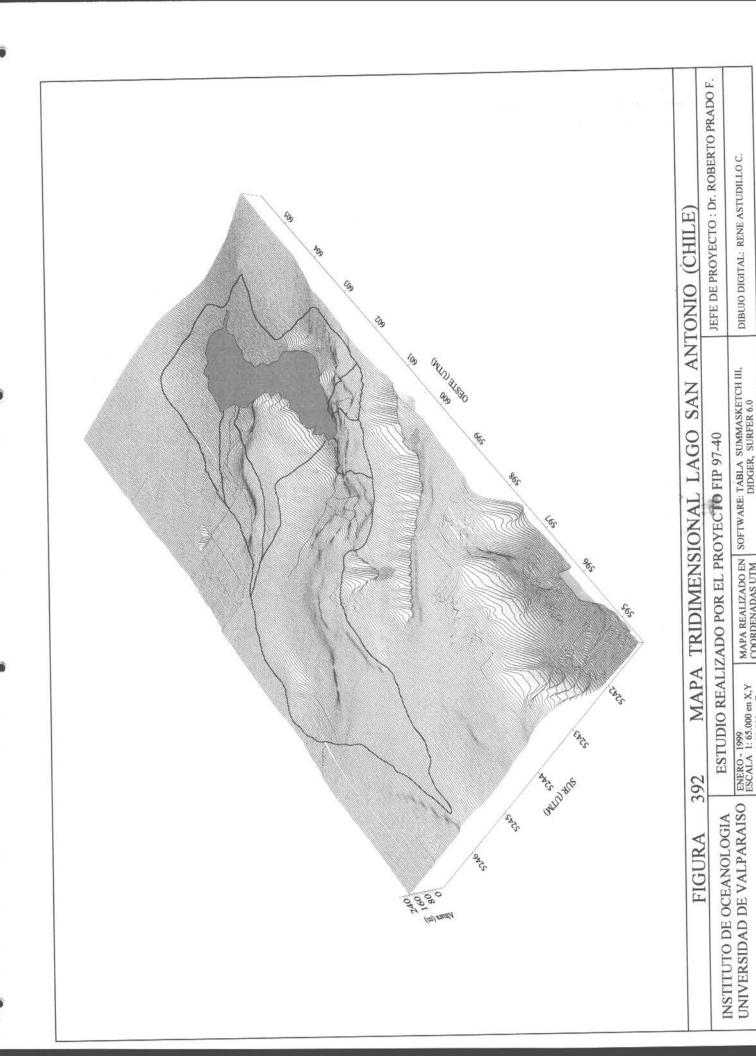
1. ESTIMACIÓN DE APORTES DE FÓSFORO Y NITRÓGENO

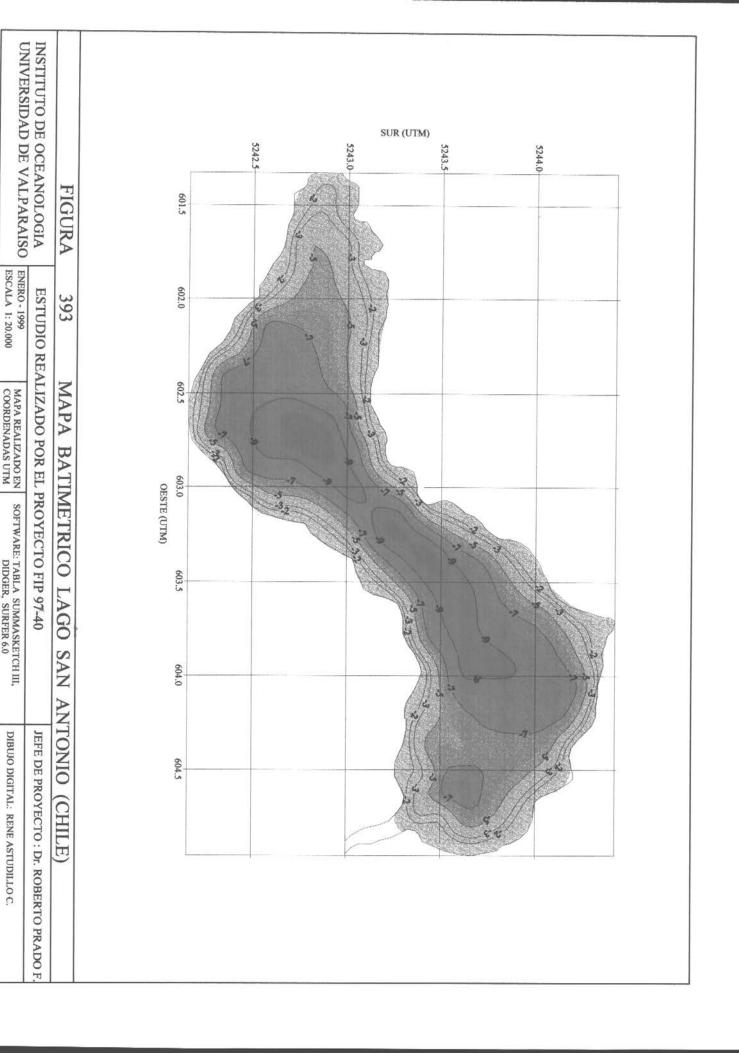
1.1 MORFOMETRIA DEL LAGO Y CARTOGRAFIA DE LA RED DE DRENAJES

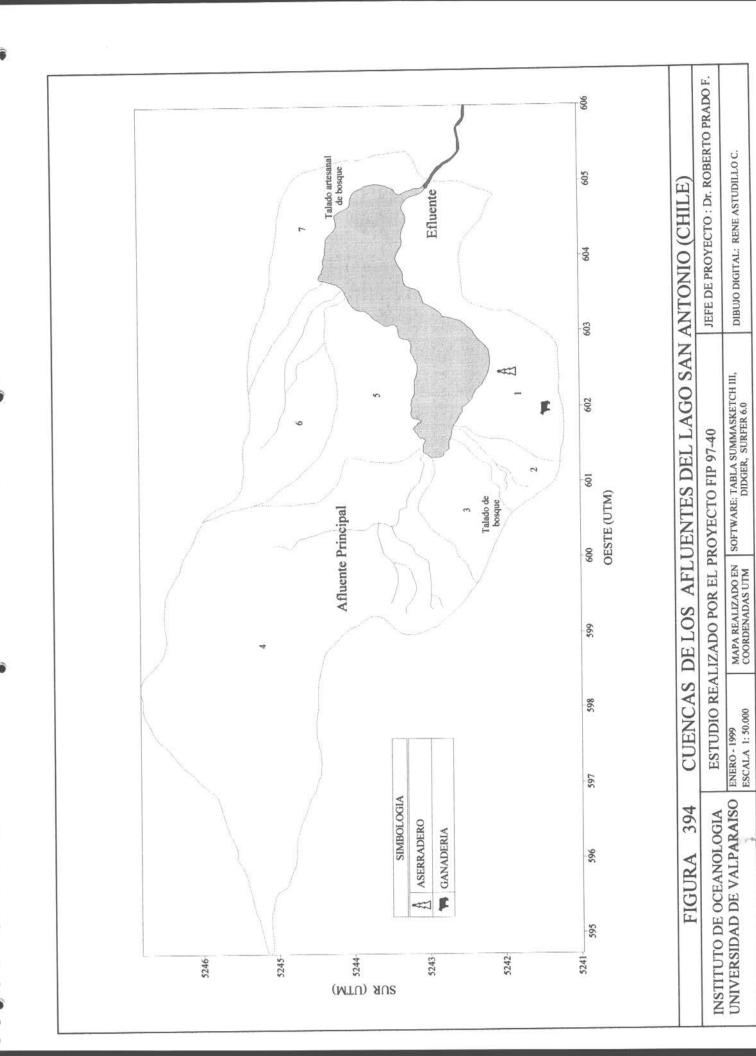
El lago San Antonio tiene una cuenca de drenaje, determinada a partir de su mapa base digital, de 24,85 km². El desarrollo de su línea de costa es reducido. Sus principales parámetros morfométricos se entregan en la Tabla 80. Los resultados del sondaje efectuado en este estudio se entregan en forma de proyección batimétrica planar escala 1: 20.000 en la Figura 393. La batimetría del lago se caracteriza por una cuenca de pendiente suave, particularmente en su margen oeste, que al alcanzar profundidades mayores de 7 m se parte en dos en su parte central. La profundidad total es baja y su profundidad media se ubica a prácticamente la mitad de la profundidad máxima. El fondo del lago configura una cuenca en forma de valle con fondo relativamente plano y ubicación aproximadamente central de la isobata de 16 m. El volumen es pequeño y la relación entre el área de drenaje y el área del espejo de aguas es moderada.

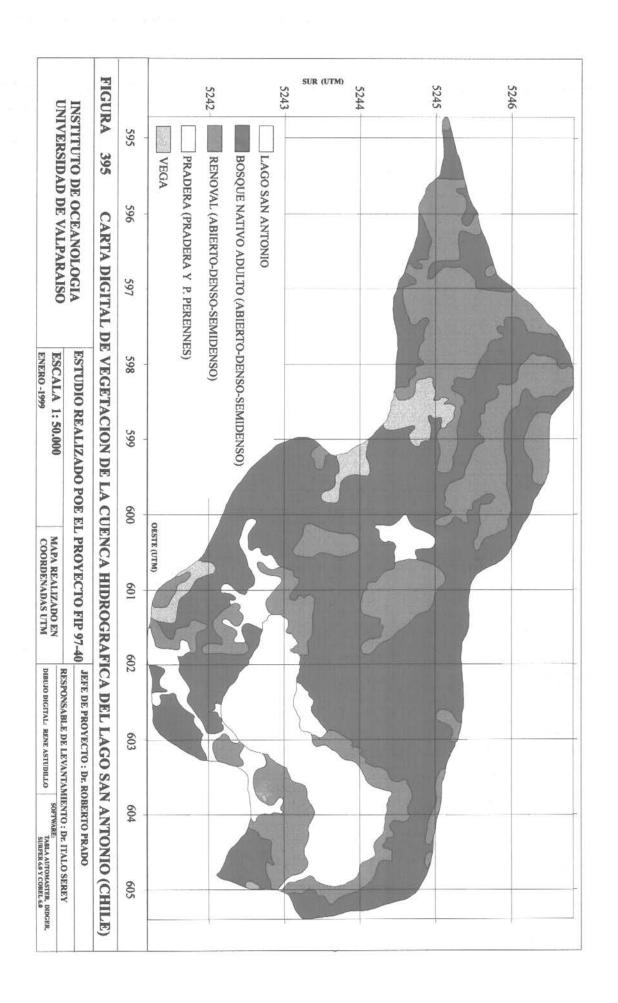
Tabla 80: Principales parámetros morfométricos del lago San Antonio.	
Longitud máxima	3,71 km
Ancho máximo	1,06 km
Ancho medio	0,82 km
Línea de costa	10,85 km
Area superficial	3,03 km²
Desarrollo línea de costa	1,76
Profundidad máxima	10,9 m
Profundidad media	5,4 m
Relación profundidad media a máxima	0,49
Volumen	1,75·10 ⁻² km ³
Area de drenaje	24,85 km²
Relación área de drenaje a área superficial	8,21

El total de subcuencas que desembocan en el lago San Antonio asciende a 7 y se muestran en la Figura 394. La Tabla 81 muestra los valores de superficie y porcentajes del









área total de la cuenca del lago que representa cada una de ellas. Las tres subcuencas mayores representan el 75 % de la superficie y contienen los cursos de agua más importantes. La subcuenca que contiene al principal afluente (ubicada al oeste) representa el 50 % del área total de la hoya hidrológica, por lo que tiene una gran incidencia en la calidad de las aguas del cuerpo lacustre. El segundo arroyo afluente en importancia relativa verificada en terreno es el contenido en la cuenca nº 6 de la Figura 394. Las cuatro restantes subcuencas representan en conjunto alrededor de la cuarta parte de la hoya de drenaje y sus aportes de agua son difusos y esporádicos, ocurriendo en períodos de saturación total del suelo.

Tabla 81. Superficie de la cuenca hidrográfica del Lago San Antonio en la Isla Chiloé.

Número de la subcuenca	Superficie / km²	Porcentaje de la subcuenca
1	3,40	13,7
2	0,725	2,9
3	1,275	5,1
4	12,50	50,3
5	2,425	9,8
6	2,50	10,1
7	2,025	8,1
Area Total de la Cuenca	24,85	100

1.2 DIAGNOSTICO DE USO DEL SUELO

La vegetación de la cuenca está compuesta por bosque siempreverde dominado por diferentes especies jugando la altitud un rol relevante en la diversidad de la vegetación. Los tipos de vegetación más importantes se destacan en la Figura 395 y sus áreas se entregan en la Tabla 82.

A) Bosques

Los bosques nativos adultos densos están dominados por coníferas tales como Saxegotea conspicua, Podocarpus nubigena, y acompañados por Nothofagus nitida, Drimys winteri, y Laurelia philippiana. Este tipo de bosque se presenta en el 10 % de la cuenca.

El bosque nativo adulto semidenso es el más importante desde el punto de vista de la cuenca del lago San Antonio,, ya que alcanza el 53 % de su superficie. Hay tres clases que se destacan, la primera dominada *Nothofagus nitida*, *Laurelia philippiana*, *Saxegothea conspicua*,

Weinmannia trichosperma, Podocarpus nubigena y Drimys winteri. Un segundo tipo está formado por Weinmannia trichosperma, Laurelia philippiana y Drimys winteri.

El bosque achaparrado denso está constituido por *Tepualia stipularis*, *Drimys winteri*, *Nothofagus nitida*, *Podocarpus nubigena y Pilgerodendron uviferum*, que tiene una pequeña superficie, que sólo alcanza a 0,33 km². Sin embargo, es de interés por la composición que presenta.

Tabla 82. Tipos de vegetación presentes en la cuenca del lago San Antonio, Isla de Chiloé.

Tipos de Vegetación	Superficie en km²	Porcentaje
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
Superficie Total	25,1578	

B) Renovales

Los renovales densos están dominados por *Tepualia stipularis*, *Drimys winteri* y *Nothofagus nitida*. y cubren el 9,8 % de la cuenca. Estos renovales son de interés porque están dominados por *Tepualia*, que está dentro de los bosques que han disminuido mucho su superficie.

El renoval semidenso es el tipo de vegetación más abundante, alcanza más de 3 km² y es el más diverso en composición, no obstante estar dominado por *Drimys winteri*, que forma comunidades con *Pilgerodendron uviferum*, *Tepualia stipularis*, *Laurelia philippiana*, *Nothofagus nítida*, *Weinmannia trichosperma*, *Gevuina avellana*, *Embothriun coccineum*, en distintos grados de dominancia. Esta diversidad de dominancia puede deberse a diferentes estadios sucesionales secundarios posteriores a intervenciones de origen antrópico.

C) Matorrales

El matorral abierto, esta dominado por ciperáceas y helechos, *Juncus sp.*, *Blechnum chilensis*, *Tepualia stipularis* y *Drimys winteri*, formando una vegetación con hierbas duras, helechos altos, arbustos y árboles jóvenes y alcanza a un 4% de la superficie de la cuenca.

El matorral-pradera regular abierto, formado por arbustos como *Rhythamnus spinosus*, *Myrceugenia planipes*, *Luma apiculata*, *Weinmannia trichosperma*, *Luma apiculata*, que forman las especies con altura de matorral y entre las herbáceas domina ampliamente la gramínea *Holcus lanatus* y cubren el 7% de la superficie de la cuenca.

1.3 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR LOS AFLUENTES

El ingreso de agua por afluentes al lago San Antonio se mantuvo durante todo el año observado. Los aportes mostraron un marcada estacionalidad asociada a aquella de las precipitaciones, presentando los mayores caudales entre mayo y octubre. Los resultados de caudales afluentes medidos en forma mensual a lo largo de un año de observaciones se entregan en la Tabla 83. El caudal fue medido mensualmente en el arroyo que desemboca al oeste del lago (afluente 1 según el número identificatorio indicado en la Fig. 394) y en febrero (verano), junio (invierno) y noviembre (primavera) en todos los restantes cursos de agua.

El aporte fluvial tendió siempre a ser concentrado por el afluente 1, cuyos caudales comparados con los del resto de los tributarios del lago representaron más del 75 % del flujo de agua en verano y más del 80 % en las restantes estaciones del año. Solamente en ocasiones puntuales en verano, por disminución del caudal en ausencia de precipitaciones, el afluente 2 presentó un aporte comparable al del afluente 1. El afluente 4 perdió su forma puntual tras modificaciones del terreno por reparación del camino al aserradero en marzo, quedando en parte cubierto y tornándose difuso, por lo que no pudo continuarse su medición.

Los esteros afluentes del lago San Antonio se caracterizaron por un pH ligeramente ácido durante la mayor parte del año, fluctuando entre un mínimo de 5,91 en agosto (invierno) y un máximo de 7,37 en noviembre (fines de primavera); entre noviembre y enero sus valores se mantuvieron cercanos a la neutralidad. La alcalinidad fluctuó entre 5,1 mg/L en mayo y 27 mg/L en diciembre. La turbidez de los afluentes es de moderada a alta, particularmente aquella del afluente 2, que sobrepasó las 8 NTU en verano. El afluente principal exhibió

grandes variaciones, entre valores bajos, de 0,18 hasta 4,9 NTU. Esta turbidez se percibe como una coloración pardusca del agua, que se extiende a las aguas del lago.

Tabla 83. Caudal aportado por los esteros afluentes del lago San Antonio. Los números identificatorios corresponden a los señalados en la Fig. 394.

IDENTIFICACION	MES DE 1998	Caudal (m3/s)
Afluente 1	febrero	0.01
Afluente 2	febrero	0.01
Afluente 4	febrero	0.02
Afluente 1	febrero	0.10
Afluente 2	febrero	0.01
Afluente 1	marzo	0.05
Afluente 1	abril	0.16
Afluente 1	mayo	0.83
Afluente 1	junio	0.85
Afluente 2	junio	0.14
Afluente 1	junio	0.55
Afluente 2	junio	0.05
Afluente 3	junio	0.05
Afluente 1	julio	1.11
Afluente 1	agosto	0.56
Afluente 1	septiembre	1.01
Afluente 1	octubre	0.67
Afluente 1	noviembre	0.16
Afluente 2	noviembre	0.01
Afluente 3	noviembre	0.02
Afluente 1	noviembre	0.35
Afluente 2	noviembre	0.01
Afluente 3	noviembre	0.01
Afluente 1	diciembre	0.17
Afluente 1	enero 1999	0.13

Producto de la saturación del suelo y mayor frecuencia de las precipitaciones, el caudal de los afluentes mostró una mayor regularidad en el invierno. La variación de corto período (2 días) del caudal de aporte fluvial medido en invierno fue de un 35,5% para el afluente principal y de 68,6 % para los secundarios, frente a variaciones respectivas de 585% y 4,5% en verano y de 122% y 37,2 % en primavera. La mayor variabilidad de caudal fue exhibida por el afluente principal. Este hecho, unido al de la menor proporción representada frente al aporte fluvial total, permite extender sin excesivo error mediante interpolación los caudales medios de las mediciones de verano, invierno y primavera de los afluentes secundarios a los restantes

meses para estimar la magnitud de sus correspondientes aportes de agua, de fósforo y de nitrógeno.

Las cargas totales de fósforo y nitrógeno aportadas mensualmente por vía fluvial se entregan agrupadas en la Tabla 84. Tomando en consideración la diferencias en los caudales entre los afluentes y aquellas que se producen por variación de corto período, se emplearon promedios de concentración ponderados por caudal para establecer estas cargas.

Tabla 84. Carga fluvial mensual de fósforo y nitrógeno ingresada al lago San Antonio

MESES	FOSFORO TOTAL	FOSFATO	NITROGENO TOTAL	NITRATO	NITRITO	AMONIO
	kg	kg	kg	kg	kg	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

Por su parte los resultados del cálculo de cargas mensuales de formas de fósforo y nitrógeno evacuadas desde el lago San Antonio por vía de su efluente, se entrega en la Tabla 85. Ellas permiten apreciar que la mayor evacuación de carga de N y P se produce en los meses invernales, en concordancia con los mayores caudales de los afluentes.

Carga fluvial mensual de fósforo y nitrógeno exportada desde el lago Tabla 85. San Antonio por su efluente.

MESES	FOSFORO TOTAL	FOSFATO	NITROGENO TOTAL	NITRATO	NITRITO	AMONIO
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
FEB-98	5.74	2.72	156	0.00	0.06	6.26
MAR-98	69.50	32.96	1088	21.0	0.60	21.0
ABR-98	48.25	38.36	631	61.1	3.22	31.2
MAY-98	76.62	33.34	1872	262	9.94	101
JUN-98	37.54	12.96	1158	79.0	2.34	34.5
JUL-98	68.59	30.81	1581	146	3.49	69.8
AGO-98	60.74	71.43	1727	242	5.62	33.2
SEP-98	76.88	42.71	1219	140	5.05	39.6
OCT-98	117.90	39.30	1857	150	5.07	148
NOV-98	6.11	2.98	23	4.91	0.17	4.52
DIC-98	50.20	32.65	628	13.1	3.06	0.20
ENE-99	31.86	30.03	319	24.3	0.78	4.03
TOTAL ANUAL	650	370	12260	1143	39	494

1.4 INGRESO POR ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO

Tomando en consideración el uso del suelo de las cuencas en su margen de contacto con el lago San Antonio, se seleccionaron dos parcelas para la medición directa de la concentración de fósforo y nitrógeno presente en las aguas de escurrimiento difuso que no vierten hacia afluentes individuales del lago. Estas parcelas fueron instaladas en un área de pradera y en un área de bosque, correspondientes respectivamente a las subcuencas 1 y 5. Con los resultados de concentración determinadas para cada uno de los dos tipos de parcela y los flujos de escurrimiento correspondientes al relieve, grado de infiltración del suelo, condición de almacenamiento superficial y cubierta vegetal, se estimó un caudal diario de 54,2 m3 de escurrimiento difuso, el cual contribuyó anualmente con 2,56 kg de fósforo (de los cuales 0,45 kg corresponden a ortofosfato) y 5,43 kg de nitrógeno total, del cual el 17,1% fue inorgánico (0,55 kg de nitrato, 0,36 kg de amonio y 0,02 kg de nitrito).

1.5 AGUAS RESIDUALES

En las inmediaciones de las orillas del lago San Antonio existen sólo siete casas, habitadas en conjunto por unas veinticinco personas incluyendo niños, cuyas aguas residuales son evacuadas hacia pozos sépticos que no descargan directamente hacia el lago. No existe afluencia turística al lago, a excepción de pescadores deportivos de orilla circunstanciales en verano. El factor aguas residuales representa como máximo 18 kg de fósforo anuales descargados hacia las fosas sépticas cuyo drenaje es indirecto y alejado de las orillas. Por lo tanto, la incidencia de las aguas residuales sobre la carga de fósforo y nitrógeno al lago se considera despreciable.

1.6 INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO POR PRECIPITACIONES

Condiciones meteorológicas y aporte pluvial de nitrógeno y fósforo

La información meteorológica obtenida para el lago San Antonio se limitó en la extensión de los registros al período de primavera, por dificultades de orden logístico que impidieron contar con una serie anual de mediciones directas. Durante el período primaveral la temperatura del aire presentó una marcada fluctuación diuma, con variaciones entre mínimas de hasta 0 °C y máximas de 25 °C. La presión atmosférica durante este período osciló entre 725 y 745 hPa, con oscilaciones diarias superpuestas a las variaciones de período más largo (Fig. 396). En respuesta a las fuertes variaciones diarias de temperatura, la humedad relativa fluctuó entre mínimos de 50% en los días más calurosos y máximos cercanos o iguales a 100%, con un marcado ciclo diumo.

La precipitación registrada mediante pluviógrafo analógico entre finales de octubre y mediados de diciembre de 1998 evidencia una progresiva disminución, concordante con la disminución del paso de sistemas frontales con la llegada del verano. Durante la última semana de octubre cayeron 15 mm de lluvia. La precipitación mensual acumulada alcanzó los 37 mm para el mes de noviembre y los 13 mm para el mes de diciembre (Fig. 397).

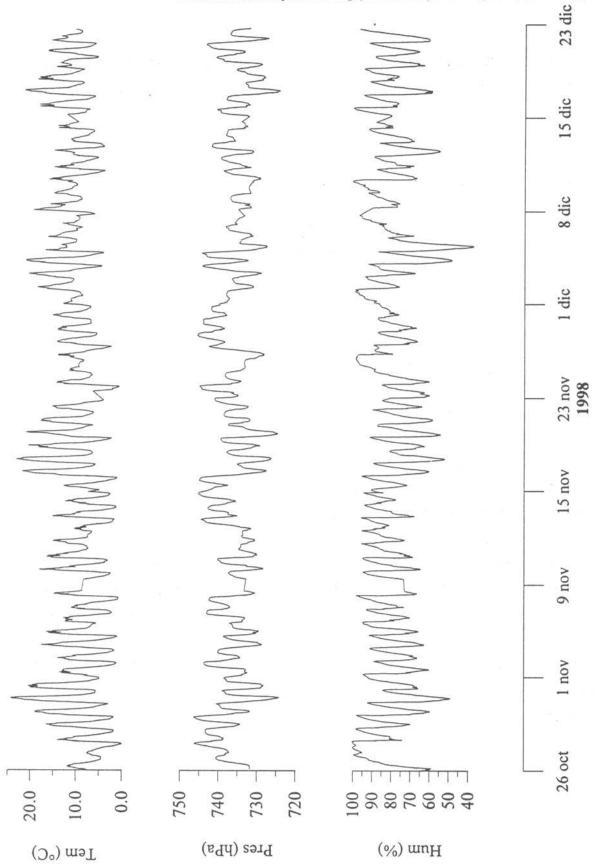
Las normales de precipitación diaria acumulada registradas entre 1961 y 1990 por la Dirección Meteorológica de Chile en el aeródromo de Quellón (43°10'S, 73°43'W, 16 m elevación s.n.m.m.), lugar cercano al lago San Antonio (42°57'30"S, 73°44'W),

(Tabla 86) muestran registros tres veces más altos para esos meses, revelando la característica extraordinariamente seca del año de ejecución de la presente investigación y en particular de la primavera del mismo.

