

000240

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

UNIVERSIDAD AUSTRAL
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE ZOOLOGIA



"EVALUACION DE LA CARGA DE FOSFORO Y NITROGENO EN EL LAGO VILLARRICA"



DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACION

S. I. T. N° 15

MARZO 1994

EQUIPO PROFESIONAL



REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACION

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS : ABOGADO GUSTAVO MANRIQUEZ L.
JEFE DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACION : ING. HUMBERTO PEÑA T.
INSPECCION FISCAL : ING. CARLOS SALAZAR M.
: ING. TATIANA CUEVAS V.

UNIVERSIDAD AUSTRAL
FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE ZOOLOGIA

INVESTIGADOR PRINCIPAL : Dr. HUGO CAMPOS CERECEDA
COINVESTIGADORES : Dr. OSCAR PARRA BARRIENTOS
: T.M. GLORIA AGUERO ZAFFARONI
COLABORADORES : ROSA CARCAMO H.
: MARITZA MERCADO O.
: RAUL ARRIAGADA M.
: JORGE JARAMILLO

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Dirección General de Aguas (D.G.A.) todo su apoyo para el éxito de este trabajo. Se agradece encarecidamente al Sr. Raúl Arriagada y Sr. Jorge Jaramillo por el trabajo en terreno. Especial agradecimiento a la Srta Rosa Cárcamo por su extraordinario trabajo computacional. Al Sr. Claudio Campos B., estudiante de Arquitectura, quien realizó la encuesta con gran prolijidad.



000252

INDICE

1.-	Introducción.....	1
1.1.-	Generalidades.....	1
1.2.-	Recopilación de antecedentes.....	2
1.3.-	Objetivos.....	5
2.-	Metodología.....	12
3.-	Descripción del estudio.....	22
3.1.-	Investigación en los afluentes del lago Villarrica.....	22
3.2.-	Efluente del lago Villarrica.....	103
3.3.-	Bahías del lago Villarrica.....	106
4.-	Balance de Fósforo total en el lago Villarrica.....	127
5.-	Balance de Nitrógeno total en el lago Villarrica.....	147
6.-	Condiciones tróficas del lago Villarrica y su contaminación.....	163
7.-	Uso del suelo y Demografía.....	172
8.-	Capacidad de soporte del lago en condiciones actuales.....	175
9.-	Comparación de Fósforo total y Nitrógeno total entre 1986-87 y 1991.....	180
10.-	Programa de monitoreo.....	186
11.-	Conclusiones.....	187
12.-	Recomendaciones.....	192
	Referencias Bibliográficas.....	194

INDICE DE TABLAS

TABLA 1:	Parámetros morfométricos del lago Villarrica (Campos et al.,1983).....	7
TABLA 2:	Rangos de la calidad de agua natural. El límite inferior lo nominamos bajo. El límite superior, alto, el cual revela deterioro de la calidad del agua (Wetzel,1988).....	19
TABLA 3:	Rangos de Fósforo y Nitrógeno de los tipos de lagos clasificados según su trofia(Wetzel, 1983).....	20
TABLA 4:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Alemán, Lago Villarrica.....	24
TABLA 5:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Lucas, Lago Villarrica.