Tabla 86. Normales de precipitación mensual acumulada, período 1961-1990, Quellón.

MES	PP (mm)	MES	PP (mm)	
Enero	127	Julio	270	
Febrero	103	Agosto	254	
Marzo	105	Septiembre	182	
Abril	167	Octubre	141	
Mayo	265	Noviembre	118	
Junio	254	Diciembre	127	

La información del contenido de nitrógeno en la precipitación del sector del lago fue estimada en forma de concentración anual ponderada por precipitación a partir del análisis un par de muestras puntuales, obteniendo para amonio 32,9 µg/L y para nitrato 14,4 µg/L. Las estimaciones de las cargas anuales de nitrógeno incorporadas directamente por lluvias al espejo de aguas del lago San Antonio son de 92,1 kg para nitrato y 210 kg para amonio, lo que totaliza 302 kg de nitrógeno inorgánico. Sobre la base de la proporción de nitrógeno inorgánico a nitrógeno total determinada para el área del lago Chapo, se estima un ingreso directo de 2334 kg de nitrógeno total por medio de precipitaciones al lago San Antonio. De similar manera, la carga anual de fósforo total aportada por lluvias al lago San Antonio se estima igual a 40 kg.



INSTITUTO DE OCEANOLOGIA / UNIVERSIDAD DE VALPARAISO

Temperatura del aire, presión atmosférica y humedad relativa medidas

396

en el lago San Antonio durante noviembre y diciembre de 1998.

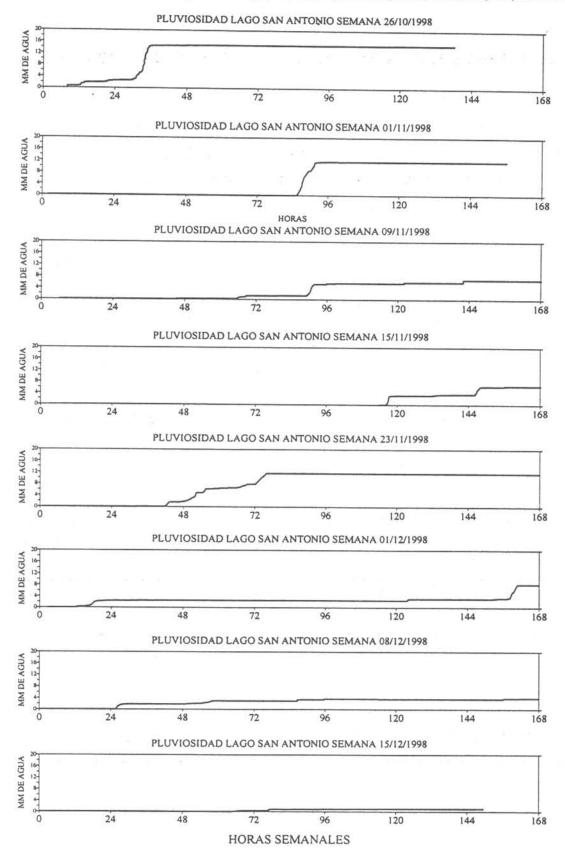


Fig. 397 Pluviosidad semanal acumulada registrada en el lago San Antonio durante noviembre y diciembre de 1998.

2. INGRESO DE FOSFORO Y NITROGENO DESDE CENTROS DE CULTIVO

2.1 Análisis de alimentos suministrados a salmonídeos

El alimento utilizado por el único centro de cultivo ubicado en el lago San Antonio corresponde a extruidos de marca comercial ALITEC (Golden Trucha y Golden extruido). Esta marca indica como porcentajes nominales para estos alimentos un máximo de 1,5% P y 13,5 % N de acuerdo a información suministrada por la empresa cultivadora.

Los resultados obtenidos para los contenidos de fósforo y nitrógeno, así como aquellos de carbono orgánico y materia orgánica total presentes en los alimentos de salmones utilizados se entregan en la Tabla 87. Los resultados de los análisis permiten apreciar que los proporciones efectivas de fósforo y de nitrógeno de los alimentos utilizados se encontraron todo el año por debajo del límite dado por el fabricante, como también lo fue la materia orgánica esperada, estimada sobre la base de la diferencia con el contenido de ceniza declarado. Esto hace posible la indicación del alimento como un límite superior de aporte esperable de fósforo y nitrógeno al ambiente. El centro proyecta continuar utilizando la misma marca y tipo de alimento en 1999.

Tabla 87. Valores de concentración de fósforo total, nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica presente en los alimentos del centros de cultivo del lago San Antonio.

Mes de muestreo	FOSFORO TOTAL %	NITROGENO TOTAL %	CARBONO ORGANICO %	MATERIA ORGANICA %
febrero	1,16 ± 0,05	6,95 ± 0,19	nd	nd
junio	0,87 ± 0,03	6,31 ± 0,03	48,6 ± 0,07	85,8 ± 0,28
noviembre	1,22 ± 0,04	7,75 ± 0,81	48,6 ± 0,35	88,5 ± 0,38

2.2 Ingreso de N y P por sedimentación de fecas y alimento no utilizado por salmonideos

Para cuantificar el aporte de fósforo y nitrógeno representado por el alimento no consumido y las fecas de los peces del centro de cultivo del lago San Antonio, se instalaron trampas de sedimentación en los trenes de balsas y trampas de control de la deposición natural en tres sitios distintos, ubicados en sectores cercanos a la zona de ingreso del afluente principal (oeste del lago), en el área central del lago, relativamente próximo al sector de balsas y en un sector ubicado en el tercio del lago que lleva a su desagüe natural (sector este). La selección de los puntos de anclaje obedeció a una disposición en el sentido del curso de agua.

Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla 88. La duración de los anclajes estuvo determinada por el tiempo total de permanencia en la zona del lago para cada uno de los muestreos; para los controles fluctuó entre 46 y 86 horas y para los trenes de balsas entre 45 y 82 horas. El sedimento natural del lago San Antonio, de tipo arcilloso fino, mostró una tasa muy baja de deposición, por lo que la cantidad acumulada, a pesar de haber ido aumentando el tiempo de permanencia de las trampas, no posibilitó la determinación de su contenido de fósforo y nitrógeno. La baja cantidad de sedimentos naturales presente en la columna de agua, hace suponer que su proporción de contribución de P y N es despreciable frente a aquella de las partículas sedimentables emitidas desde las balsas. Los resultados permiten apreciar un flujo más intenso de material sedimentable emitido desde ellas en primavera y con un aparente mayor contenido de materia orgánica, pero con una menor proporción de nitrógeno y fósforo en su contenido. Este resultado coincide con el comportamiento del suministro de alimento en el centro de cultivo, tanto en cuanto a su cantidad como en lo referente al tipo de alimento dominante desde julio, por aquel de menor contenido nominal de nitrógeno y fósforo de los dos empleados en el centro de cultivo durante 1998.

En verano la cantidad de sedimento captado bajo las balsas jaulas fue similar al "background" natural por cuanto la alimentación de los alevines se encontraba suspendida no reanudándose hasta un mes después. Los resultados obtenidos indican que las balsas jaulas del centro de cultivo ubicado en el lago San Antonio contribuyen con una carga anual de 501 kg de fósforo y 375 kg de nitrógeno.

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	_		-
	Inviemo	71,8	3,94	-	-	121
	Primavera	86,7	0,988	-	100	-
Control centro lago	Verano	45,9	0,065	8	-	-
	Inviemo	71,7	1,5	9	-	-
	Primavera	86,7	0,033	· .	-	-
Control efluente	Verano	46,2	0,58		125	-
	Inviemo	71,5	0,29	-	100	-
	Primavera	86,7	0,264		-	370
Tren de balsas	Verano	45,2	$0,216 \pm 0,057$	<u>u</u>		-
	Inviemo	71,5	$22,15 \pm 9,56$	$3,38 \pm 0,49$	$5,32 \pm 0,51$	47,3
	Primavera	82,4	$52,72 \pm 48,98$	2,99	3,36	72,5

2.3 Contenido de fósforo y nitrógeno de los sedimentos del fondo

Los sedimentos del fondo en el lago San Antonio fueron obtenidos durante el verano en tres puntos de control (estación 2, muelle aserradero y centro del lago) como en varios puntos bajo el centro de cultivo. Tomando en consideración la baja profundidad del lago y la posibilidad de resuspensión de sedimentos durante el período de mezcla, por la naturaleza fina de los mismos, en invierno (agosto) se repitió el muestreo en las tres zonas bajo el centro de cultivo donde se habían detectado los mayores contenidos de fósforo y nitrógeno. La caracterización en cuanto a porosidad y a los contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se efectuó a partir de tres réplicas en cada punto de muestreo, excepto en el centro del lago, donde en que se obtuvieron dos réplicas.

Los resultados obtenidos para la porosidad y contenidos totales de fósforo, nitrógeno y materia orgánica se entregan en la Tabla 89. En razón a su constitución arcillosa, los sedimentos del lago San Antonio se caracterizan por elevada porosidad (0,95 en promedio), lo cual significa que una fracción considerable de los mismos se encuentra en la fase líquida y que por lo mismo su densidad y contenido de materia sólida es relativamente bajo. La baja variabilidad de los resultados de porosidad refleja la notable homogeneidad macroscópica observada para el sedimento. Diferencias respecto a la porosidad de los sedimentos entre

distintos sectores del lago sólo resultaron significativas para el sector del muelle del aserradero respecto a los demás (p<0,03), seguramente por el efecto del aserrín que se ha depositado allí.

Tabla 89. Composición de los sedimentos del fondo del lago San Antonio. (Valores promedio y desviación estándar; MO= materia orgánica)

LUGAR	% P	% N	% MOT	POROSIDAD
ESTACION 2	0.27± 0.027	1.24 ±0.062	44.02 ±1.651	0.970 ±0.0046
MUELLE ASERRADERO	0.12 ±0.019	0.92 ±0.126	36.90 ±0.218	0.939 ±0.0057
BALSA: COSTADO ESTE	0.16 ±0.057	1.40 ±0.014	37.07 ±0.287	0.944 ±0.0025
BALSA: COSTADO SUR (Verano)	0.31 ±0.118	1.40 ±0.127	40.66 ±7.270	0.948 ±0.0126
BALSA: CENTRO (Verano)	0.80 ±0.134	1.65 ±0.101	45.09 ±3.945	0.966 ±0.0057
BALSA: COSTADO NORTE (verano)	0.57 ±0.250	1.46 ±0.581	44.92 ±0.414	0.966 ±0.0033
BALSA: COSTADO OESTE	0.31 ±0.042	1.47 ±0.007	45.68 ±1.203	0.967 ±0.0044
CENTRO DEL LAGO	0.26 ±0.042	1.15 ±0.088	44.04 ±1.045	0.970 ±0.0033
BALSA: COSTADO SUR (Invierno)	0.42 ±0.233	1.34 ±0.089	45.36 ±2.023	0.966 ±0.0073
BALSA: CENTRO (Invierno)	0.70 ±0.010	1.44 ±0.006	47.96	0.959
BALSA: COSTADO NORTE (Invierno)	0.42 ±0.036	1.29 ±0.049	46.34 ±0.903	0.971±0.0025

Los contenidos de materia orgánica del fondo del lago son elevados, superando el 40% en promedio en prácticamente todos los lugares. Los contenidos de fósforo y nitrógeno del fondo en el sector de balsas son más altos que en el resto del lago. El sector bajo el centro de las balsas jaula mostró una diferencia significativa (p<0,05) de sus medias, en cuanto a los contenidos de fósforo y de nitrógeno, respecto a las zonas de control (sector central del lago y Estación 2). En invierno se manifiesta una diferencia altamente significativa (p<0,01) en la comparación de las medias del sector de balsas respecto al contenido de nitrógeno del

sedimento, que disminuyó, probablemente por redisolución durante el período de mezcla del lago. Para el fósforo no se produjeron diferencias.

Las diferencias más sustantivas respecto al resto del ambiente del lago fueron presentadas por los sedimentos de la zona de muelle y aserradero, cuyas medias de fósforo, nitrógeno materia orgánica y porosidad fueron significativamente menores que las de todos los demás sectores.

3. BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO

3.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO SAN ANTONIO

3.1.1 Caracterización física de la columna de agua

Circulación de las aguas

Para determinar las corrientes del lago San Antonio se utilizaron derivadores liberados a dos profundidades (0 y 5 m), complementado con el anclaje de un correntómetro Sensordata instalado a 3 m de profundidad.

La Figura 398 muestra el desplazamiento de los derivadores ubicados a 0 y 5 m de profundidad durante la mañana y la tarde del día 2 de febrero de 1998. Durante la mañana los derivadores a 0 y 5 m de profundidad se desplazaron hacia el oeste-suroeste. Durante la tarde el derivador a 0 m se propagó hacia el sudoeste y el derivador a 5 m se desplazó en sentido contrario al superficial, hacia el noreste. El viento durante la mañana fue moderado del noroeste, en el mismo sentido que el desplazamiento de los derivadores, mientras que en la tarde fue del este con muy baja intensidad. Durante la mañana las intensidades medias de la corriente a 0 y 5 m fueron de 10,4 y 1,9 cm·s⁻¹ respectivamente y durante la tarde las intensidades medias a 0 y 5 m fueron de 12,5 y 1,3 cm·s⁻¹ respectivamente.

La Figura 399 muestra la serie de tiempo de intensidad de la comiente de la laguna San Antonio obtenida mediante el correntómetro anclado a 3 m de profundidad. Debido a un mal funcionamiento de la brújula magnética del correntómetro no se registró dirección de la corriente. La corriente del lago San Antonio presentó baja intensidad. La mayor frecuencia de

magnitudes registradas fue menor a 1 cm s⁻¹, presentándose varios pulsos de mayor intensidad con duración de dos a cuatro horas cada uno. La máxima intensidad registrada entre el 2 y el 6 de febrero fue cercana a 8 cm s⁻¹.

Las corrientes registradas en junio presentaron intensidades inferiores a 1 cm·s⁻¹ con direcciones predominantes hacia el tercer y cuarto cuadrante (S-SW-NW-N). En noviembre las corrientes fueron hacia el noroeste con intensidades de hasta 8 cm·s⁻¹ (Fig. 400).

Los derivadores liberados en noviembre se desplazaron primero hacia el sur y luego hacia el este asociados con el viento del día de mediciones. Las velocidades medias registradas fueron de 6,4 cm·s⁻¹ y 8,7 cm·s⁻¹ a 0 m; a la profundidad de 5 m éstas fueron de 3.0 cm·s⁻¹ y 2.0 cm·s⁻¹ (Fig. 401).

El lago San Antonio presenta una estructura vertical de velocidad estratificada. Las corrientes son más intensas en primavera que en invierno.

Distribución de estaciones

El muestreo se realizó en un total de 6 estaciones distribuidas a lo largo del lago de modo de cubrir toda su área y permitir un apropiado cálculo de isolineas para cada uno de los parámetros medidos. La información obtenida se presenta en forma de distribuciones horizontales en superficie y secciones verticales. La ubicación de las estaciones y de la seccion vertical construida se entrega en la Figura 402. La interpolación en las distribuciones se realizó empleando el método Kriging con variograma lineal en las horizontales y cuadrático en las verticales, teniendo una anisotropía de 1,0 con efecto Nugget 0 en error de varianza para ambos casos. La resolución obtenida para las distribuciones horizontales es de 15 m de latitud y 25 m de longitud. En el caso de las secciones verticales, la resolución es de 50 m en distancia y 1 m en profundidad.

Estructura térmica

En verano, la distribución vertical de la temperatura del lago San Antonio se caracterizó por una delgada capa homotermal superficial de 2 m de espesor con temperaturas entre 19 y 20 °C. Bajo esa capa y hasta los 8 m de profundidad se estableció una marcada termoclina, con un descenso de 0,6 °C /m. El rango de variación para el período estudiado fue de 19.2 °C a 20.6 °C. El periodo de registro de verano fue del 2 al 6 de febrero.

La Figura 403 muestra los perfiles verticales de temperatura registrados por medio de CTD en el lago San Antonio. Los perfiles realizados en junio muestran una distribución vertical de temperatura uniforme, con valores entre 11 y 11.5 °C. En noviembre se presenta un marcado gradiente vertical, con diferencias de temperatura entre la superficie y el fondo de hasta 3 °C. Tanto en junio como en noviembre el lago muestra variabilidad inter e intra-diaria en la temperatura superficial (Fig. 2.24).

El registro efectuado mediante el sensor de temperatura del correntómetro (Fig. 404) muestra que las fluctuaciones de la temperatura del lago no presentaron periodicidad diaria, asociándose éstas a procesos dinámicos propios del cuerpo de agua, como corrientes o mezcla vertical inducida por estrés del viento.

Transparencia

El lago San Antonio se caracterizó por una transparencia moderada a baja, propia de cuerpos de agua mesotróficos durante todo el año (Tabla 90). En condiciones de verano, la transparencia medida con disco Secchi fluctuó entre 2,3 y 3,6 m durante el período de muestreos, siendo más bajo y uniforme en el primero de los dos muestreos ejecutados. Los menores valores se observaron en el extremo oeste del lago . A su vez la mayor transparencia se registró en tercio este del lago (hacia el efluente). En invierno el aumento de transparencia fue muy leve. A la opacidad del lago contribuye su coloración pardusca, proveniente probablemente de una cuantiosa concentración de sustancias húmicas en disolución.

Tabla 90. Transparencia del lago San Antonio medida como profundidad de disco Secchi en metros.

Mes de 1998	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1 1999
Profundidad de disco	2,3	3,0	3,3	-	3,4	3,2	3,3	3,2	3,4	2,8	3,0	3,2
Muestreo 2	3,6				3,8					3,1		

Turbidez

El lago se caracterizó en verano por baja turbidez en todo el cuerpo de agua, contrastando con aquella moderada aportada en superficie por los riachuelos afluentes, particularmente aquel ubicado en la ribera norte (Figuras 406). La distribución vertical (Figura

407) mostró sólo leves aumentos inmediatos al fondo y una condición de notable homogeneidad espacial.

El lago se caracterizó en el muestreo de invierno por bajos valores de turbidez en la mayor parte del cuerpo de agua, con la excepción de su extremo norte en que ésta aumentó a valores sobre 1,2 NTU (Figura 408). La distribución vertical en ambos muestreos intensivos mostró bajo valores de turbidez en toda la columna de agua (Figura 409), denotando una alta homogeneidad.

En el muestreo de primavera, el lago San Antonio se caracterizó por bajos valores de turbidez en la mayor parte de él. Escapan al patrón general anterior la zona el extremo norte con valores sobre 1,2 NTU. Otros valores altos fueron observados en el extremo este y en el oeste, donde la turbidez fue mayor de 1,0 NTU (Figura 410). La distribución vertical en ambos muestreos intensivos mostró bajo valores de turbidez en toda la columna de agua (Figura 411), denotando una alta homogeneidad.

3.1.2 Caracterización química de la columna de agua

Fósforo Total

En verano las concentraciones superficiales del fósforo total fueron relativamente altas, mayores de 10 μg/L en todo el sector oeste del lago y en parte de su costado norte (Figura 412). La distribución vertical se presentó homogénea en tomo a valores de concentración levemente superiores a 8 μg/L (Fig. 413)

El fósforo total presentó valores más bien bajos (< 10 μ g/L) en la mayor parte de la superficie del lago (Figura 414). Solo en los extremos norte y oeste del lago San Antonio, los valores superaron este límite, con un máximo de 11,5 μ g/L medido en el segundo muestreo intensivo de la campaña. En cuanto a la distribución vertical, los valores de fósforo total se mantuvieron dentro de los valores de 6 a 10 μ g/L, con la excepción de dos observaciones cercanas al fondo, en que se observaron concentraciones mayores de 11 μ g/L (Figura 415).

El fósforo total superficial para el muestreo de primavera, mostró en la mayor parte del lago concentraciones entre 6 a 12 μ g/L, lo cual puede ser considerado como valores más bien bajos. Escapa al patrón anterior el extremo este en que aumentó notablemente a valores mayores de 25 μ g/L, con un máximo de 33,5 μ g/L en el segundo muestreo intensivo de la

campaña (Figura 416), lo cual es un valor muy alto. La distribución vertical de esta variable presentó concentraciones entre 6 y 12 μg/L (Figura 417), lo cual es similar a la superficie. Escapa al patrón anterior el alto gradiente vertical que se genera en la estación 6 producto del alto valor superficial de ella (25 μg/L).

La distribución temporal mostró gran uniformidad a lo largo del año, permaneciendo el lago con concentraciones entre 8 y 10 μg/L. A fines de la primavera se produjo un notable aumento, alcanzando valores de hasta 40 μg/L en la zona más profunda y más de 20 μg/L en la mayor parte de la columna de agua (Fig. 418)

Fosfato

La concentración de fósforo como fosfato a nivel superficial fue baja, menor de 10 μg/L, con una tendencia a disminuir desde el afluente principal, situado en el extremo oeste, hacia el noreste (Figura 419). El lago presentó concentraciones relativamente homogéneas en la vertical (Figura 420), con un delgado estrato superficial de menos de 3 μg/L al este y más de 7 μg/L al oeste en la primera etapa. Durante la progresión del período de muestreos, tal concentración de fosfato disminuyó a menos de 4 μg/L en prácticamente todo el cuerpo de agua.

El fosfato disuelto superficial, fluctuó entre concentraciones de 1,5 a 3,5 μg/L, lo que puede ser considerado como valores más bien bajos (Figura 421). Durante el primer muestreo intensivo, en el extremo oeste se presentaron los mayores valores donde el fosfato superó 5 μg/L. En la distribución vertical, el fosfato presentó valores entre 1,5 y 2,5 μg/L en la mayor parte del cuerpo de agua, con la excepción de un alto valor (4 μg/L) en las cercanías del fondo en la estación 1 (Figura 422).

La distribución superficial de fosfato disuelto del lago San Antonio presentó, en general, concentraciones entre 4 y 9 μ g/L, en el primer muestreo intensivo y entre 2 y 5 μ g/L en el segundo muestreo intensivo (Figura 423). En ambos muestreos, el extremo oeste del lago presentó valores mayores de fosfato, 12,3 y 8,1 μ g/L, respectivamente, lo cual estuvo en concordancia con los altos valores de fosfato total observado para la misma zona y período. En cuanto a la distribución vertical (Figura 424), las concentraciones de fosfato disuelto

presentaron un patrón similar a la distribución superficial, mayores concentraciones en el primer muestreo (4 a 8 μg/L) que en el segundo (2 a 3 μg/L).

Nitrógeno Total

El nitrógeno total presentó en verano concentraciones superiores a 200 μg/L en la mayor parte de la extensión superficial del lago San Antonio y llegando a sobrepasar 300 μg/L en las riberas que reciben directamente aportes de afluentes (Figura 425). Estas altas concentraciones se extendieron a toda la columna de agua, con un gradiente de aumento hacia el fondo (Figura 426).

La distribución del nitrógeno total en la superficie del lago San Antonio fluctuó entre 270 a 420 μg/L, en el primer muestreo, lo cual corresponde a valores muy altos de este compuesto (Figura 427). En el segundo muestreo de la secuencia intensiva de invierno, el lago presentó concentraciones superficiales similares al primero, con la excepción de tres estaciones en que se observaron valores muy bajos (< 50 μg/L) y otra en que el valor fue muy alto (> 700 μg/L). La distribución vertical del primer muestreo intensivo de invierno presentó una fluctuación entre 270 a 420, lo cual es similar a lo observado en superficie (Figura 428). Sin embargo en el segundo muestreo intensivo, la situación fue muy diferente. Las concentraciones de nitrógeno total disminuyeron notablemente, incluyendo algunos valores casi no detectables.

La distribución superficial de nitrógeno total, fluctuó entre 51 y 290 μ g/L , sin que se observe un patrón definido de ubicación de mayores y menores valores (Figura 429) La distribución vertical muestra que las mayores concentraciones, se tienden a ubicar hacia el centro del lago, donde superaron los 250 μ g/L, en el primer muestreo intensivo y hacia el este, en el segundo muestreo, con valores mayores de 550 μ g/L (Figura 430).

La serie de tiempo permite ver que el lago mantiene altas concentraciones de nitrógeno total durante todo el año, produciéndose dos períodos claros de máximo aumento, uno a finales del invierno, en que se alcanzan valores de más de 600 μg/L, y otro a fines de primavera, un poco menos intenso que el anterior (Figura 431 a).

Nitrato

La distribución temporal de este nutriente permite observar que sus concentraciones se mantuvieron estables en una tendencia al aumento hasta alcanzar valores máximos sobre $80 \, \mu \text{g/L}$ a fines de la primavera (Figura 431 b), máximo que coincide con el máximo secundario de nitrógeno total.

En verano Los niveles encontrados fueron de bajos a muy bajos. Durante el desarrollo de los muestreos, el nitrógeno en forma de nitrato disminuyó desde concentraciones superiores a 35 μg/L a valores bajo el límite de detección de la técnica (<7 μg/L) en prácticamente todo el cuerpo de agua (Figuras 432 y 433). Las concentraciones más altas se presentaron cerca de los tributarios afluentes y en particular en el área cercana al desagüe (estación 6), única en la cual se mantuvieron valores mayores que 10 μg/L en todo el período.

El nitrato superficial del lago San Antonio, presentó concentraciones relativamente parejas en la mayor parte de él y con valores entre 14 y 20 μ g/L en ambos muestreos intensivos (Figura 434), lo cual puede ser considerado como valores más bien bajos. Escapan al patrón anterior la estación del norte del lago donde se presentaron altos valores, superando los 50 μ g/L en ambos muestreos. En el caso de la distribución vertical, el nitrato presentó una distribución relativamente uniforme en ambos muestreos con concentraciones entre 14 y 25 μ g/L (Figura 435).

El nitrato superficial presentó concentraciones relativamente parejas con concentraciones entre 16 y 30 μ g/L, en el primer muestreo intensivo y entre 9 y 28 μ g/L, en el segundo muestreo intensivo. En ambos muestreos los mayores valores se ubicaron en la zona norte de lago, lo que es coincidente con el muestreo de invierno (Figura 436). La distribución vertical presentó mayores concentraciones en el primer muestreo que en el segundo, con fluctuaciones entre 16 y 36 μ g/L y 16 y 22 μ g/L respectivamente (Figura 437). En ambas oportunidades, los valores más altos se encontraron en las cercanías del fondo.

Nitrito

Las concentraciones de esta forma de nitrógeno detectadas fueron bajas, con un valor máximo de 3 µg/L localizado en superficie del área central del lago (estación 3). La distribución superficial se caracterizó en el primer muestreo por una disminución desde el máximo antedicho hacia ambos extremos del lago y en el segundo por un área que mantuvo

concentraciones mayores de 1 µg/L en el sector norte del lago (Figura 438). Por su parte la distribución vertical (Figura 439) se caracterizó por concentraciones homogéneamente bajas, menores de 1 µg/L excepto por el sector medio del lago.

Las concentraciones de nitrito superficial fueron, en general, bajas para ambas campañas con valores que fluctuaron entre < 0,14 y 1,6 μg/L, no observándose un patrón definido de fluctuación (Figura 440). Una situación similar ocurrió en la distribución vertical, aunque en el segundo muestreo intensivo se apreciaron valores más altos que en la primera (Figura 441).

El nitrito superficial de la campaña de primavera, también presentó bajas concentraciones, con valores entre <0,14 y 0,9 μ g/L, no observándose un patrón definido de fluctuación (Figura 442). La distribución vertical del nitrito fue relativamente uniforme y con valores entre <0,14 y 0,8 μ g/L (Figura 443).

Las bajas concentraciones de nitrito se extendieron durante todo el primer semestre del año, con valores menores de 0,5 µg/L (Figura 444 a). A finales del invierno se produce un rápido aumento a valores tres veces más altos, por ascenso de las isolíneas desde la zona profunda del lago. Esta situación se repite en la primera parte de la primavera y posterior mente, al comienzo del verano, pero partiendo desde la superficie en esta última oportunidad.

<u>Amonio</u>

La distribución en el tiempo del amonio se caracteriza por una fuerte estacionalidad, con dos períodos de bajas concentraciones, menores de 10 µg/L, en la última parte del verano (febrero a abril) y al comienzo de la primavera (fines de agosto a comienzos de octubre), alternados con dos períodos de altas concentraciones, a fines de invierno y comienzos de verano (Figura 444 b).

La distribución superficial de esta forma reducida de nitrógeno se caracterizó en su distribución horizontal de verano por bajas concentraciones (< 10 µg/L), que ocuparon toda la mitad norte del lago y por concentraciones de bajas a moderadas en la mitad sur del mismo (Figura 445). Las bajas concentraciones se extendieron a toda la columna de agua, con menos de 5 µg/L en la mayor parte de la extensión del lago (Figura 446).

El amonio superficial de junio se caracterizó por sus bajas concentraciones (< 10 μ g/L) en los dos muestreos intensivos de esta campaña (Figura 447). Escapa al patrón anterior un valor aislado de sobre 20 μ g/L observado en la estación 1 del primer muestreo intensivo. En la distribución vertical, la situación es similar a la observada en superficie, con valores bajos entre 3 y 10 μ g/L (Figura 448), con la sola excepción de la mayor concentración de la estación 1, mencionada anteriormente.

En el muestreo de primavera, los valores fluctuaron entre 11 y 30 μ g/L, en el primer muestreo intensivo y entre 9 y 22 μ g/L, en el segundo muestreo intensivo (Figura 449). Con la excepción de los altos valores puntuales, estas concentraciones son más bien bajas. En cuanto a la distribución vertical, la situación es similar a la observada en superficie, con valores entre 11 y 20 μ g/L (Figura 450). Escapan del patrón anterior, dos observaciones del primer muestreo intensivo, donde se presentaron valores entre 25 y 30 μ g/L, que son considerados altos.

Clorofila

El lago San Antonio presentó valores de clorofila en ascenso durante el período de muestreos intensivos de verano. En superficie las concentraciones aumentaron de menos de 0,7 mg·m⁻³ a más de 1,5 mg·m⁻³ (Figura 451). Durante todo el período de observaciones se presentó un máximo relativo en el área central del lago. La distribución vertical se caracterizó por un gradiente de aumento de la concentración con la profundidad, situándose el máximo absoluto (> 2,5 mg·m⁻³) inmediato al fondo, en la zona central del lago (Figura 452).

En invierno el lago presentó concentraciones de clorofila que fluctuaron entre 0,3 y 2,4 mg·m⁻³, con los valores mayores hacia la zona oeste del lago (Figura 453). Se puede indicar que, en general, el primer muestreo intensivo presentó mayores concentraciones que el segundo.

La clorofila primaveral del nivel superficial fluctuó entre 0,5 y 2,2 mg·m⁻³ en el primer muestreo y entre 1,3 y 2,4 mg·m⁻³ en el segundo (Figura 454). En ambas oportunidades se observó que los mayores valores tienden a presentarse hacia el centro del lago. La distribución vertical de la clorofila, presentó fluctuaciones similares a la superficie, con los menores valores de 0,6 mg·m⁻³ y los de 2,4 mg·m⁻³ en las cercanías del fondo (Figura 455). Esta distribución

vertical, no muestra ningún patrón general, estando la mayores y menores concentraciones ubicadas indistintamente en a columna de agua.

La distribución temporal de la clorofila muestra la existencia de dos claros máximos en el año, uno correspondiente a la tradicional proliferación planctónica de primavera, con concentraciones mayores de 4 mg·m⁻³ desde la superficie hasta los 2 m de profundidad y el otro de similares características, que ocurrió a finales de mayo (Fig. 456 a).

Oxígeno disuelto

La columna de agua del lago San Antonio se presentó bien oxigenada durante todo el año, con concentraciones sobre 10 mg/L durante poco más de la mitad del año, tendiendo a descender en el verano como resultado de la disminución de solubilidad por calentamiento estival (Fig. 456 b).

El contenido de oxigeno disuelto a nivel superficial exhibió valores cercanos a 10 mg/L en la primera etapa de los muestreos de verano, disminuyendo levemente a un rango entre ocho y diez hacia final del período (Figura 457). Estas concentraciones correspondieron a saturaciones entre 105 y 112%. En profundidad se observó un marcado gradiente de disminución de la concentración hacia el fondo, disminución que fue en progresión en el tiempo, pasando de valores cercanos a 8 a un mínimo bajo 7,5 mg/L (Figura 458). Estas concentraciones corresponden a saturaciones de 86 a 77%.

El oxígeno disuelto fluctuó en invierno entre valores de alrededor de 9,5 y 10,4 mg/L en el primer muestreo y entre 9,5 y 10,4 en el segundo muestreo (Figura 459), valores que están cercanos al valor de saturación del agua. En cuanto a la distribución vertical, el oxígeno disuelto fue relativamente parejo en profundidad, fluctuando alrededor de 9,6 a 9,7 mg/L (Figura 460). Estos valores son altos en toda la columna de agua y se encuentran cercanos al valor de saturación.

En el muestreo de primavera, el oxígeno disuelto, presentó fluctuaciones en su concentración mucho más altas que en invierno, con concentraciones entre 8 y 11 mg/L en el primer muestreo intensivo y entre 9 y 21 mg/L en el segundo (Figura 461). Es importante destacar el importante aumento que presentó el oxígeno disuelto en la estación más hacia el oeste, en el cual este gas disuelto prácticamente duplico su concentración entre los muestreos. Los altos valores por sobre los 12 mg/L, observados en este muestreo, implican

saturaciones por sobre los 100 %, los que a su vez deberían implicar una alta actividad fitoplanctónica. La distribución vertical del oxígeno disuelto, presentó una distribución relativamente pareja, con concentraciones que fluctuaron entre 8 y 10 mg/L excepto el valor de 11,8 mg/L presente en superficie en la estación 4 (Figura 462).

pH

El pH se caracterizó en verano por valores en torno a 6,4 en la mayor parte del cuerpo de agua, ligeramente menores que los de los tributarios no sujetos a mezcla con descargas de aguas de lavado de los aserraderos instalados en la ribera sur (Figura 463). La distribución vertical de este parámetro se caracterizó por valores ligeramente mayores hacia la zona del desagüe, zona donde se produjo un leve aumento en el tiempo (Figura 464). Conjuntamente con el señalado aumento se produjo una ligera disminución del pH a nivel profundo en la zona de mayor batimetría (estación 3).

El pH superficial se caracterizó en primavera por valores que fluctuaron entre 6,4 y 7,4, lo que implica valores cercanos a la neutralidad de la acidez. En general, los mayores valores superficiales se presentaron hacia los bordes este y oeste del lago (Figura 465). En cuanto a la distribución vertical del pH, este fue bastante homogéneo y alrededor de 6,8 en la campaña de primavera (Figura 466).

Durante el año se presentó un patrón de distribución del pH caracterizado por un ciclo con altos valores cercanos a la neutralidad en el verano, descendiendo progresivamente hasta alcanzar un mínimo ligeramente ácido (<6) hacia el final del invierno, en respuesta al ciclo de producción y consumo de anhídrido carbónico (Fig. 467a).

<u>Alcalinidad</u>

La alcalinidad de este cuerpo de agua se presentó baja y estable durante todo el año, oscilando entre poco menos de 10 y poco más de 12 mg/L de CaCO₃ (Figura 467b). En verano, la alcalinidad estuvo caracterizada por valores muy homogéneos entre 8 y 10 mg/L de CaCO₃ en la casi totalidad del cuerpo de agua a excepción de la zona de desembocadura de tributarios, que presentaron concentraciones algo mayores (Figuras 468 y 469).

La alcalinidad presentó valores que fluctuaron entre 10 y 14 mg/L de CaCO3 en ambos muestreos intensivos de invierno, sin una tendencia clara a un patrón de distribución de mayores y menores concentraciones (Figura 470). En la columna, las concentraciones de

alcalinidad muestran una situación más bien homogénea con valores entre 10 y 13 mg/L de CaCO3 (Figura 471).

En la campaña de primavera la alcalinidad presentó concentraciones que fluctuaron entre 9 y 12 mg/L de CaCO3 con los menores valores hacia la estación 4 (Figura 472). En profundidad, la variación de alcalinidad fue similar a la de la superficie, con valores que fluctuaron entre 10 y 12 en el primer muestreo intensivo y entre 9 y 11 en el segundo, no existiendo un patrón claro de distribución (Figura 473).

3.2 BALANCE HIDRICO DEL LAGO SAN ANTONIO

Para el establecimiento del balance hídrico del lago San Antonio se contó con la información de ingresos tanto por afluentes como por escurrimiento superficial y con la información de egreso por el efluente, careciendo de la información correspondiente a la serie completa de precipitación caída como para estimar con la suficiente certeza el componente correspondiente a aportes por precipitación. La información correspondiente a normal de precipitación para el área no pude ser utilizada sin más debido a que el año 1998, en que se desarrollo la investigación ha sido quizá el más seco del siglo, existiendo un déficit de precipitaciones del orden del 40 % para la región. El término de precipitación representó para el relativamente vecino lago Popetán un 7,5 % del total de aporte hídrico. Esta es una información de referencia que, considerando la mayor área superficial del lago San Antonio, ha sido utilizada aquí para cotejar la estimación hecha a partir de la indicada reducción del volumen de precipitación normal anual.

Una segunda aproximación empleada para el establecimiento del balance hídrico en el caso del lago San Antonio ha sido la medición directa del término ΔV a partir de la medición semidiaria del nivel del lago mediante una vara de referencia adosada a un pilote de muelle, obteniendo sobre esta base una estimación del término de ingreso por vía pluvial. Esta información permite establecer a partir del nivel inicial (presente cuando se comenzó con la actividad de terreno en el lago) la variación total del lago. La serie de mediciones se presenta en la Figura 474.

A la limitante de desconocimiento de la cantidad efectivamente caída por lluvias debe añadirse el desconocimiento del flujo anual de vapor de agua, que por la carencia de suficiente información de temperaturas y ausencia de información de viento no puede estimarse. Este término de egreso juega por fortuna un rol muy secundario a la latitud del lago San Antonio, maxime considerando la extensión el área de su espejo de aguas frente a la descarga por efluente. En esta misma investigación fue inferior al 1% del total de agua extraída, tanto del lago Chapo como del más comparable lago Popetán (0,3% del egreso para este último cuerpo de agua).

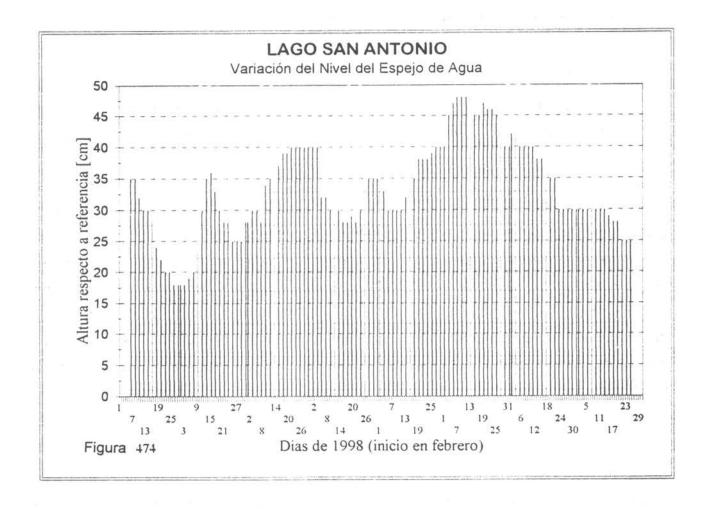


Tabla 91. Estimación del balance hídrico del lago San Antonio durante 1998. (El ingreso por lluvia ha sido estimado como 40% de un año normal)

Ingreso directo por Lluvia /10° m³	Ingreso por Afluentes 10 ⁸ m ³	Ingreso por Escurrimiento Difuso / 10 ⁸ m ³	Egreso por Evaporación 10 ⁸ m ³	Egreso por Efluente 10 ⁸ m ³	ΔV 10 ⁸ m ³
2,559	14,946	0,0198	0,110	36,662	-19,247

El cálculo del tiempo de renovación del volumen del lago San Antonio, estimado a partir la tasa de egreso de aguas imperantes en 1998, que ascendió a 32,772 · 10⁶ m³/año, permite establecer un resultado de 0,447 años. Esto implica que la capacidad de renovación anual del agua es de 2,2 veces el volumen total del lago.

3.3 MASA TOTAL DE FÓSFORO Y NITRÓGENO CONTENIDA EN EL LAGO

Las masas totales de las principales formas de fósforo y nitrógeno obtenidas a partir de las sumas de sus contenidos por estrato en el lago San Antonio se presentan en la Tabla 92. La masa total de fósforo contenida en el lago tuvo un promedio de 138 kg, con una apreciable variabilidad intranual, que exhibió un rango desde un máximo de 189 kg en abril de 1988 hasta un mínimo de 103 kg en julio de 1998. La forma de fósforo de inmediata disponibilidad para productores primarios (ortofosfato) representó, con una masa promedio de 51,9 kg, una media de 38% del contenido total de fósforo. Su variabilidad intranual fue mayor que la del fósforo total, con un amplio rango entre un máximo de 80,2 kg en agosto y un mínimo de 20,6 kg en julio.

La masa total de nitrógeno contenida en el lago San Antonio tuvo un promedio de 3,67 toneladas, con relativa estabilidad ensu masa durante el segundo semestre y una apreciable variabilidad durante los primeros cinco meses. El máximo ocurrió en agosto con 6,24 toneladas y el mínimo en abril, con 1,93 toneladas. La fracción inorgánica del nitrógeno se mantuvo relativamente baja durante todo el año, oscilando entre un mínimo de 4,0% y un máximo de 17%, con una moda de 4,4%. Esta fracción estuvo representada en forma bastante equiparada por nitrato y amonio, con respectivamente 5,3% y 4,0% del nitrógeno total.

Tabla 92. Contenido total de formas de fósforo y de nitrógeno en el lago San Antonio.

	FOSFORO	FOSFATO	NITROGENO	NITRATO	NITRITO	AMONIC
MES	TOTAL /kg	kg	TOTAL /kg	kg	kg	kg
Febrero	137	66.2	3561	76.6	5.71	75.9
Marzo	117	29.0	3470	63.7	0.00	74.6
Abril	189	51.0	1933	54.6	1.33	86.5
Mayo	127	35.9	3896	225	6.76	231
Junio	139	30.6	2732	240	4.55	117
Julio	103	20.6	3650	416	8.58	222
Agosto	126	80.2	6243	350	0.00	48.2
Septiembre	141	48.4	3430	348	11.9	80.2
Octubre	125	30.5	3568	185	22.3	132
Noviembre	143	75.9	3420	333	3.6	245
Diciembre	175	74.2	4760	18.5	13.8	265.1
Enero	131	79.6	3371	3.79	12.1	199
PROMEDIO ANUAL	138	51.9	3669	193	7.6	148

3.4 DETERMINACION DE LOS BALANCES DE FOSFORO Y NITROGENO

Los resultados de los términos necesarios para establecer el balance de fósforo para el lago San Antonio, obtenidos a partir de medición directa de las diversas cargas ingresadas al cuerpo de agua (por afluentes, por las precipitaciones, por escurrimiento superficial difuso y por aporte desde los sistemas de cultivo) y de la carga egresada con las aguas extraídas del lago por el efluente, se agrupan en la Tabla 93. La suma de los ingresos durante el año 1998 ascendió a 886 kg. De este monto, un 56,5% fue aportado por el centro de cultivo existente en el lago; los afluentes contribuyeron con 38,7 %. El egreso total de fósforo por el efluente ascendió en 1998 a 650 kg. El balance arroja como resultado un flujo neto anual hacia los sedimentos, por lo que estos actúan en las condiciones de carga actuales como sumidero de fósforo; durante 1998 contribuyeron a descargar 236 kg desde el lago. Los bajos e irregulares caudales de los afluentes naturales del lago San Antonio determinan que la carga proveniente de los centros de cultivo domine como principal contribuyente de fósforo. El tiempo de residencia del fósforo en el lago calculado a partir del balance de masas es de sólo 58 días, lo que implica que todo el contenido de fósforo del lago se renueva 6 veces en el año.

Tabla 93. Balance de Fósforo del lago San Antonio durante el año 1998.

	Ingreso por Afluentes kg	Ingreso por Precipitaciones kg		Ingreso por Centros de cultivo kg	Efluente	Intercambio con sedimentos kg
138	343	40	2,6	501	650	-236

Los resultados obtenidos con el balance de nitrógeno se agrupan en la Tabla 94. Para este elemento, la suma de los ingresos durante el año 1998 ascendió a 7,80 toneladas. La mayor proporción de esta cantidad, correspondiente a 65 % fue aportada por los afluentes; el centro de cultivo existente en el lago contribuyó con un 4,8% y las precipitaciones directas con un 30 %. El egreso de nitrógeno por el efluente ascendió en 1998 a 12,3 toneladas. El balance indica que los sedimentos constituyen una fuente neta de nitrógeno hacia el lago, generando una carga interna. Durante 1998 los sedimentos del fondo aportaron 4,5 toneladas de nitrógeno al lago. El tiempo de residencia del nitrógeno en el lago San Antonio, calculado a partir del balance de masas, es de 0,22 años, lo que implica que el contenido total de N del cuerpo de agua es reemplazado 4 veces cada año.

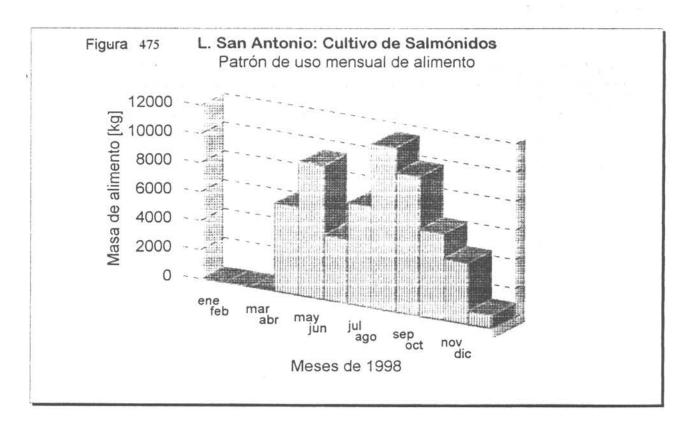
Tabla 94. Balance de Nitrógeno del lago San Antonio durante el año 1998.

Masa total	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Ingreso por	Egreso por	Intercambio
de N en el	Afluentes	Precipitaciones	Escurrimiento	Centros de	Efluente	con
lago			difuso	cultivo		sedimentos
kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
3669	5085	2334	5,48	375	12260	4461

4. CUANTIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SALMONIDEOS EN CULTIVO

En el lago San Antonio se ubica un centro de cultivo, de propiedad de Salmones Huillinco S.A., instalado allí desde mayo de 1996. La información proporcionada por la empresa señala que la ocupación de balsas jaulas con stock de peces se ha llevado a cabo desde esa fecha hasta enero de 1998, reanudándose el cultivo en abril de ese año tras una suspensión de tres meses. Durante el mes de febrero se constató al efectuar las actividades de muestreo de este proyecto FIP que no existía actividad de alimentación de peces. La especies cultivada ha sido trucha arcoiris. El número de peces cultivados ha ascendido a un total de 6 jaulas con una densidad de 30.000 individuos mensuales por jaula, los que han sido cosechados al alcanzar los 140 g de peso promedio. Los planes de producción para 1999 tienen el propósito de reemplazar la trucha por salmón coho y reducir el volumen producido a 70.000 individuos por mes a partir de 1999.

El patrón de suministro del alimento a los salmónidos (Fig. 475) permite observar una fuerte concentración de la producción en los meses de otoño y primavera, que responde a las cosechas sucesivas de trucha arcoiris al término de cada semestre.



5. CAPACIDAD DE CARGA DEL LAGO SAN ANTONIO

El coeficiente de retención por sedimentación R para el lago San Antonio, calculado a partir de la fracción del volumen de agua renovado al año, es de 0,471. A su vez, la carga total actual de fósforo por unidad de área del lago (ΣL) es de 293 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados arrojan una concentración total de P en el lago de 12,8 mg·m⁻³ empleando el modelo de Dillon y Rigler. La masa total de P en el lago estimada a partir de esta concentración es de 209 kg. La diferencia de 71 kg respecto a la masa calculada por segmentos de volumen corresponde a la masa presente al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación de P estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 886 kg.

La carga crítica de fósforo para el lago San Antonio obtenida con el uso del modelo aplicado dio como resultado 202 mg·m⁻²·a⁻¹. Puesto que la carga actual medida (293 mg·m⁻²·a⁻¹) es superior en un 45% a la carga crítica, la capacidad de carga para este lago respecto a fósforo se encuentra sobrepasada.

Tomando en consideración que la composición estequeométrica de la materia orgánica en cuanto a su proporción de nitrógeno y fósforo es de 7,2 : 1 en términos de masa, al efectuar con ella una proyección de la carga crítica de fósforo al nitrógeno se obtiene una carga de 1073 mg·m⁻²·a⁻¹ de N. Si se compara esta estimación con la carga de nitrógeno por unidad de área del lago (2576 mg·m⁻²·a⁻¹), se constata la existencia de menos nitrógeno que el requerido para sostener una relación equivalente a la de la materia orgánica con la carga crítica de fósforo, por lo que el nitrógeno probablemente contribuya a limitar la producción primaria en el lago San Antonio.

La carga total actual de nitrógeno por unidad de área del lago (ΣL) es de 2576 mg·m⁻²·a⁻¹. Estos resultados, empleando el modelo de Dillon y Rigler, arrojan una concentración total de N en el lago de 113 mg·m⁻³. La masa total de N en el lago estimada a partir de esta concentración es de 1,8 toneladas. La diferencia de 1,8 toneladas corresponde a la masa de nitrógeno al inicio del período. De acuerdo a la tasa de renovación estimada a partir del balance de masas, cabría esperar una renovación anual de 7,8 toneladas de N.

Por otra parte la carga estimada por la fórmula de Bachmann arrojó 28175 mg·m⁻²·a⁻¹, que es considerablemente superior a la carga actual, indicando que el lago San Antonio

mantiene capacidad disponible para incorporar una carga de nitrógeno superior a la que le está recibiendo actualmente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el lago San Antonio presenta limitación por fósforo y existe evidencia que indica sobrecarga de P, que no permite ampliación de producción piscícola sin deterioro del estado de trofía del cuerpo de agua. Probablemente gracias a la elevada tasa de recambio que poseen las aguas de este lago, los cambios se encuentran todavía en una etapa temprana como para introducir una acción correctiva oportuna.

6. SENSIBILIZACIÓN DEL MODELO EMPLEADO

La variación de la carga del lago San Antonio es relativamente sensible a variaciones en la retención por los sedimentos. La variación de la carga retenida responde en forma prácticamente lineal y en una magnitud casi igual a la de la variación del coeficiente de retención, por lo que su determinación exacta es relevante para los resultados predictivos del modelo.

Por otra parte, la sensibilización del modelo utilizado respecto a la variación de biomasa de salmónidos cultivados en el lago San Antonio arroja los resultados que se entregan en la Tabla 95. Es posible observar que para alcanzar un nivel de carga inferior a la carga crítica estimada para este lago se requiere disminuir la biomasa cultivada de salmónidos en 3 toneladas y que aumentos inclusive moderados acelerarían el proceso de avance a la mesotrofia.

Tabla 95. Resultados de sensibilización del modelo aplicado respecto de variación de producción total de salmónidos en el centro de cultivo del lago San Antonio

	Dismir	nución	de bio	masa	Aume	ento de	bioma	sa
Variación de Salmónidos (toneladas/año)	-1	-2	-3	-5	1	20	3	5
Carga total de P ingresada por todas las vías al lago (mg·m ⁻² ·a ⁻¹)	267	242	216	165	318	344	369	420
Concentración esperada de P para todo el volumen del lago mg·m ⁻³		10.56	9.44	7.21	13.91	15.02	16.14	18.37

7. APORTE DE QUIMIOTERAPÉUTICOS DESDE LOS CENTROS DE CULTIVO Y PERSISTENCIA EN EL AMBIENTE

Determinación de quimioterapéuticos en las zonas de centros de cultivo del lago San Antonio.

En el lago San Antonio las muestras de agua para análisis de quimioterapéuticos se tomaron en los meses de enero, junio y noviembre, sometiéndolas a determinación de Oxitetraciclina, Trimetoprim, Sulfametoxazol, Sulfadimetoxina, Eritromicina y Coramfenicol. Considerando el reducido tamaño del lago, la toma de muestras no se limitó a las aguas de la zona de balsas del centro de cultivo, extendiéndola a la totalidad de las estaciones de muestreo ordinario de aguas. Adicionalmente se obtuvieron muestras de sedimentos en febrero, las que fueron sometidas a determinación de los mismos quimioterapéuticos indicados para aguas.

La totalidad de las muestras de agua de enero y noviembre, así como aquellas del muestreo supernumerario de agosto mostraron resultados negativos para todos los quimioterapéuticos. Similar fue el resultado obtenido para las muestras de agua de junio en lo que respecta a Sulfametoxazol, Oxitetraciclina, Eritromicina, Sulfadimetoxina y Coramfenicol.

Los límites de detección y cuantificación para los análisis de estos quimioterapéuticos son idénticos a los ya indicados indicados en la Tabla 78 para el lago Popetán. De acuerdo a la información recibida de la empresa cultivadora del área, se aplicó oxitetraciclina en junio y julio, sin embargo las muestras resultaron negativas para este quimioterapéutico. En junio, las muestras de agua resultaron positivas para Trimetoprim, el cual pudo ser cuantificado en todas las estaciones.

La distribución horizontal de las concentraciones de Trimetoprim en superficie (Fig. 476) permite observar la presencia de este quimioterapéutico en la totalidad de las aguas del lago San Antonio en junio y la existencia de un gradiente de disminución de la concentración desde un máximo superior a 9 ppm ubicado en la parte centro-sur del cuerpo de agua, hasta un mínimo en la zona norte. La distribución vertical de Trimetoprim (Fig. 477) acusó la presencia de una fuente en superficie para este compuesto, con un gradiente de disminución tanto en sentido vertical como horizontal desde el centro-sur hacia el norte del lago. En la parte más profunda del lago se oserva la transición desde concentraciones bajas hacia concentraciones

mayores, que permite relacionar la presencia del quimioterapéutico con asociación a material particulado en sedimentación.

8. AREAS MAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO DE SALMONIDEOS

El lago San Antonio es de una extensión areal pequeña, si bien mayor que la del lago Popetán y menos expuesto al viento que este. Su transparencia es muy reducida por la presencia de sustancias húmicas disueltas que confieren al agua una coloración pardusca. Su fondo esta cubierto por arcillas finas no mezcladas con otros sedimentos. La distribución de temperatura es uniforme durante la mayor parte del año, en tanto que aquella de pH, caracterizada por valores cercanos a la neutralidad muestra sus valores menores en la ribera sur y los mayores en la ribera norte. La oxigenación es alta en toda su extensión. Las corrientes son determinadas por viento, son verticalmente estratificadas en cuanto a intensidad y presentan una distribución semejante a lo largo de la extensión del lago. En consecuencia, las condiciones determinantes para la ubicación de un centro de cultivo está dada exclusivamente por la batimetría. De allí que el sector central del lago actualmente ocupado por el centro existente sea el más apropiado en términos ambientales para este efecto.

ANEXOS DE FIGURAS LAGO SAN ANTONIO

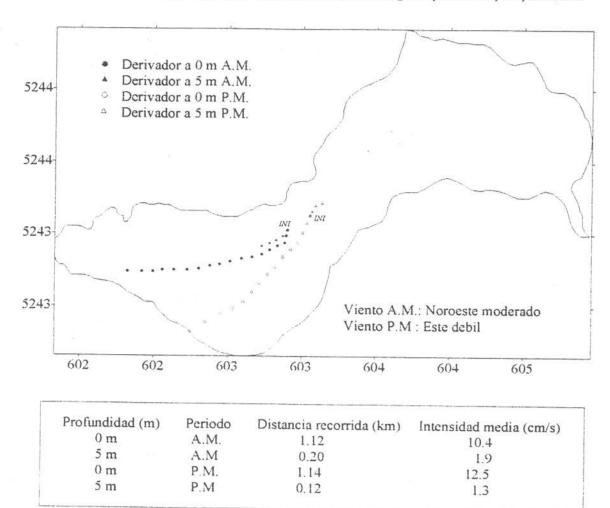


Fig. 398 Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago San Antonio, 11 a 17 horas del 2 de febrero de 1998.

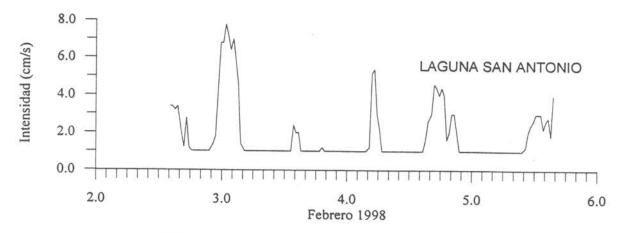


Fig. 399 Series de tiempo de magnitud (cm/s) de la corriente en el lago San Antonio a 3 m de profundidad.

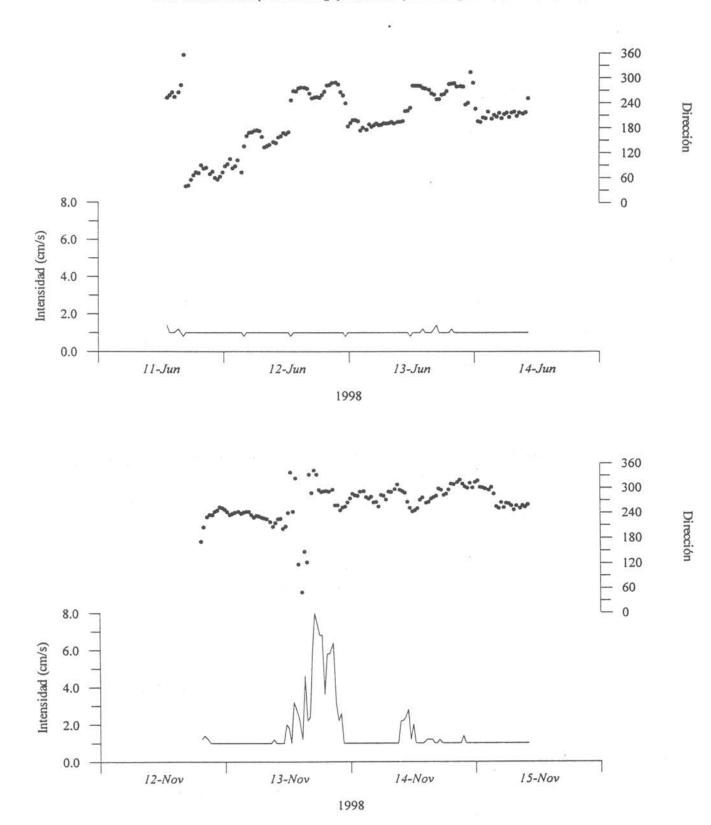
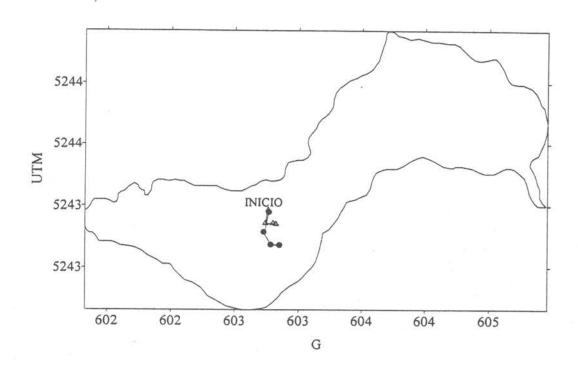


Fig. 400 Series de tiempo de dirección y magnitud (cm/s) de la corriente en el lago San Antonio registrada en junio y noviembre de 1998.



Profundidad	Distancia recorrida (km)	Intensidad media (cm/s)
0 m	0.18 / 0.26	6.4 / 8.7
5 m	0.11 / 0.07	3.0 / 2.0

Fig. 401 Desplazamiento de derivadores a 0 y 5 m. Lago San Antonio, noviembre de 1998.

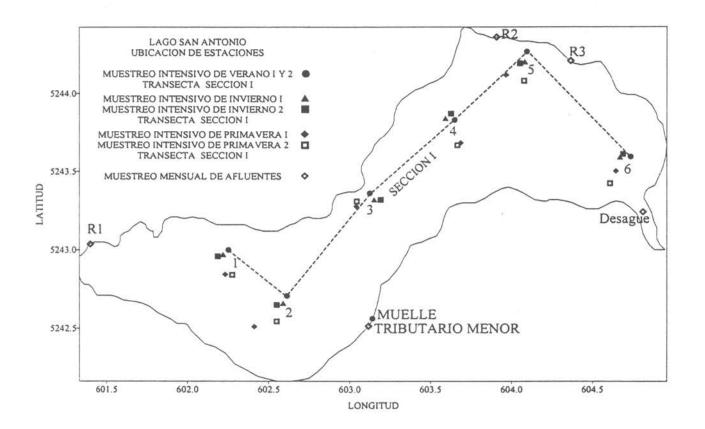
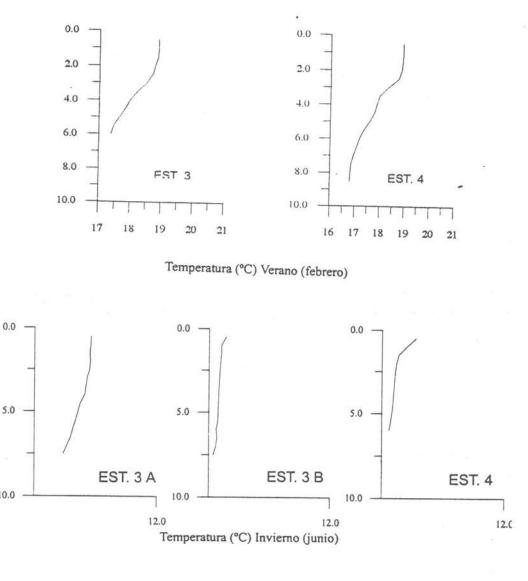


Fig. 402 Ubicación de estaciones de muestreos en el lago San Antonio.



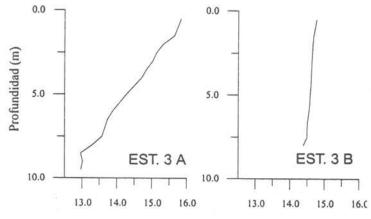
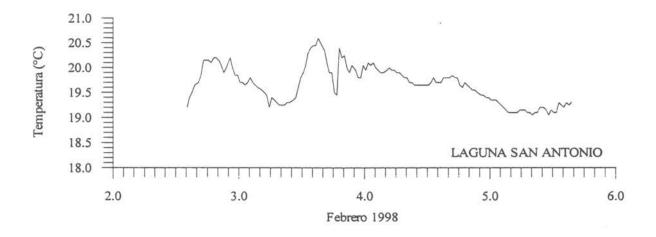


Fig. 403 Perfiles de Temperatura del lago San Antonio en 1998

Temperatura (°C) Primavera (noviembre)

Profundidad (m) 5.0

10.0



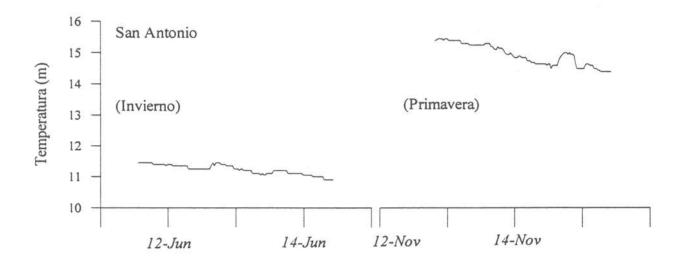
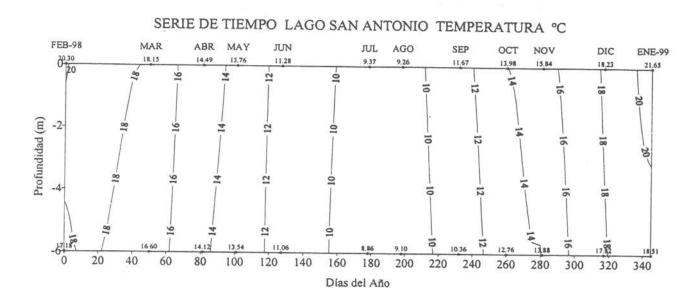


Fig. 404 Variación diaria de temperatura del agua en el lago San Antonio registradas durante las fases de mediciones, verano, invierno y primavera de 1998.



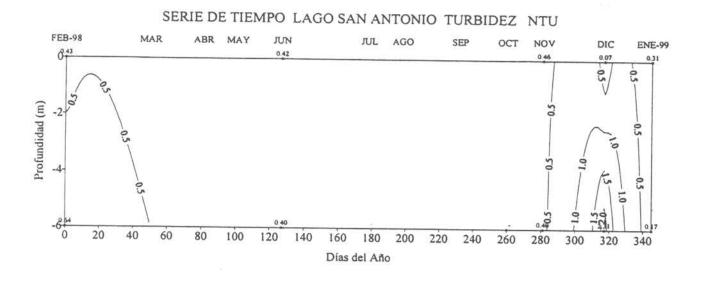
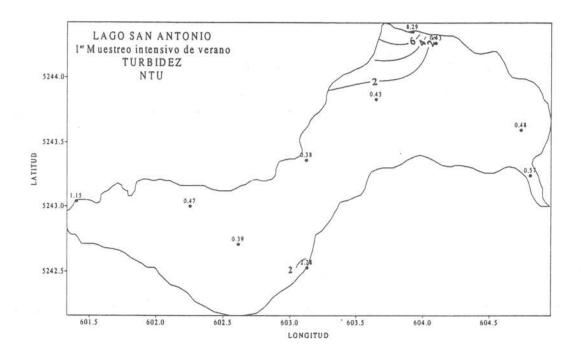


Figura 405 Variación temporal anual de Temperatura en °C y Turbidez en NTU en el lago San Antonio.



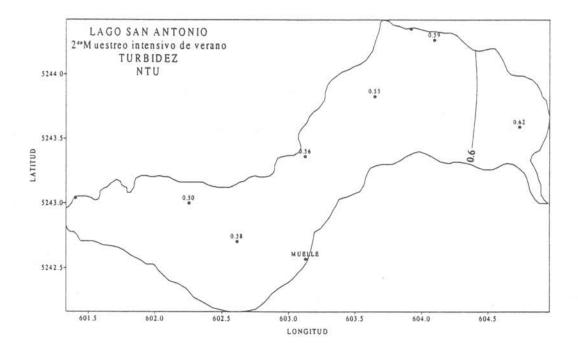
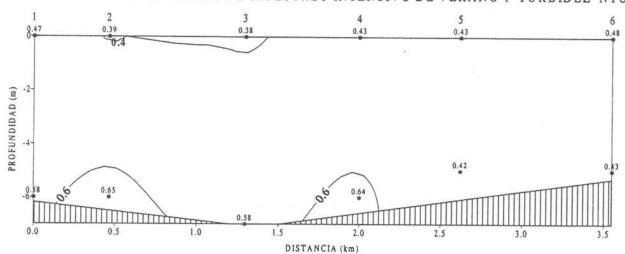


Figura 406 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 TURBIDEZ NTU



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 TURBIDEZ NTU

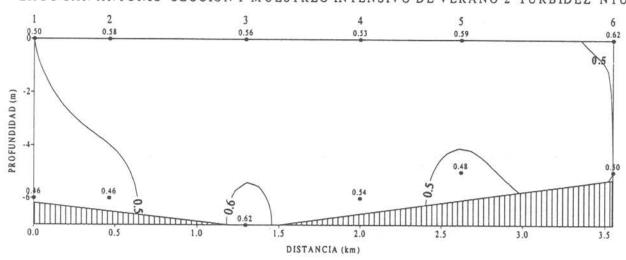
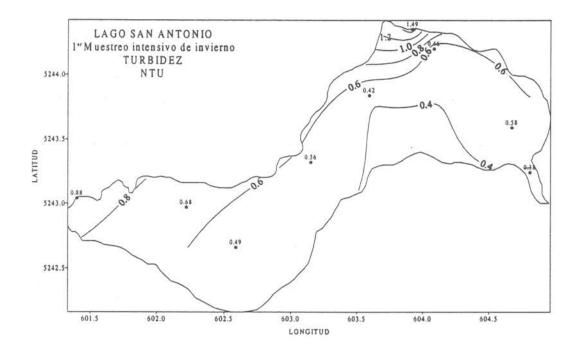


Figura 407 Sección vertical Nº 1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio.



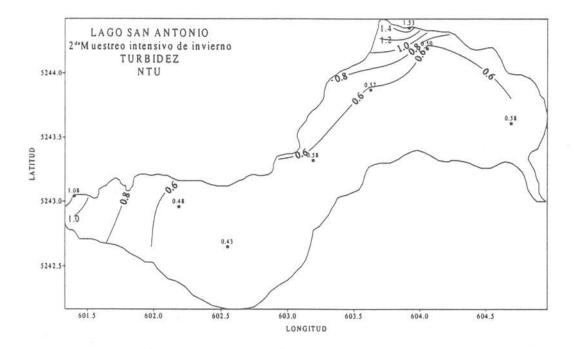
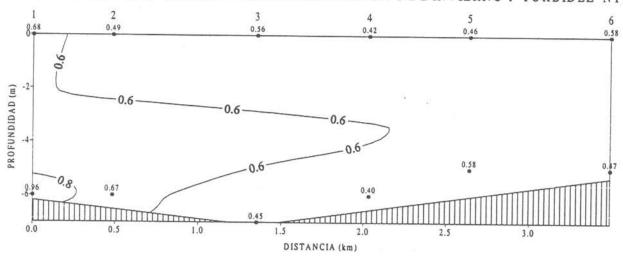


Figura 408 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 TURBIDEZ NTU



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 TURBIDEZ NTU

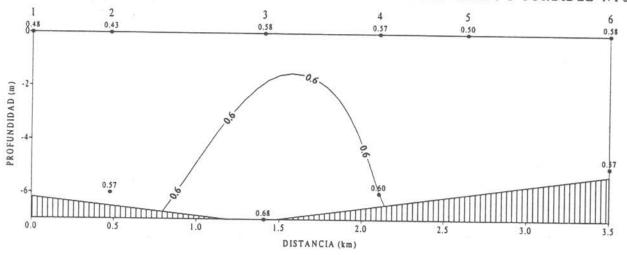
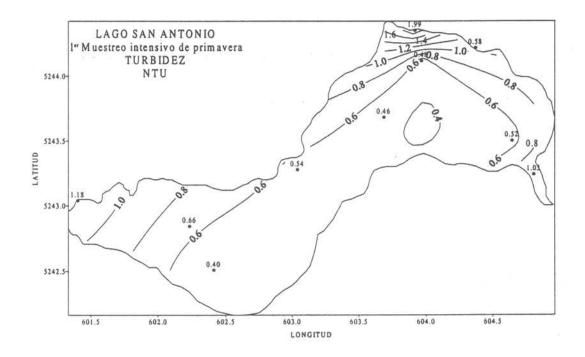


Figura 409 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio.



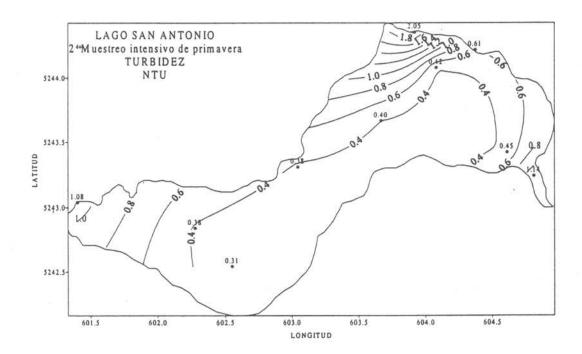
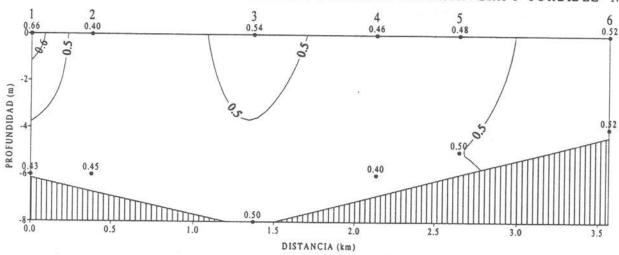


Figura 410 Distribución horizontal de Turbidez en NTU a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 TURBIDEZ NTU



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 TURBIDEZ NTU

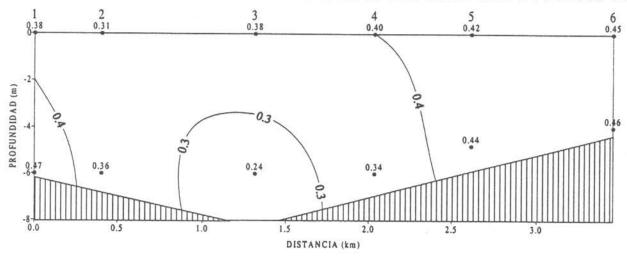
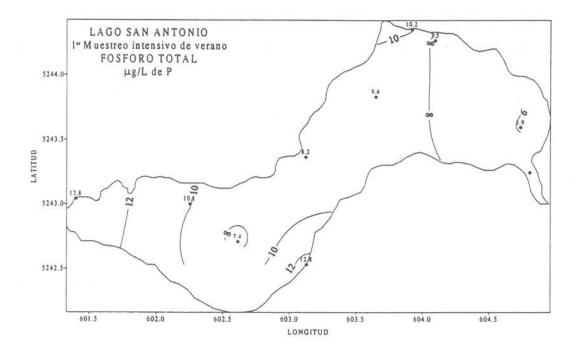


Figura 411 Sección vertical Nº1 de Turbidez en NTU en el lago San Antonio.



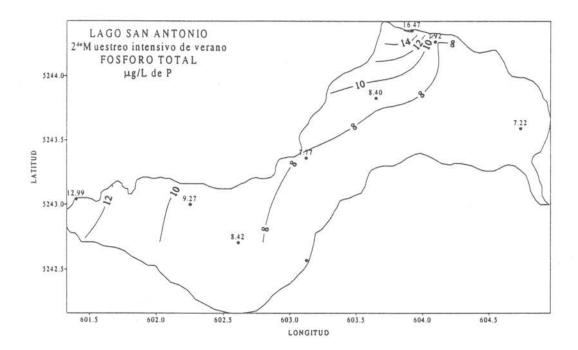
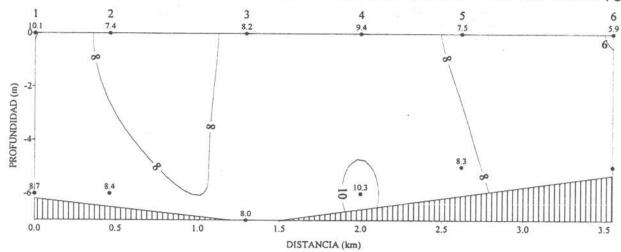


Figura 412 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 FOSFORO TOTAL $\mu g/L$ de P



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFORO TOTAL μg/L de P

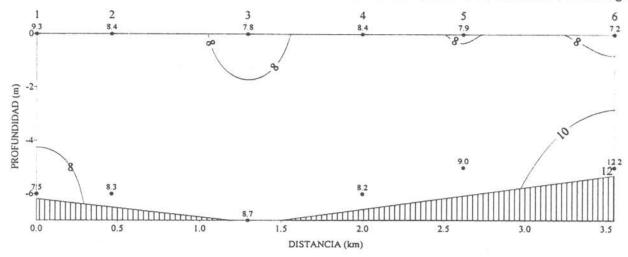
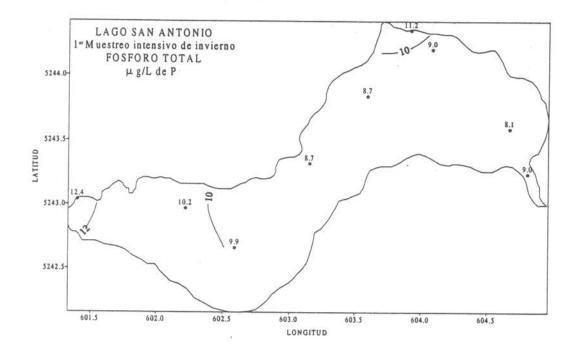


Figura 413 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago San Antonio.



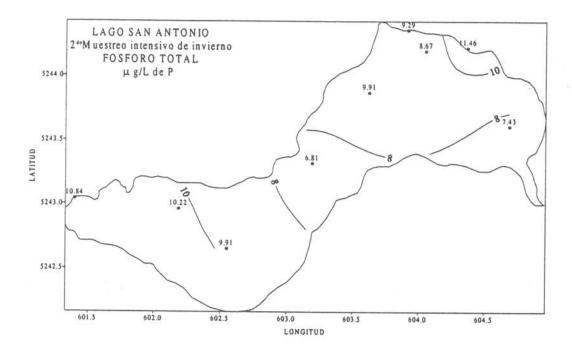
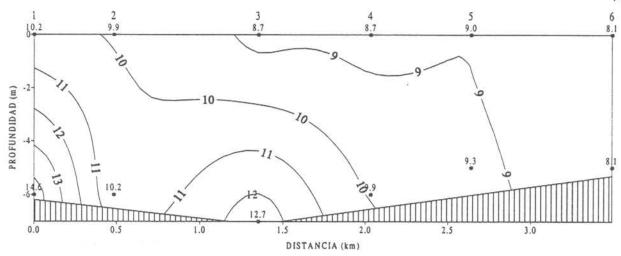


Figura 414 Distribución horizontal de Fósforo total µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 FOSFORO TOTAL µg/L de P



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

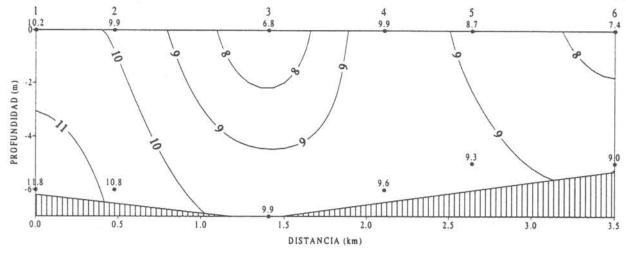
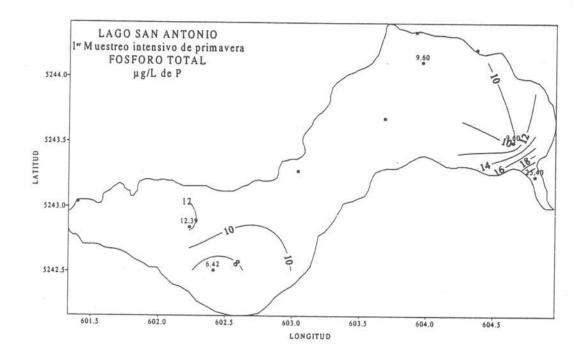


Figura 415 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago San Antonio.



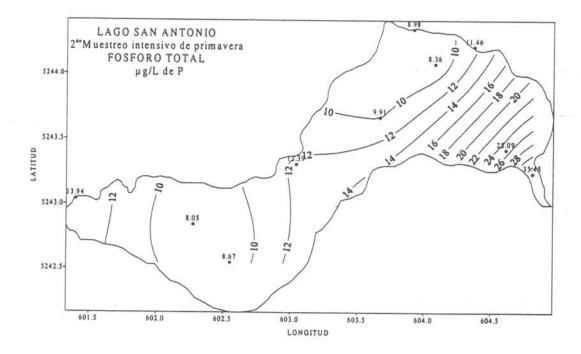
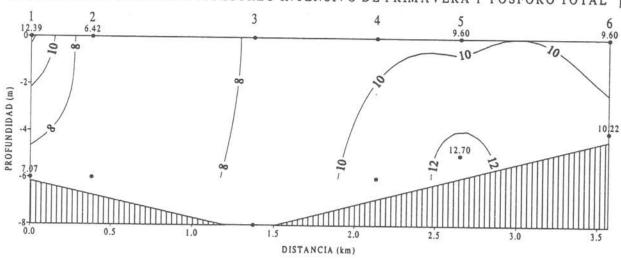


Figura 416 Distribución horizontal de Fósforo total μ g/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 FOSFORO TOTAL µg/L de



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFORO TOTAL µg/L de P

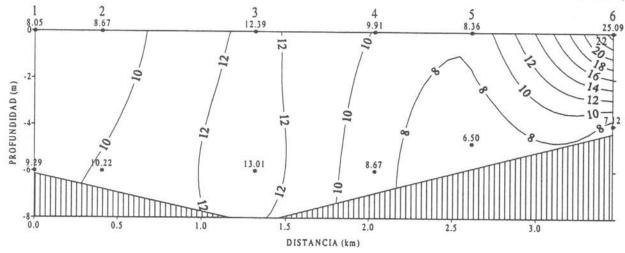
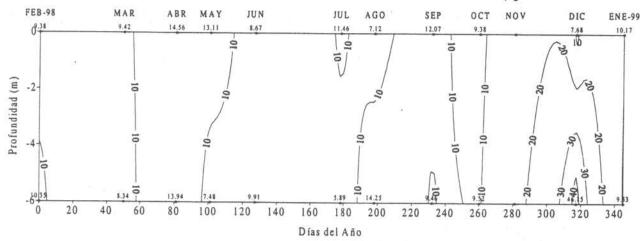


Figura 417 Sección vertical Nº1 de Fósforo total µg/L de P en el lago San Antonio.







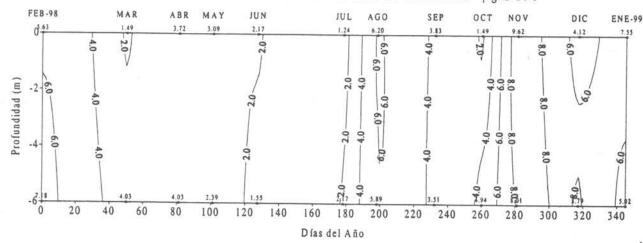
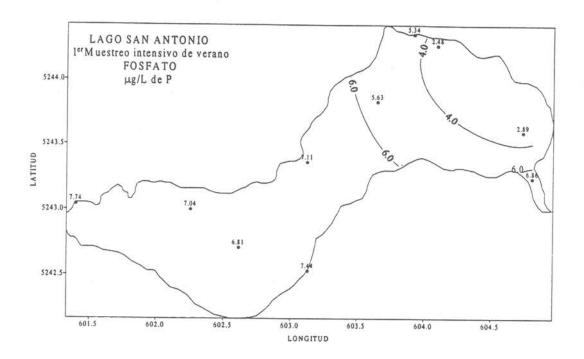


Figura 418 Variación temporal anual de Fósforo total y Fosfato en µg/L de P en el lago San Antonio.



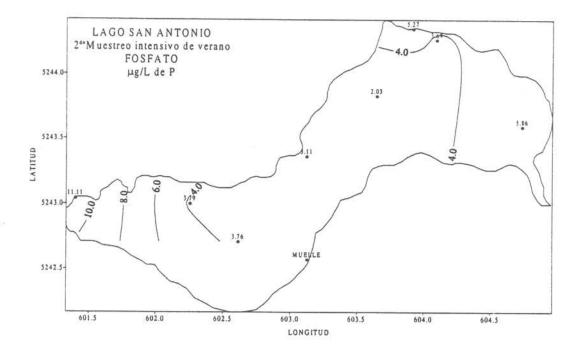
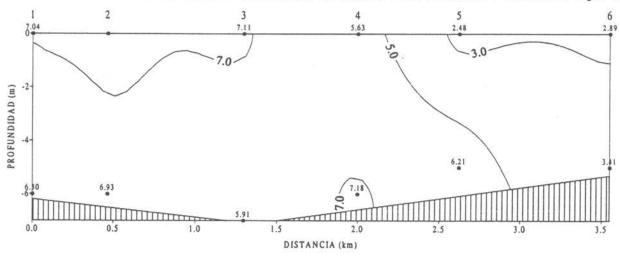


Figura 419 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 FOSFATO µg/L de P



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 FOSFATO µg/L de P

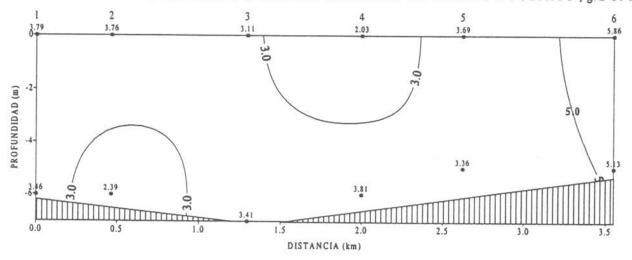
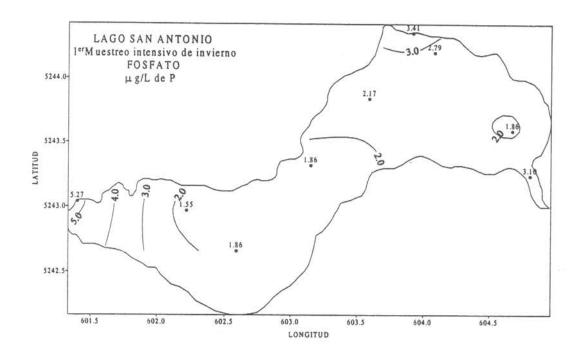


Figura 420 Sección vertical Nº 1 de Fosfato en µg/L de P en el lago San Antonio.



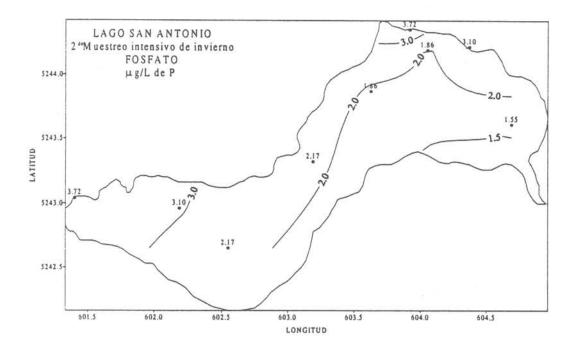
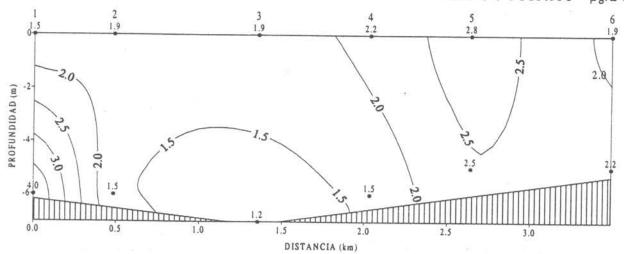


Figura 421 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 FOSFATO µg/L de P



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 FOSFATO µg/L de P

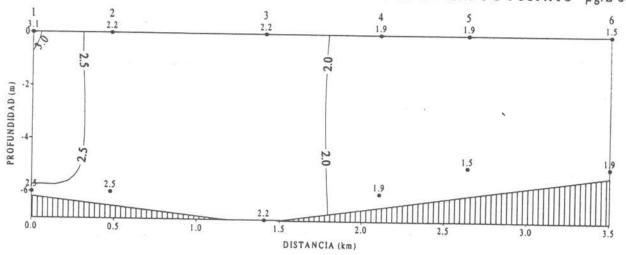
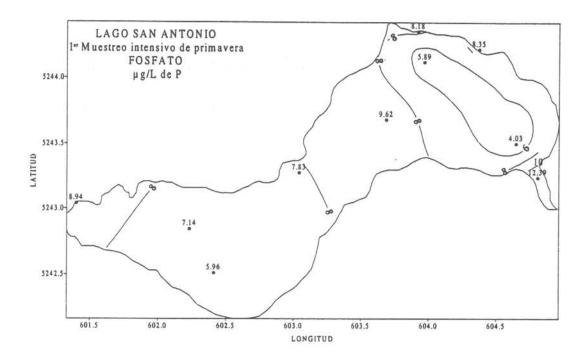


Figura 422 Sección vertical N°1 de Fosfato μg/L de P en el lago San Antonio.



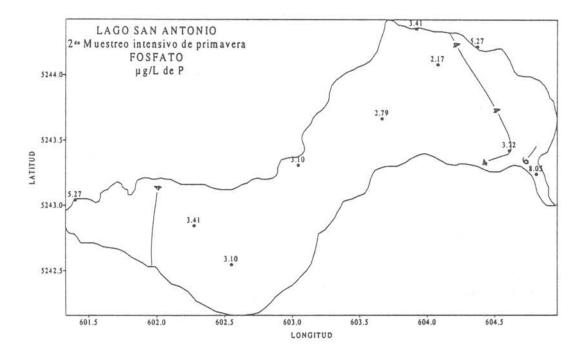
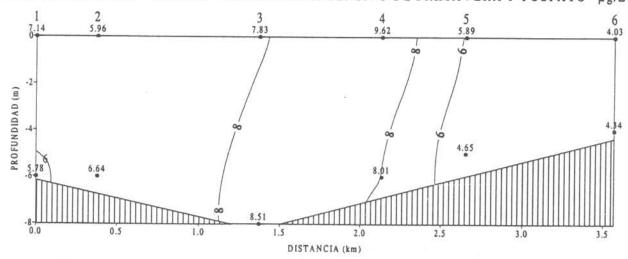


Figura 423 Distribución horizontal de Fosfato µg/L de P a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 FOSFATO µg.



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 FOSFATO µg/L

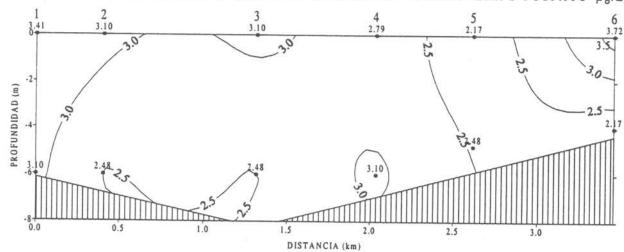
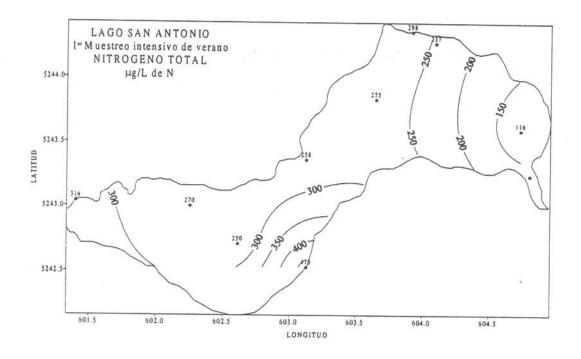


Figura 424 Sección vertical N°1 de Fosfato μ g/L de P en el lago San Antonio.



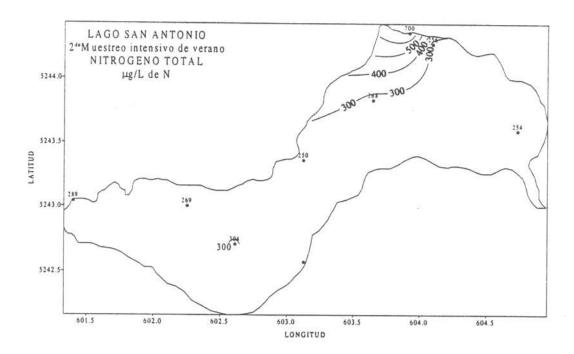
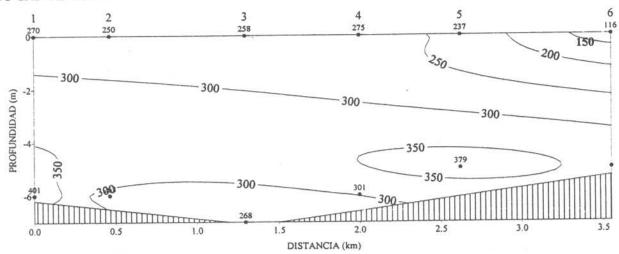


Figura 425 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 NITROGENO TOTAL μg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITROGENO TOTAL μ g/L de N

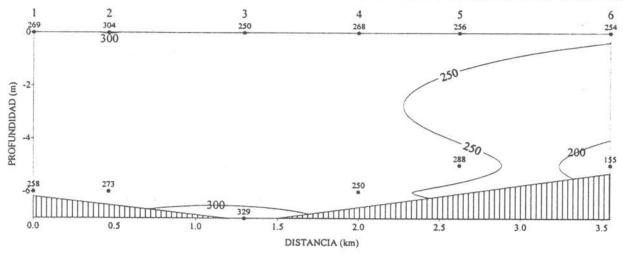
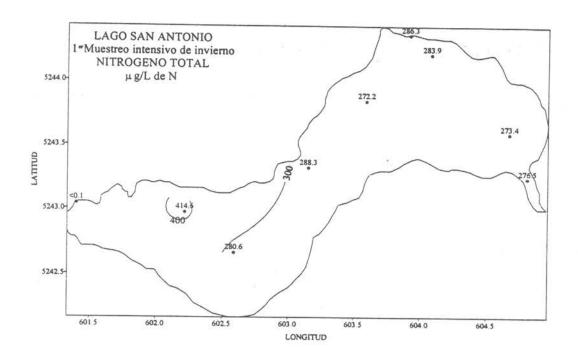


Figura 426 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total µg/L de N en el lago San Antonio.



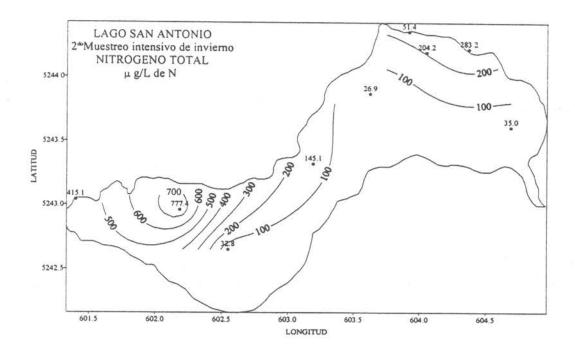
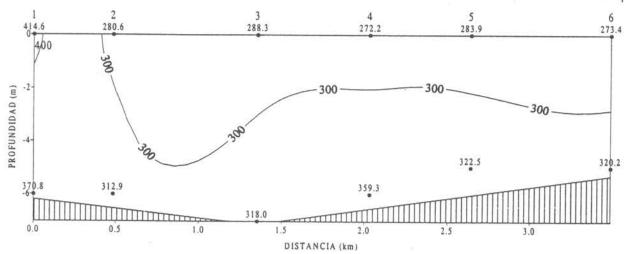


Figura 427 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 NITROGENO TOTAL µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITROGENO TOTAL µg/L de N

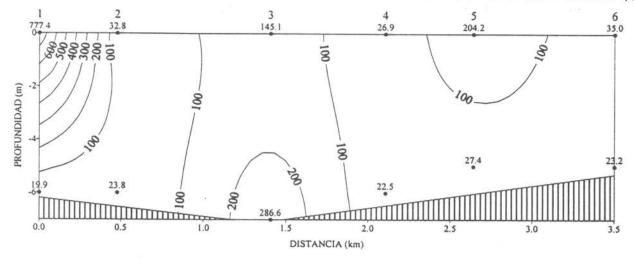
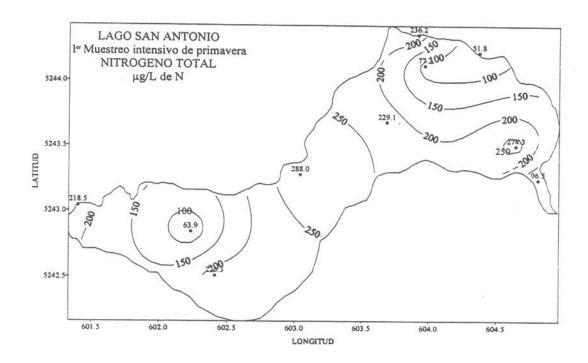


Figura 428 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago San Antonio.



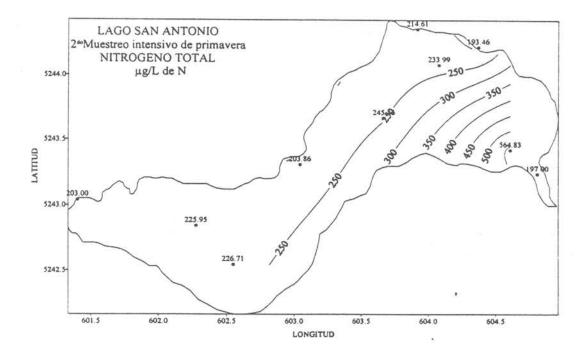
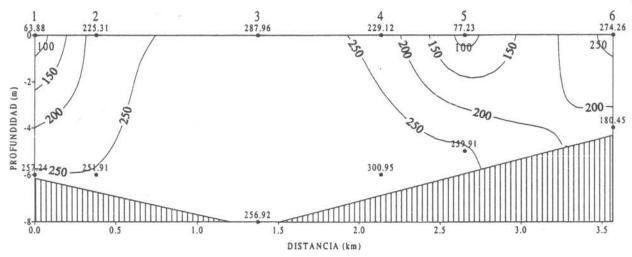


Figura 429 Distribución horizontal de Nitrógeno total µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 NITROGENO TOTAL µg/L



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITROGENO TOTAL µg/L

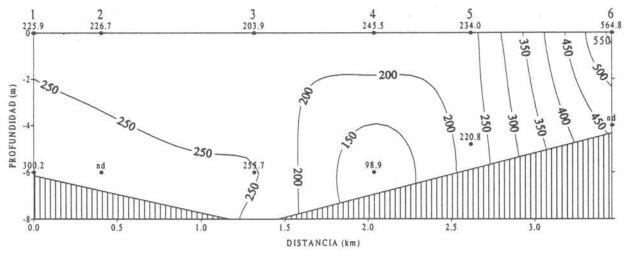
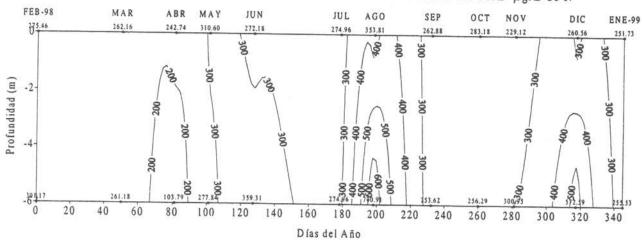


Figura 430 Sección vertical Nº1 de Nitrógeno total μg/L de N en el lago San Antonio.





SERIE DE TIEMPO LAGO SAN ANTONIO NITRATO µg/L de N

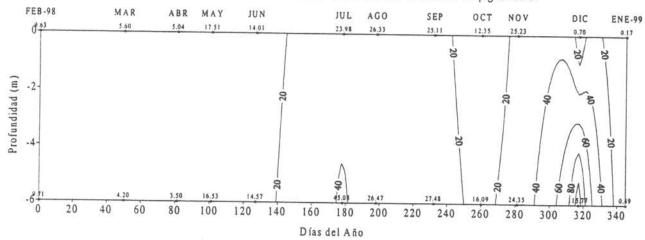
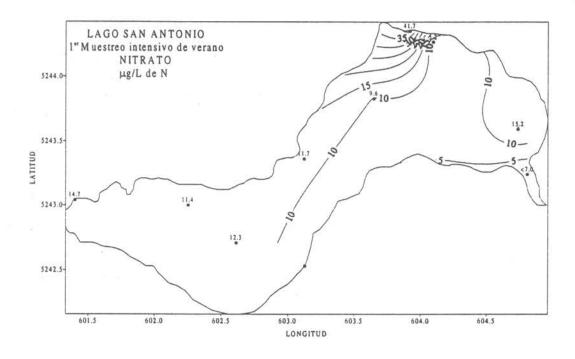


Figura 431 Variación temporal anual de Nitrógeno total y Nitrato en μg/L de N en el lago San Antonio.



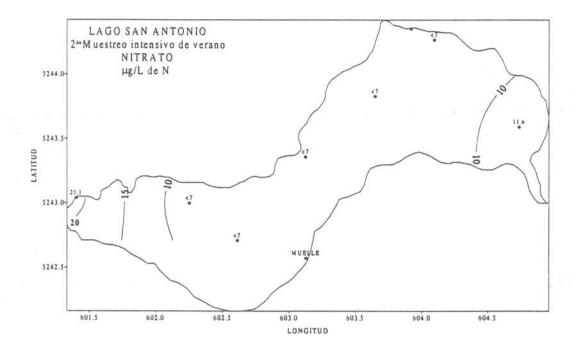
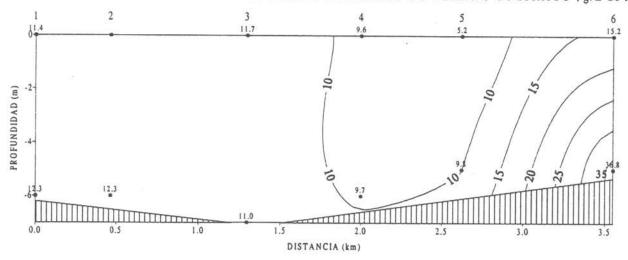


Figura 432 Distribución horizontal de Nitrato μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 NITRATO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITRATO µg/L de N

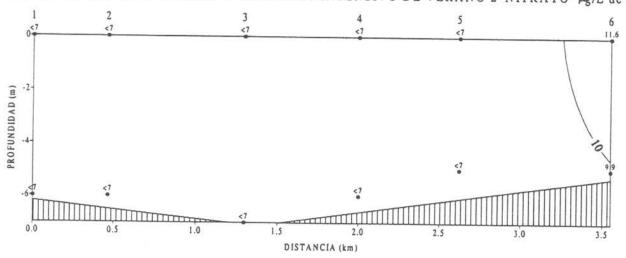
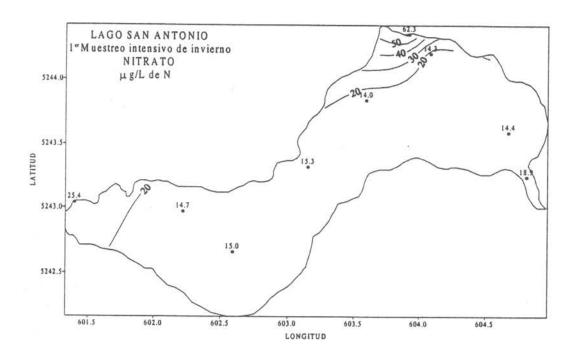


Figura 433 Sección vertical Nº 1 de Nitrato en µg/L de N en el lago San Antonio.



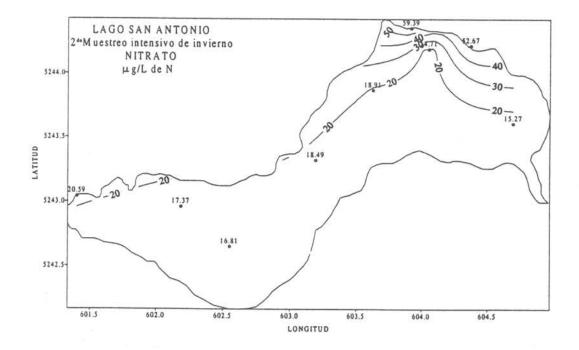
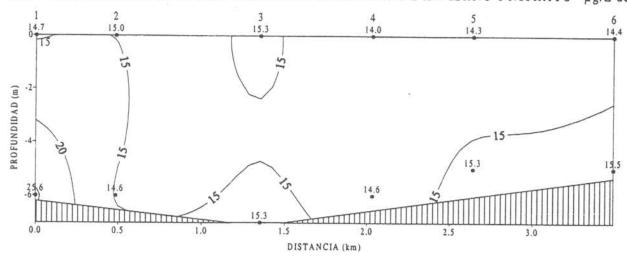


Figura 434 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 NITRATO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITRATO µg/L de N

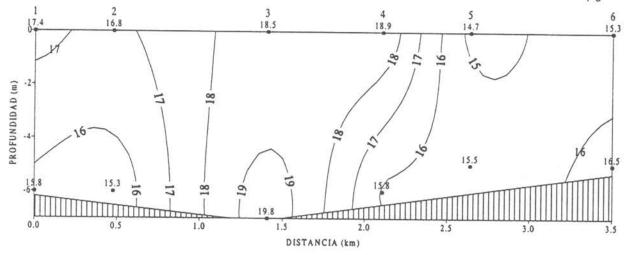
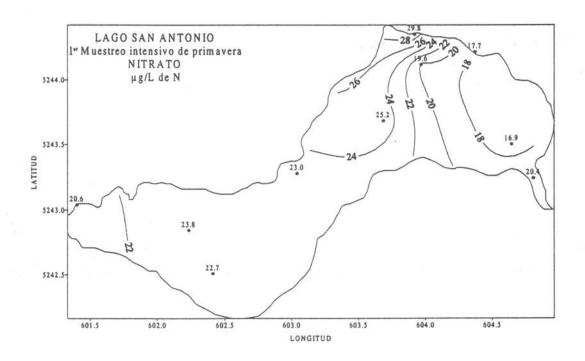


Figura 435 Sección vertical Nº1 de Nitrato µg/L de N en el lago San Antonio.



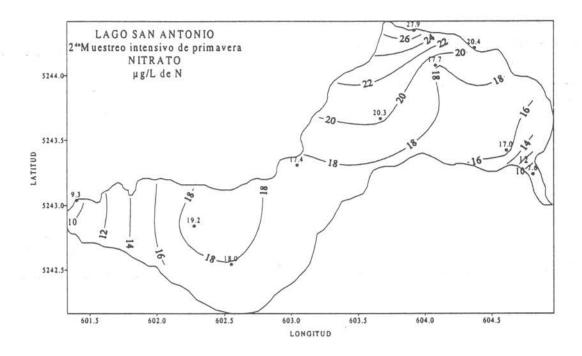
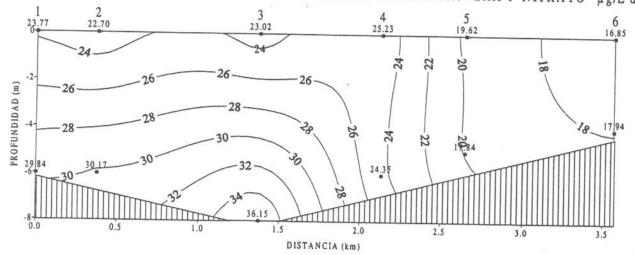


Figura 436 Distribución horizontal de Nitrato µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA I NITRATO µg/L de



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRATO µg/L de

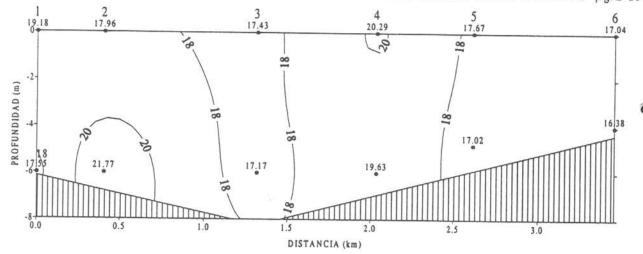
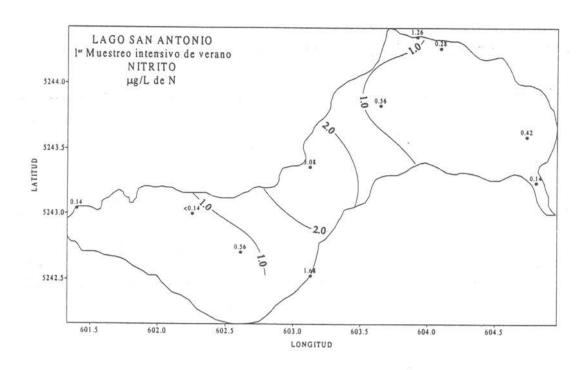


Figura 437 Sección vertical Nº1 de Nitrato μg/L de N en el lago San Antonio.



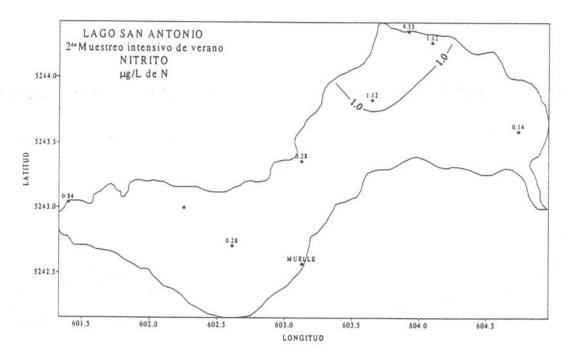
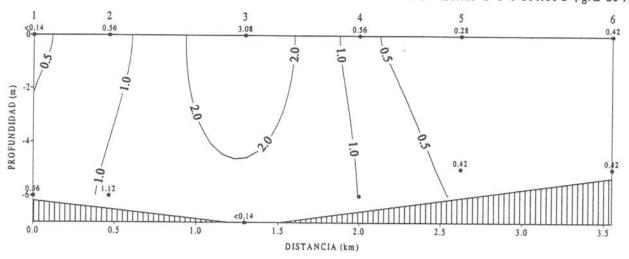


Figura 438 Distribución horizontal de Nitrito μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 NITRITO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 NITRITO µg/L de N

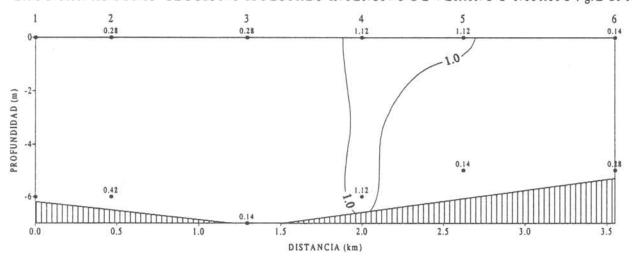
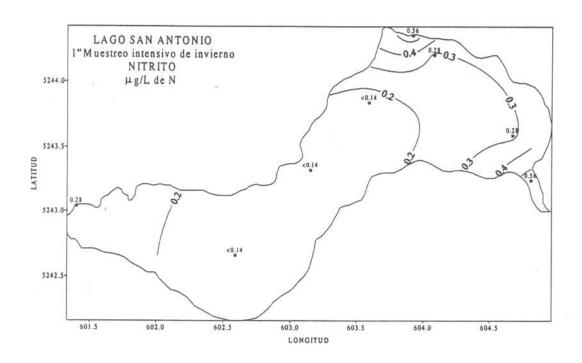


Figura 439 Sección vertical Nº 1 de Nitrito en µg/L de N en el lago San Antonio.



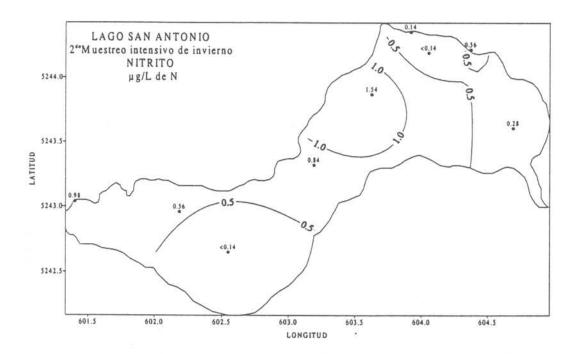
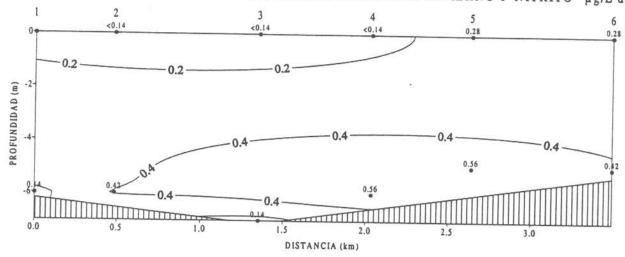


Figura 440 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 NITRITO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 NITRITO μ g/L de N

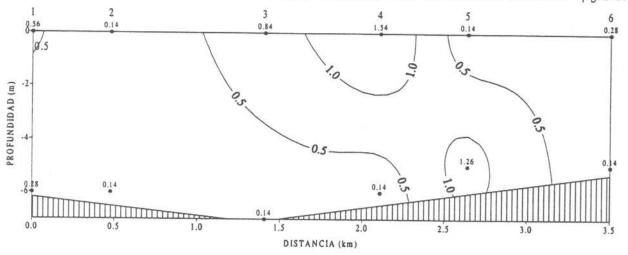
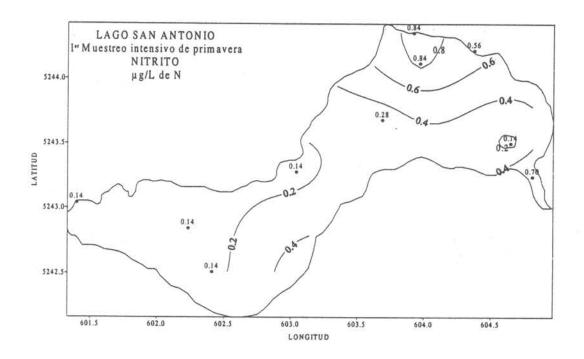


Figura 441 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago San Antonio.



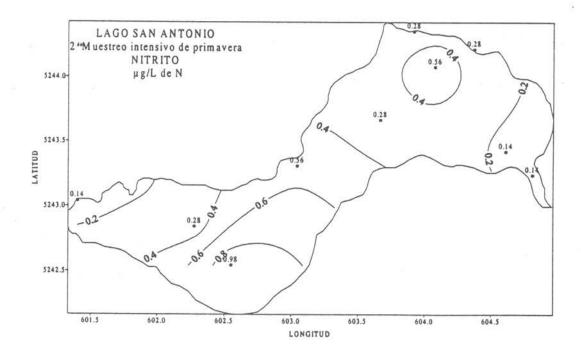
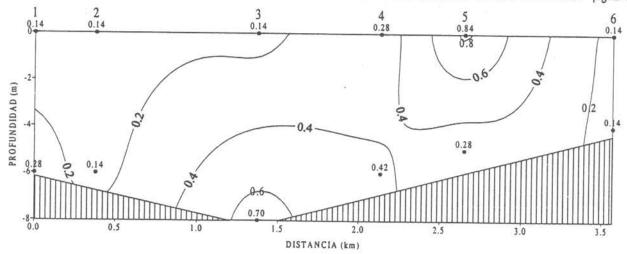


Figura 442 Distribución horizontal de Nitrito µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 NITRITO µg/L de



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 NITRITO $\mu g/L$ de 1

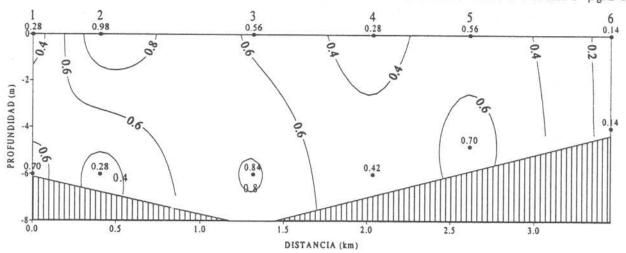
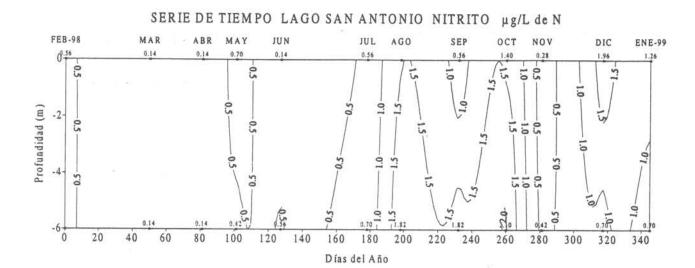


Figura 443 Sección vertical Nº1 de Nitrito µg/L de N en el lago San Antonio.



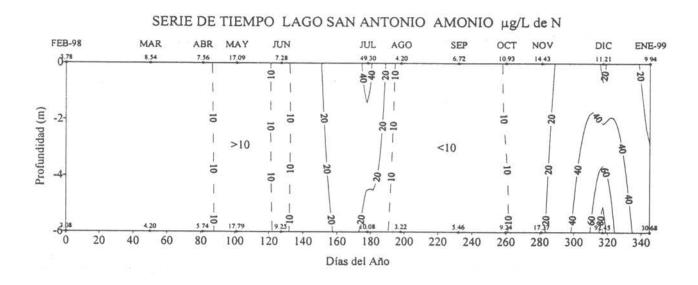
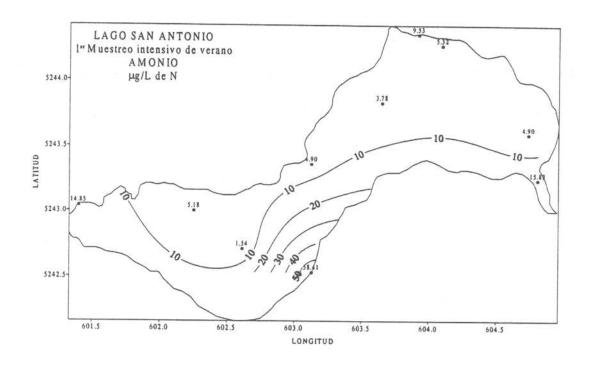


Figura 444 Variación temporal anual de Nitrito y Amonio en µg/L de N en el lago San Antonio.



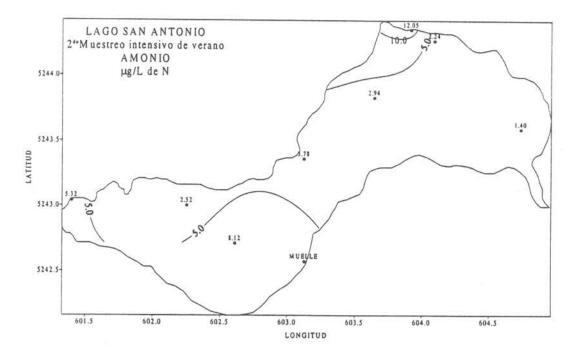
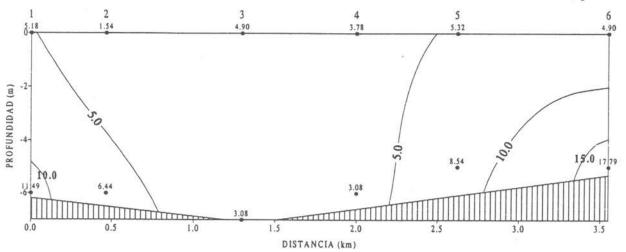


Figura 445 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 AMONIO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 AMONIO Hg/L de N

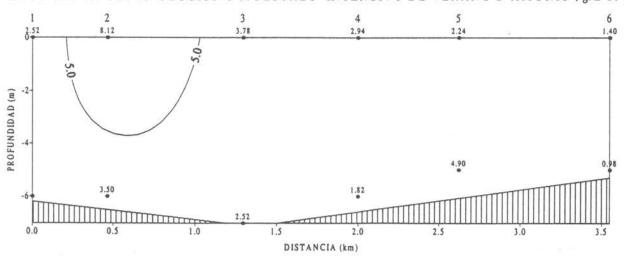
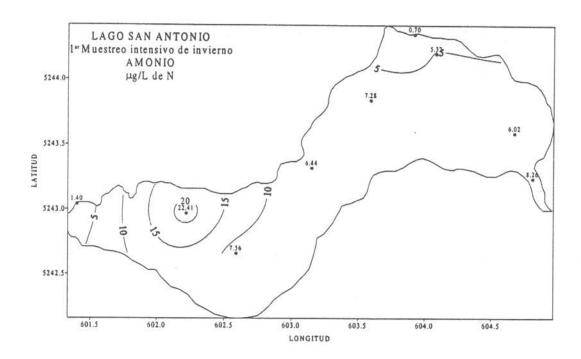


Figura 446 Sección vertical Nº 1 de Amonio en µg/L de N en el lago San Antonio.



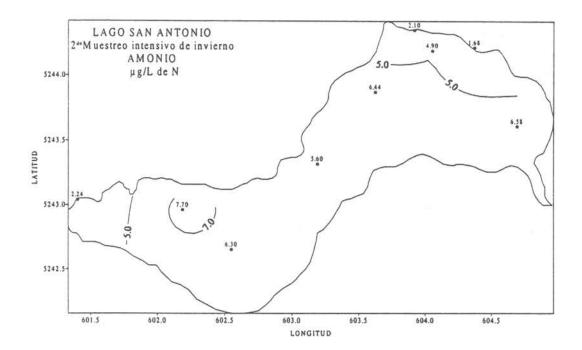
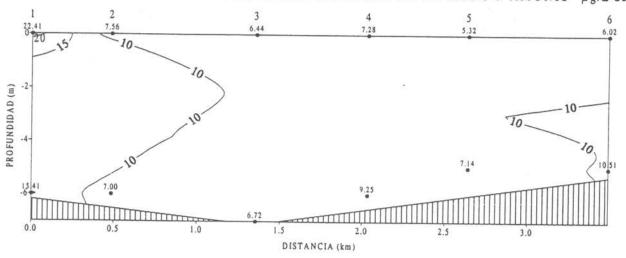


Figura 447 Distribución horizontal de Amonio µg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 AMONIO µg/L de N



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 AMONIO µg/L de N

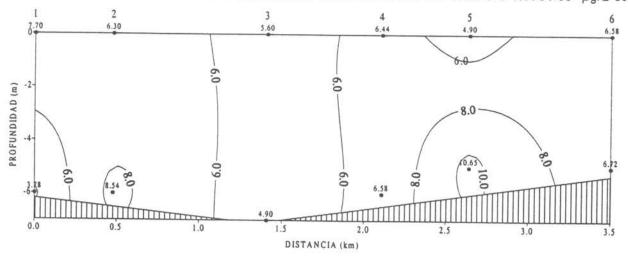
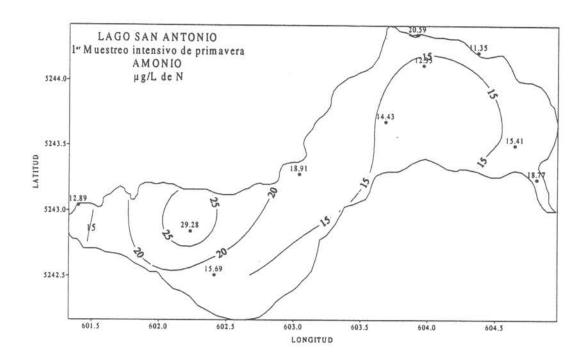


Figura 448 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago San Antonio.



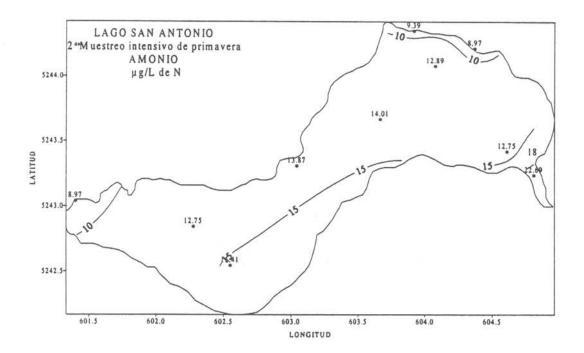
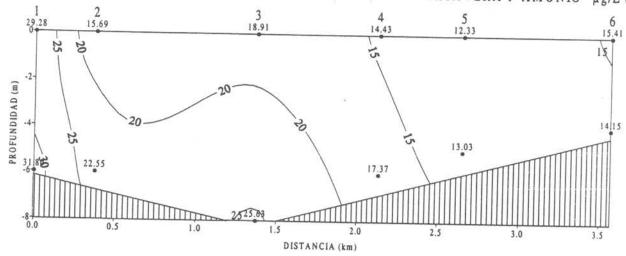


Figura 449 Distribución horizontal de Amonio μg/L de N a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 AMONIO $\mu g/I$



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 AMONIO µg/L d

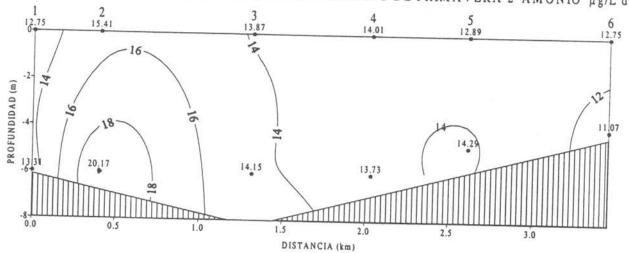
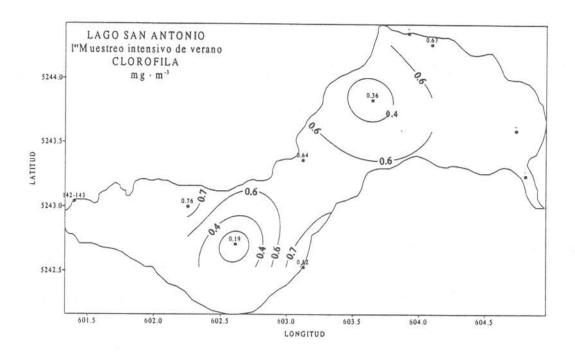


Figura 450 Sección vertical Nº1 de Amonio µg/L de N en el lago San Antonio.



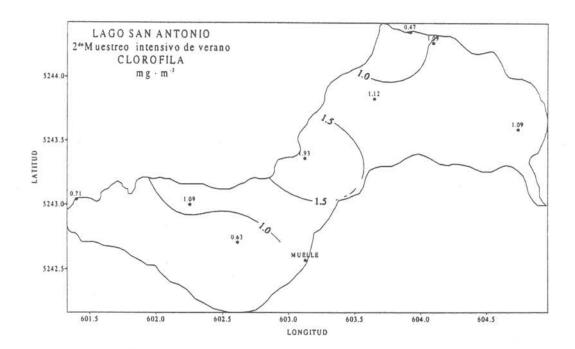
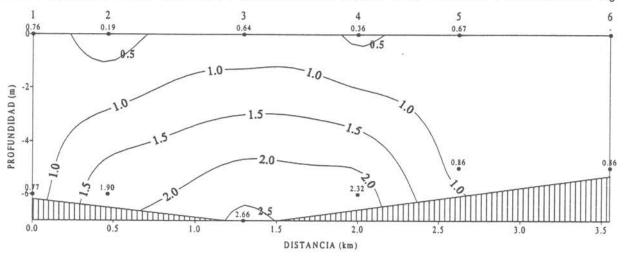


Figura 451 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO I CLOROFILA $m\,g\cdot m^{-3}$



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 CLOROFILA mg·m·3

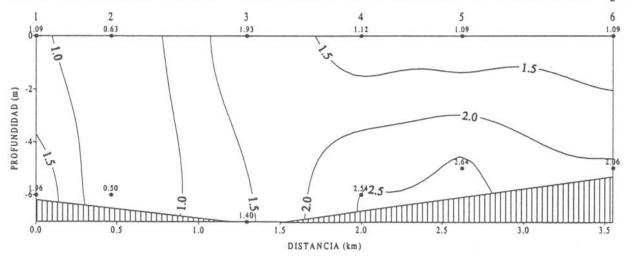
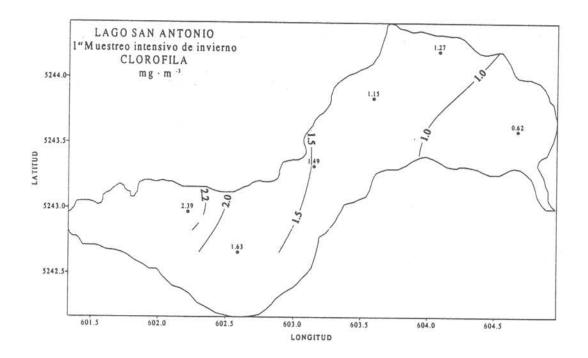


Figura 452 Sección vertical Nº 1 de Clorofila en mg·m⁻³ en el lago San Antonio.



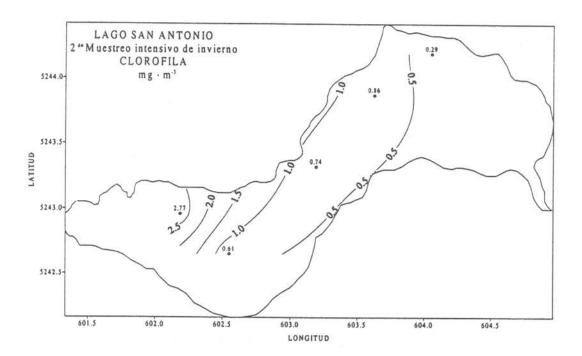
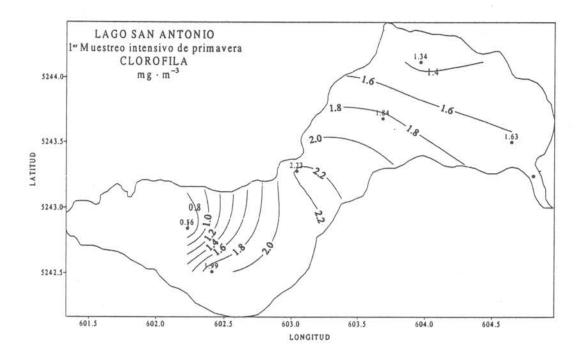


Figura 453 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago San Antonio.



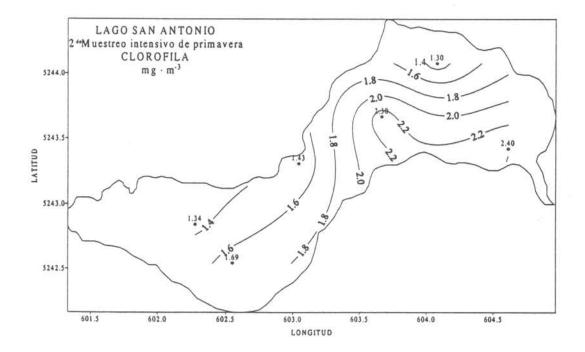
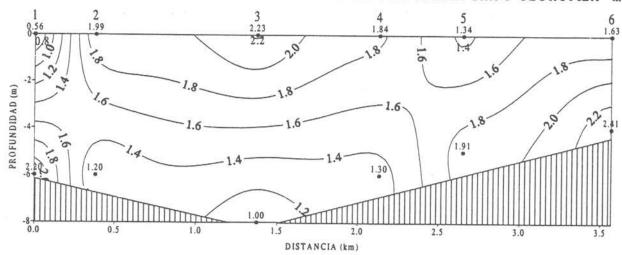


Figura 454 Distribución horizontal de Clorofila mg·m⁻³ a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 CLOROFILA mg·m³



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 CLOROFILA mg·m³

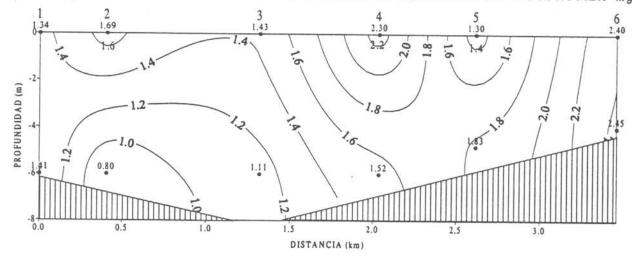
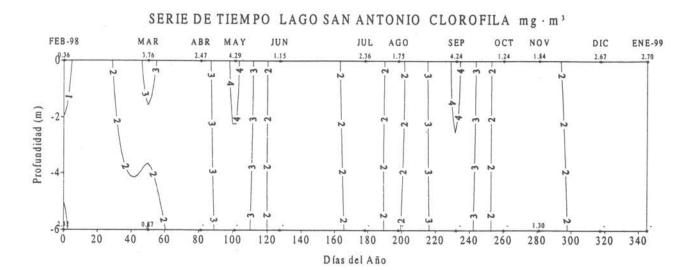


Figura 455 Sección vertical Nº1 de Clorofila mg·m⁻³ en el lago San Antonio.



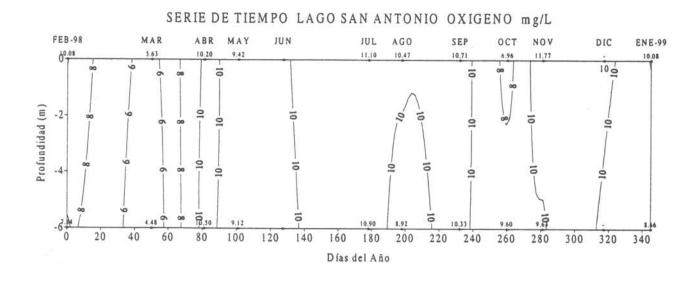
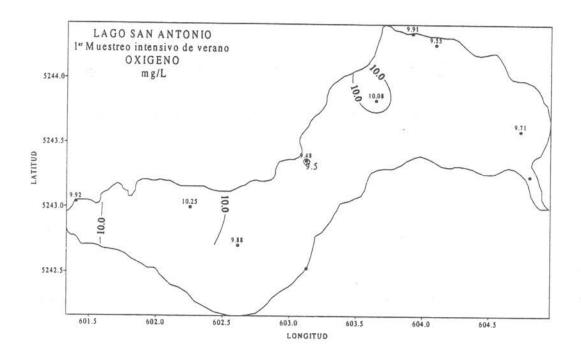


Figura 456 Variación temporal anual de Clorofila en mg·m⁻³ y de Oxígeno en mg/L en el lago San Antonio.



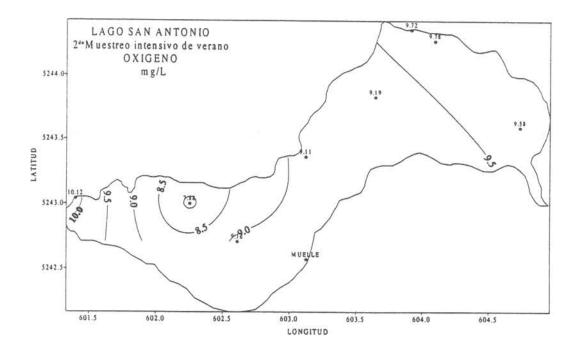
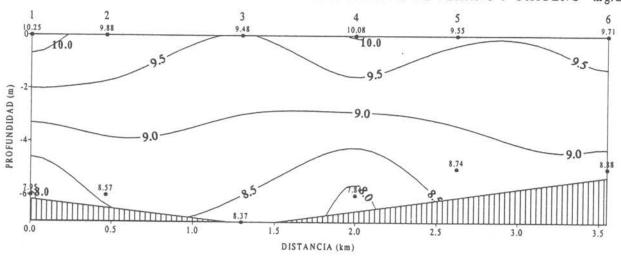


Figura 457 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 OXIGENO mg/I



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 OXIGENO mg/L

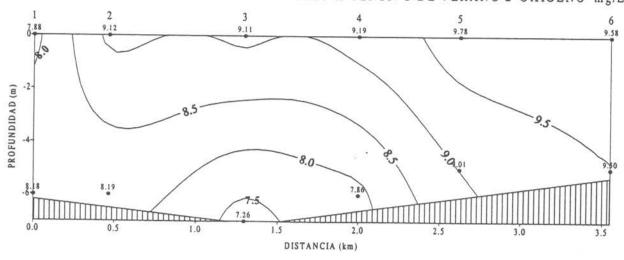
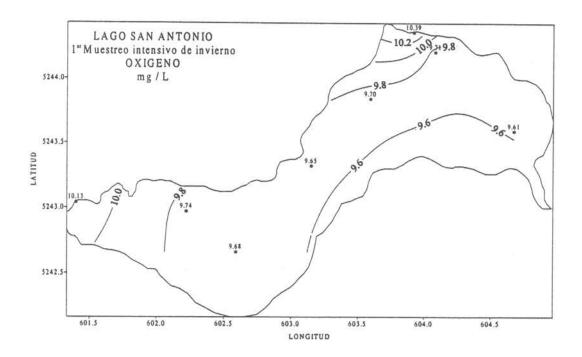


Figura 458 Sección vertical Nº 1 de Oxígeno en mg/L en el lago San Antonio.



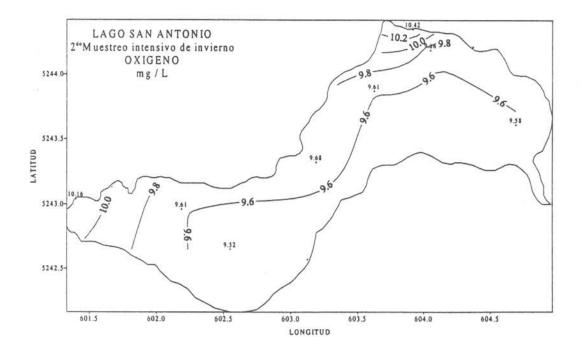
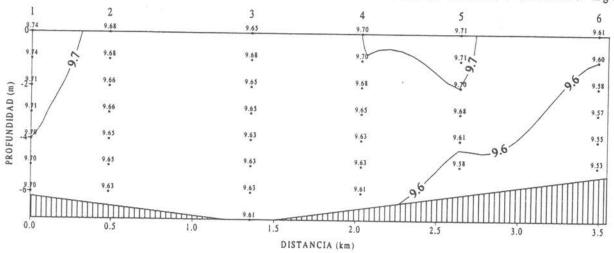


Figura 459 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 OXIGENO mg/L



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 OXIGENO mg/L

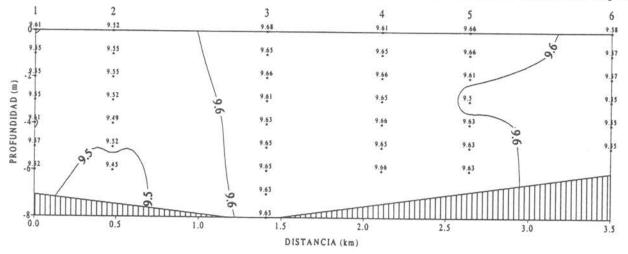
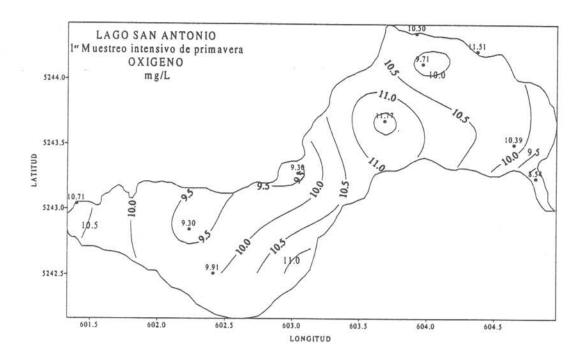


Figura 460 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago San Antonio.



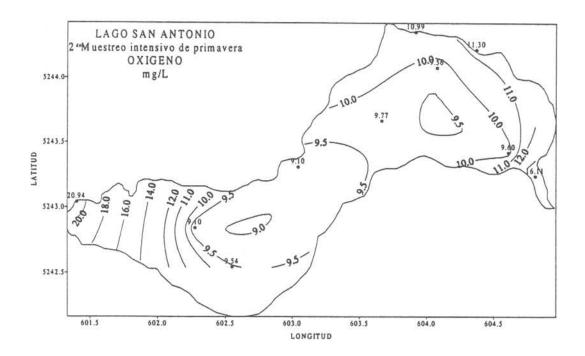
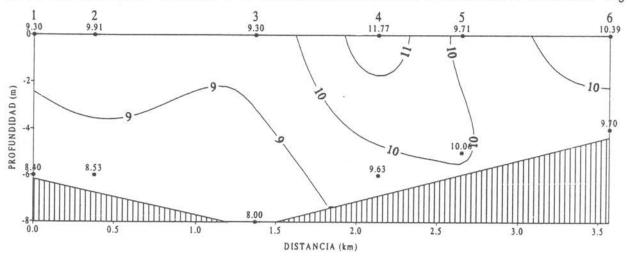


Figura 461 Distribución horizontal de Oxígeno mg/L a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 OXIGENO n



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 OXIGENO mg

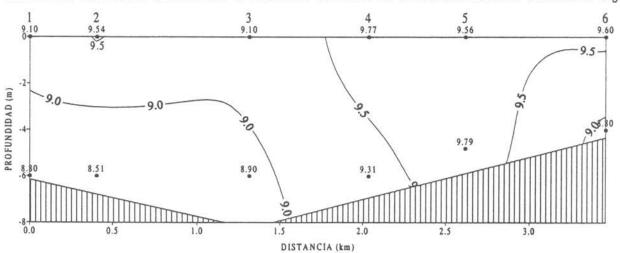
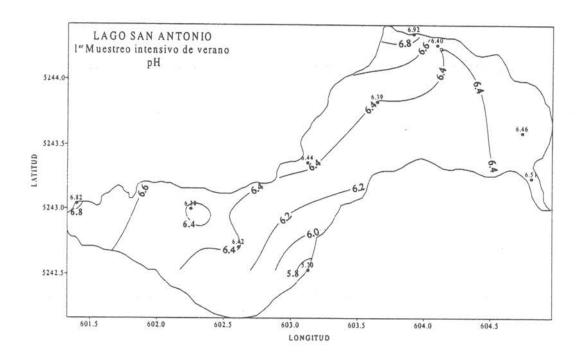


Figura 462 Sección vertical Nº1 de Oxígeno mg/L en el lago San Antonio.



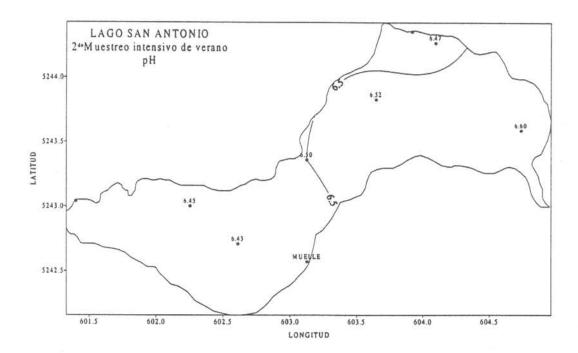
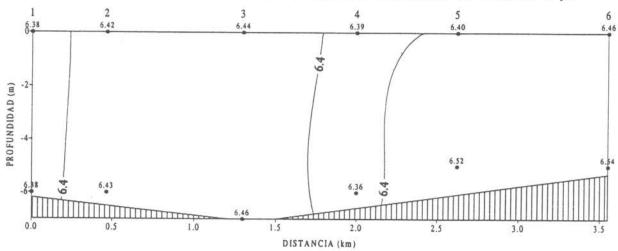


Figura 463 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago San Antonio.





LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 pH

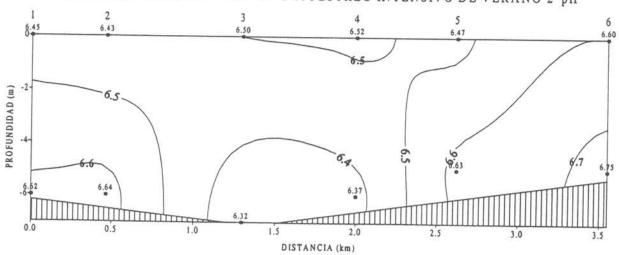


Figura 464 Sección vertical Nº 1 de pH en el lago San Antonio.

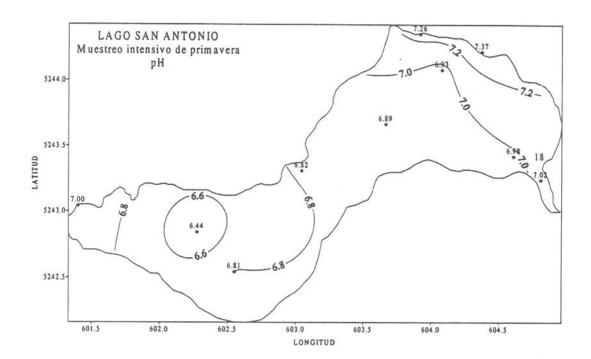


Figura 465 Distribución horizontal de pH a nivel superficial en el lago San Antonio.

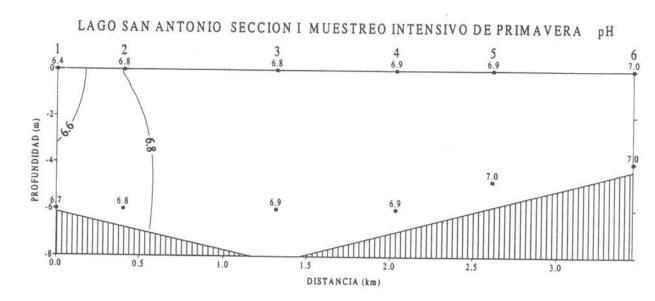
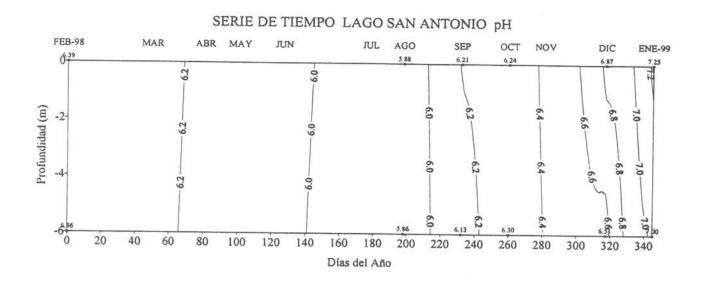


Figura 466 Sección vertical Nº1 de pH en el lago San Antonio.



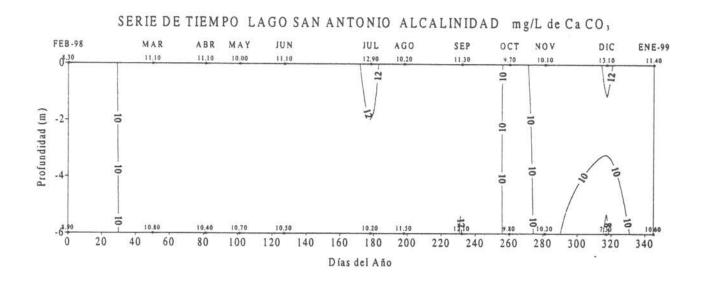
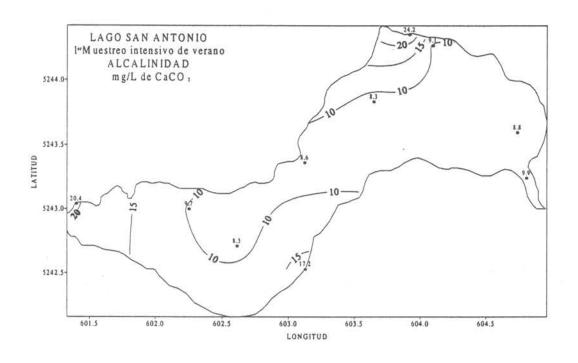


Figura 467 Variación temporal anual de pH y Alcalinidad en mg/L de CaCO3 en el lago San Antonio.



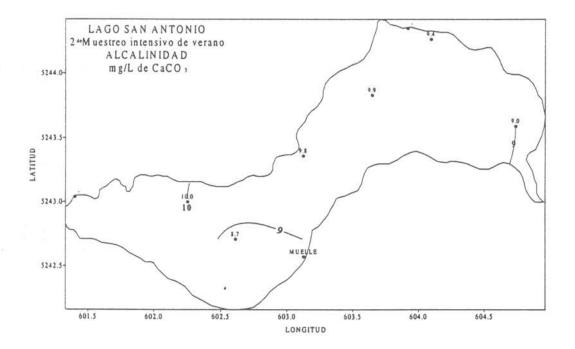
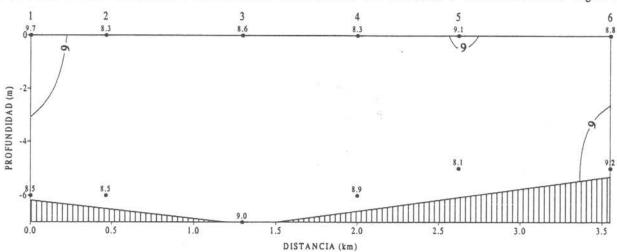


Figura 468 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO3 a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE VERANO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

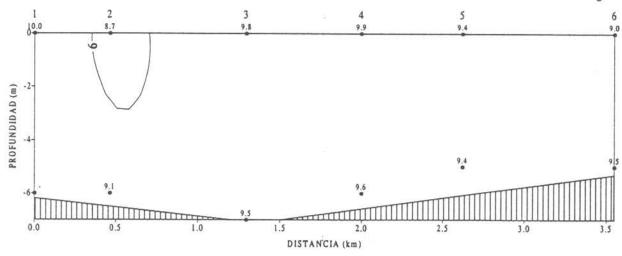
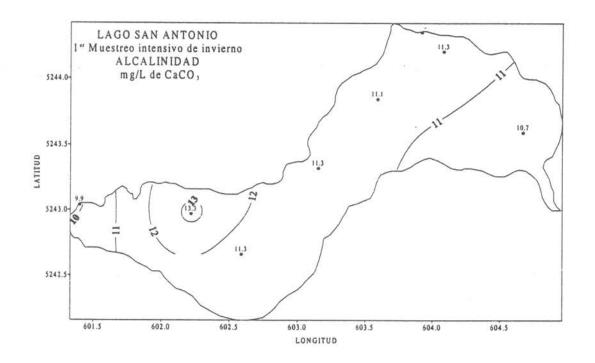


Figura 469 Sección vertical Nº 1 de Alcalinidad en mg/L de CaCO3 en el lago San Antonio.



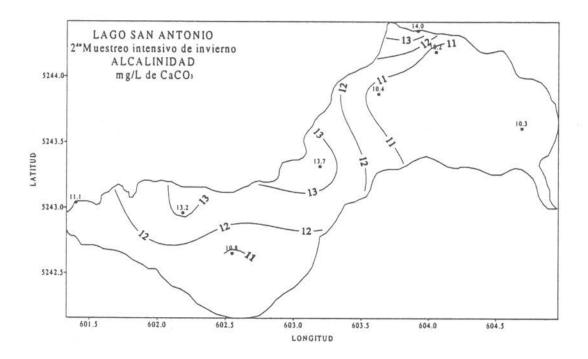
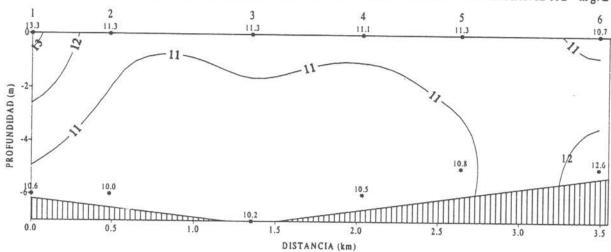


Figura 470 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 ALCALINIDAD mg/L de CaCO,

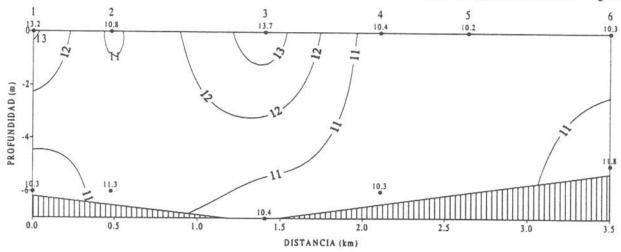
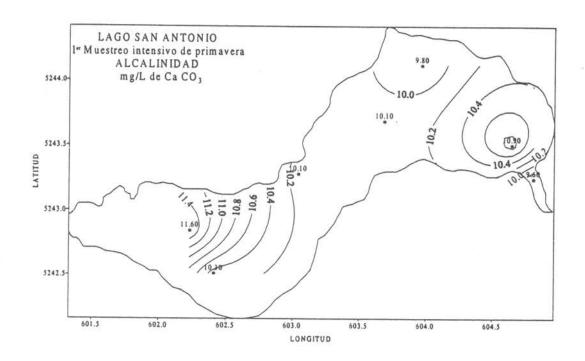


Figura 471 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago San Antonio.



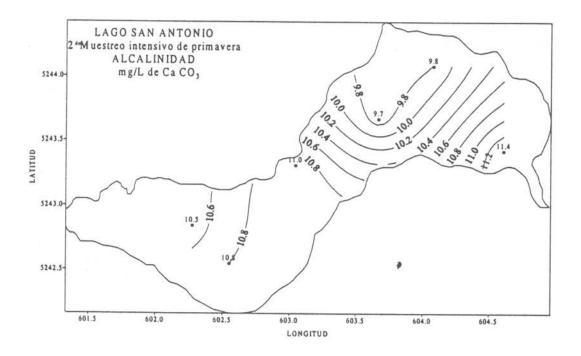
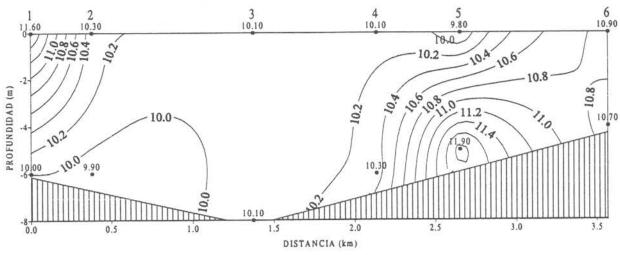


Figura 472 Distribución horizontal de Alcalinidad mg/L de CaCO₃ a nivel superficial en el lago San Antonio.

AGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 1 ALCALINIDAD mg/L de Ca CO3



AGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE PRIMAVERA 2 ALCALINIDAD mg/L de Ca CO3

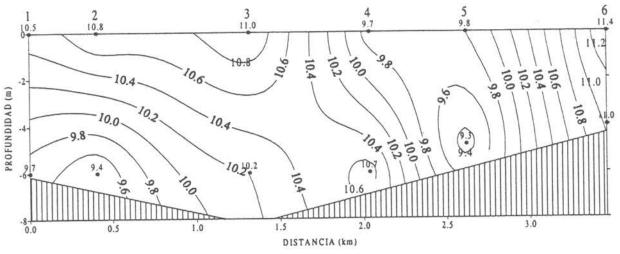
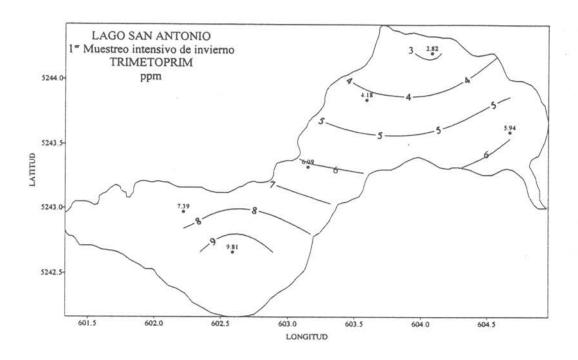


Figura 473 Sección vertical Nº1 de Alcalinidad mg/L de CaCO3 en el lago San Antonio.



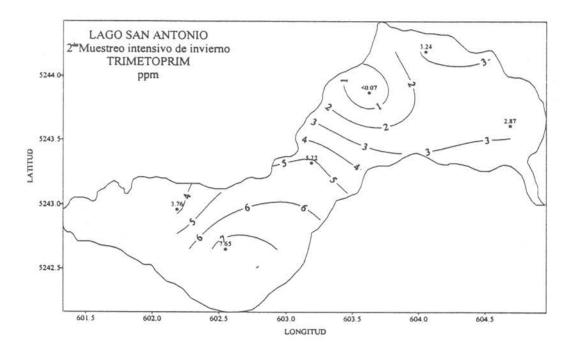
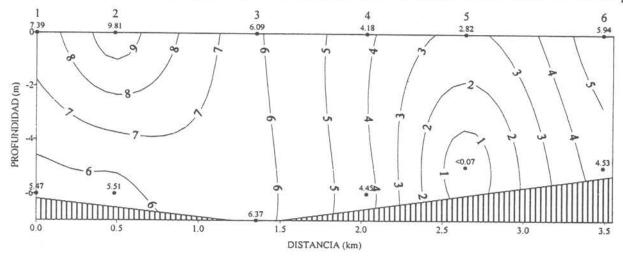


Figura 476 Distribución horizontal de trimetoprim a nivel superficial del lago San Antonio.

LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 1 TRIMETOPRIM ppm



LAGO SAN ANTONIO SECCION I MUESTREO INTENSIVO DE INVIERNO 2 TRIMETOPRIM ppm

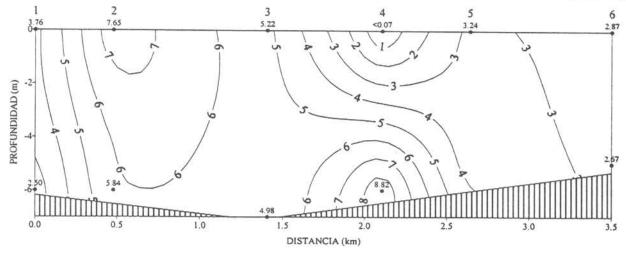


Figura 477 Sección vertical de trimetoprim en el lago San Antonio.

CONCLUSIONES

LAGO CHAPO

La cuenca del lago Chapo posee un relieve escarpado, con suelos cubiertos predominantemente por bosque nativo adulto o de regeneración natural (renovales) no sujetos a explotación, que en su conjunto representan el 95% del área cubierta por vegetación. El área sin vegetación constituye a su vez un 10% de la superficie total de la cuenca, consistiendo en la parte alta del relieve sujeta a cobertura de nieve en invierno. La relación entre el área de drenaje y el área superficial del lago (6,84) es moderada.

El 95 % del caudal total de aguas afluentes es aportado por los ríos que drenan once de las 38 subcuencas de la hoya del lago; de ellos el principal afluente lo constituye el río Sur, que representa en promedio cerca de un 42% del total de aportes de agua. La mayor parte de los ríos es del tipo ritrón, con aguas turbulentas y transparentes, constantemente sobresaturadas de oxígeno.

El escurrimiento superficial difuso representa un porcentaje pequeño de los aportes, que se canalizan al lago fundamentalmente a través de los ríos. Tanto los ríos como afluentes menores tienen una rápida respuesta a la precipitación debido a la pendiente considerable de las laderas del lago. Las variaciones de caudal en el corto plazo son apreciables. No obstante lo anterior, se distingue un marcado patrón estacional con máximo en invierno, determinado por el régimen pluviométrico. La pluviosidad durante el año de desarrollo de la investigación fue anormalmente baja, particularmente en primavera.

El aporte total de fósforo al lago durante 1998 ascendió a 28,5 toneladas, del cual un 25% fue aportado por los afluentes, un 4% por las precipitaciones y un 71% por el conjunto de 4 centros de cultivo. La fracción de aporte representada por escurrimiento difuso es irrelevante y aquella originada por aguas residuales, nula.

El total de nitrógeno ingresado al lago durante 1998 ascendió a 183,9 toneladas, siendo la mayor proporción aportada por los ríos afluentes (71%), una fracción considerable ingresada en forma directa por las precipitaciones (22%) y contribuyendo los centros de cultivo con cerca de un 7% del total. Las fracciones aportadas por escurrimiento difuso y por aguas residuales también resultó despreciable.

El lago Chapo puede ser caracterizado sobre la base de su distribución de temperatura como de tipo monomíctico cálido con un periodo de circulación invernal entre julio y agosto y un periodo de estratificación que se extiende desde primavera a fines de otoño. El nivel que establece la división entre la capa cálida superficial y la fría profunda se sitúa a los 30 m de profundidad.

Las aguas del lago Chapo se caracterizan por una elevada transparencia (>10 m en promedio), virtual ausencia de turbidez, alto contenido de oxígeno disuelto y bajas concentraciones de fósforo total (en promedio <5 µg/L), ortofosfato, nitrógeno tanto total como inorgánico combinado (nitrato, nitrito, amonio) y de clorofila, lo que permite establecer sin margen de duda su condición de oligotrófico.

El balance hídrico del lago se caracterizó en 1998 por irregularidad de los caudales diarios de los afluentes y una condición regular de la pérdida por descarga, con el resultado de una disminución continua de volumen por pérdida neta de agua. El tiempo de recambio de las aguas para estas condiciones resultó de 3,4 años, lo que permite una renovación anual del 30% del volumen total de 6,86 km³ del lago.

El balance de masas indica que existe un flujo neto de fósforo hacia los sedimentos, que actúan como sumidero de 14,8 toneladas anuales. El egreso de este elemento por la descarga hacia la central Canutillar asciende a 15 toneladas anuales adicionales. El tiempo de residencia del fósforo en el lago es de 1,66 años. Las condiciones descritas determinan una carga crítica de 1241 mg·m⁻²a⁻¹, que permite establecer una capacidad de carga adicional disponible para fósforo de 291 mg·m⁻²a⁻¹.

En el caso del nitrógeno los sedimentos actúan como fuente neta o generador de carga interna ascendiente a 110 toneladas anuales. Por la descarga de Canutillar se evacuan anualmente 294 toneladas de nitrógeno. El tiempo de residencia resultante es de 2,4 años.

Esta situación se puede ver reflejada por la diferencia entre la carga crítica y la carga actual medida, la cual puede estar siendo afectada positivamente por la alta tasa de recambio (30% del volumen total al año) que presenta el lago debido al funcionamiento de la Central Canutillar.

A excepción de Trimetoprim, ninguno de los quimioterapéuticos empleados por los centros de cultivo en operación en el lago Chapo tiene suficiente persistencia en la matriz acuosa como para permitir su detección con posterioridad al día específico de su aplicación.

LAGO YELCHO

Los suelos con vegetación se encuentran cubiertos predominantemente por bosque nativo, el cual representa cerca de un 56% de la cobertura vegetal. El área de la cuenca del lago Yelcho en relación al área superficial de su espejo de aguas es considerable. La condición escarpada de su relieve y la carencia de cobertura vegetal de una fracción importante de ella (34%) determina un grado mayor de fragilidad respecto de procesos erosivos desencadenados por actividades que puedan desarrollarse en el área con vegetación de las subcuencas que desembocan al lago, generando ulteriores aportes de nutrientes

Los cauces afluentes están dominados por el río Futaleufú, que vierte el 85% de las aguas de los ríos que llegan al lago, presentando como inconveniente para el manejo, la falta de control de las cargas vertidas a él debido a que es un gran río transnacional.

Los aportes de fósforo y nitrógeno se encuentran claramente dominados por aquellos del río Futaleufú, que aporta en términos de masa respectivamente el 78% y el 90%. El segundo río más importante en aportes de fósforo y nitrógeno es el Correntoso, con un 11,3 % de P y un 7,5% de N. En cuanto a los aportes de fósforo, la contribución realizada por el río Yelcho Chico, cuyas aguas se caracterizan por altas concentraciones, es también significativa, representando un 9,2% del total.

La distribución vertical de temperatura permite establecer que el lago Yelcho es de tipo monomíctico cálido. La separación entre las aguas cálidas y las frías se sitúa a unos 40 m de profundidad. El periodo de circulación invernal ocurre entre julio y agosto. El nivel que establece la división entre la capa cálida superficial y la fría profunda se sitúa a los 30 m de profundidad.

Las aguas del lago Yelcho se caracterizan por una transparencia moderada (6,6 m en promedio), valores moderados de turbiedad, contenido de oxígeno disuelto alto, concentraciones relativamente elevadas de fósforo total (en promedio >10 µg/L) y de ortofosfato, así como bajas concentraciones de nitrógeno total, de nitrógeno inorgánico combinado (nitrato, nitrito, amonio) y de clorofila.

El tiempo de recambio de las aguas calculado, de 0,54 años, permite que se renueve la totalidad de las aguas del lago cada 6,5 meses.

El balance de masas indica que existe un flujo neto de fósforo hacia los sedimentos, que actúan como sumidero de 89,2 toneladas anuales. El egreso de este elemento por la

descarga del río Yelcho asciende a 240 toneladas anuales adicionales. La carga anual actual de fósforo asciende a 2722 mg/m², de la cual el 99% es ingresada por los ríos y el 1% restante lo es fundamentalmente por escurrimiento difuso desde laderas. El tiempo de residencia del fósforo en el lago es de 0,4 años. Las condiciones descritas determinan una carga crítica de 2719 mg·m²a⁻¹, que permite establecer que existe una situación de equilibrio frágil sin carga de fósforo disponible en el lago Yelcho.

Los sedimentos actúan en el lago Yelcho como sumidero de nitrógeno reteniendo anualmente 1711 toneladas. Por el efluente (río Yelcho) se evacuan anualmente 2355 toneladas de nitrógeno. La carga anual actual de nitrógeno asciende a 33626 mg/m², de la cual el 99,5% es aportada por los ríos.

Tomando en consideración el criterio internacional de 10 mg/m³ de Fósforo total como límite aceptable en la concentración de nutrientes para que un lago no pase a un estado mesotrófico, es posible concluir que el lago Yelcho está en la actualidad en el límite de paso entre las categorías de oligotrofía y de mesotrofía.

LAGO POPETAN

El lago Popetán se caracteriza por poseer una cuenca destinada a uso principalmente ganadero y agrícola, con activo serrado del bosque, lo que conlleva importantes aportes de nutrientes hacia el lago, el cual es poco profundo (máximo 17,4 m) y con escaso desarrollo de la línea de costa. Si bien su extensión areal es pequeña, la relación entre el área de la cuenca y el área del lago es moderada, lo que determina una sensibilidad moderada a la modificación de su cuenca.

La circulación de las aguas del lago es dominada por el viento, teniendo una marcada estratificación vertical de intensidad; las corrientes son más fuertes en la primavera que en las restantes estaciones del año.

El fondo del lago esta cubierto por arcillas finas no mezcladas con otros sedimentos. La distribución espacial de temperatura de sus aguas es uniforme, al igual que aquella de pH, caracterizada por un leve acidez (5,2 a 6,2). La oxigenación es alta en toda su extensión.

Las concentraciones de fósforo total son relativamente elevadas(>16 µg/L en promedio, con valores que en invierno superan los 20 µg/L). Las concentraciones de ortofosfato, y de nitrógeno tanto total como inorgánico combinado (nitrato, nitrito, amonio) son también altas.

Esto permite concluir que el cuerpo de agua se encuentra en un estado de mesotrofia aun cuando las concentraciones de clorofila son bajas (en promedio <2,5 µg/L), puesto que la opacidad de las aguas por presencia de sustancias húmicas disueltas no permite una mayor producción primaria.

El tiempo de recambio de las aguas resultó de 0,246 años, lo que permite que las aguas del lago se renueven completamente 4 veces en el año facilitando el egreso de sobrecargas de nutrientes.

El balance de masas indica que existe un flujo neto de fósforo hacia los sedimentos, que actúan como sumidero de 6,2 toneladas anuales. El egreso de este elemento por el efluente es de 1,7 toneladas anuales. El tiempo de residencia del fósforo en el lago Popetán es de sólo 8 días. Las condiciones descritas determinan una carga crítica de 494 mg·m⁻²a⁻¹.

En el caso del nitrógeno los sedimentos actúan como fuente neta o generador de carga interna ascendiente a 31,7 toneladas anuales. La carga total actual de nitrógeno por unidad de área del lago es de 9200 mg·m⁻²·a⁻¹, de la cual el 64% proviene de la piscicultura y un 31% de los aportes por aguas de cursos afluentes. El tiempo de residencia resultante es de 0,14 años, lo que implica que el 42% del contenido total de N del cuerpo de agua es reemplazado 7 veces cada año. La carga de Bachmann es considerablemente superior a la carga actual de nitrógeno, de modo que el lago Popetán presenta limitación por fósforo para su uso en piscicultura.

La carga total actual de fósforo que recibe el lago asciende a 4995 mg·m⁻²a⁻¹, de la cual el 97,6% es aportada por la piscicultura existente y un 2% por los cursos de agua afluentes. Puesto que la carga actual de fósforo es prácticamente 10 veces mayor que el valor de la carga crítica, no sólo no existe actualmente margen de carga disponible para ser llevado a producción piscícola, sino que, por el contrario, la evidencia indica que existe sobrecarga de P. Esta sobrecarga puede determinar cambio del actual estado de trofía del lago con su consecuente deterioro. Probablemente gracias a la elevada tasa de recambio que poseen las aguas, los cambios se encuentran todavía en una etapa de evolución temprana como para introducir una acción correctiva oportuna.

A excepción de Trimetoprim, ninguno de los quimioterapéuticos analizados pudo ser detectado, lo que permite establecer, en general, que la persistencia ambiental de quimioterapéuticos es baja. La presencia de Trimetoprim en sedimentos obtenidos a

comienzos del año (febrero de 1998), permite establecer a su vez que este quimioterapéutico en particular se asocia a partículas orgánicas, sedimentado y desapareciendo por lo tanto en corto plazo del agua pero persiste en sedimentos por períodos más largos (meses).

LAGO SAN ANTONIO

El lago San Antonio se caracteriza por poseer una cuenca destinada a uso principalmente forestal, con serrado del bosque progresando artesanalmente, Si bien la extensión areal del espejo de aguas es pequeña, la relación entre el área de la cuenca y el área del lago es moderada, lo que determina una sensibilidad moderada a la modificación de su cuenca.

La transparencia de las aguas es muy reducida por la presencia de sustancias húmicas disueltas, que les confieren una coloración pardusca. El fondo esta cubierto por arcillas finas no mezcladas con otros sedimentos. La distribución de temperatura es uniforme durante la mayor parte del año, en tanto que aquella de pH, caracterizada por valores cercanos a la neutralidad muestra sus valores menores en la ribera sur y los mayores en la ribera norte. La oxigenación es alta en toda su extensión. Las corrientes son determinadas por viento, son verticalmente estratificadas en cuanto a intensidad y presentan una distribución semejante a lo largo de la extensión del lago, siendo más fuertes en la primavera que en las restantes estaciones del año.

Las concentraciones de fósforo total son de bajas a moderadas (entre 8 y 10 µg/L en promedio), con valores que en invierno superan levemente los 10 µg/L en parte considerable del cuerpo de agua. Las concentraciones de ortofosfato son moderadas. Si bien las concentraciones de nitrógeno total son relativamente elevadas, aquellas presentes en forma inorgánica combinada (nitrato, nitrito, amonio) son relativamente bajas, indicando una proporción considerable de nitrógeno orgánico no biodisponible.

El tiempo de recambio de las aguas resultó de 0,447 años, lo que permite una renovación anual de 2, 2 veces el volumen total del lago, facilitando el egreso de las cargas de nutrientes.

Esto permite concluir que el cuerpo de agua se encuentra en el límite entre la oligotrofia y la mesotrofia, lo que también se manifiesta en las concentraciones de clorofila cercanas en promedio a 2,5 µg/L.

El balance de masas indica que existe un flujo neto de fósforo hacia los sedimentos, que actúan como sumidero de 236 kg anuales. El egreso de este elemento por el efluente es de 650 kg anuales. El tiempo de residencia del fósforo en el lago Popetán es de 58 días. Las condiciones descritas determinan una carga crítica de 202 mg·m²a¹. La carga actual de fósforo alcanza a 293 mg·m²a¹, lo que permite establecer que existe una moderada sobrecarga de este elemento que no permite ampliación de producción piscícola sin deterioro del estado de trofía del cuerpo de agua. Probablemente gracias a la elevada tasa de recambio que poseen las aguas de este lago, los cambios se encuentran todavía en una etapa temprana como para introducir una acción correctiva oportuna. De la carga aportada un 56,5 % proviene de la única piscicultura instalada en el lago y un 38,7 % es aportada por los cursos de agua afluentes. Para alcanzar un nivel de carga inferior a la carga crítica estimada se requiere disminuir la biomasa cultivada de salmónidos en 3 toneladas.

En el caso del nitrógeno, los sedimentos actúan como carga interna ascendiente a 4461 kg anuales. La carga total actual de nitrógeno por unidad de área del lago es de 2576 mg·m⁻²·a⁻¹, de la cual el 64% proviene de la piscicultura y un 31% de los aportes por aguas de cursos afluentes. El tiempo de residencia resultante es de 0,14 años, lo que implica que el 42% del contenido total de N del cuerpo de agua es reemplazado 7 veces cada año. La carga de Bachmann es considerablemente superior a la carga actual de nitrógeno, de modo que el lago San Antonio mantiene capacidad disponible para incorporar una carga de nitrógeno superior a la que está recibiendo actualmente.

Fue posible establecer presencia del quimioterapéutico Trimetoprim en la totalidad de las aguas del lago San Antonio en el mes de junio, con un gradiente de disminución tanto en sentido vertical como horizontal desde el centro-sur hacia el norte del lago. En los restantes meses no hubo detección de este ni de ningún otro quimioterapéutico en aguas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bachmann, R.W. (1984) Calculation of phosphorus and nitrogen loadings to natural and artificial lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22:239-243.
- Campos, H., W. Steffen, G. Agüero, O. Parra y L. Zuñiga. (1987a). Limnology of Lake Riñihue. Limnologica, 18(2):339-357.
- Campos, H., W. Steffen; O. Parra; P. Dominguez y G. Agüero (1987b) Estudios limnológicos en el Lago Caburga (Chile). *Gayana Bot.*, 44(1-4): 61-84.
- Campos, H. (1993). Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el lago Rupanco, X Región. 350 p.
- Carrit, D.E. & J.H. Carpenter, 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater; a NASCO Report. *Journal of Marine Research*, 24: 286-318.
- Chapra, S. (1997) Surface Water-Quality Modeling. McGraw-Hill, Boston. 844p.
- Dillon, P.J. & F.H. Rigler (1974) A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water. *J. Fish.Res.Bd. Canada*, 31: 1771-1778.
- Duce, R.A. (1986) The impact of atmospheric nitrogen, phosphorus, and iron species on marine biological productivity, in The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical Cycling. P. Buat-Ménard, eds. D. Reidel, Dordrecht, Holland, pp. 497-529.
- Galloway, J.N., W.C. Keene & G.E. Likens (1996) Processes controlling the composition of precipitation at a remote southern hemispheric location: Torres del Paine National Park, Chile. *J. Geophys. Res.*, 101: 6883-6897.
- Gajardo, R. (1994) La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria, 165p.
- Larsen, D.P. & H.T. Mercier (1976) Phosphorus Retention Capacity of Lakes. J. Fish. Res. Bd. Canada, 33: 1742-1750.
- Lorenzen, C.J. & S.W. Jeffrey (1980) Determination of chlorophyl in seawater. Unesco technical papers in marine science, 35: 20pp.
- OCDE (1982) Eutrophication of waters. Monitoring, Assessment, and Control. Organization for Economic Cooperation and Development OECD, Paris, 154 p.
- Ontario Ministry of Environment (1991) Water Management, Nov. 1978, rev. May 1984. Provincial Water Quality Objectives and Guidelines, July 1991.

- Parsons, T., Y. Maita & C. Lalli (1984) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 p.
- Prado-Fiedler, R. (1988) Deposition and precipitation scavenging processes of atmospheric nitrogen species over the Kiel Bight (Ph.D. Thesis, U. Kiel, Germany), 109 p.
- Prado-Fiedler, R. (1995) Métodos analíticos de uso corriente en química del mar. *Publ. Ocas. Inst. Oceanología, Univ. Valparaíso*, Nº8: 120p.
- Prado-Fiedler, R. & H.A. Fuenzalida (1996) Wet and dry deposition of nitrogen compounds in the southeast Pacific coast: Montemar, central Chile. *J. Geophys. Res.*, 101: 22845-22853.
- Rechow, K.H. & J.T. Simpson (1980) A procedure using modeling and error analysis for the prediction of lake phosphorus concentration from land use information. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1439-1448.
- Reynolds, C.S. (1984). The ecology of Freshwater Phytoplancton. Cambridge University Press, Cambridge.
- Standard Methods (1995) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, pp: 2/35-2/39.
- Strickland, J.D.H. & T. Parsons (1968) A practical handbook of Seawater Analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167.
- Valderrama, J.C. (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. *Marine Chemistry*, 10: 109-122.
- Veblen, T., T. Kitzberger, B.R. Bruns & A.J. Rebertus (1995) Perturbaciones y dinámica de regeneración en bosques andinos del sur de Chile y Argentina. In: Ecología de los Bosques Nativos de Chile, J.J. Armesto, C. Villagra y M Kalin Arroyo, eds., pp.169-197.
- Vollenweider, R.A. (1976) Advances in defining critical loading levels for phosphorus eutrophication. *Mem.lst.ltal.ldrobiol.*, 33: 53-83.
- Wetzel, R.G. (1981). Limnología. Ediciones Omega S.A., Barcelona. 679p.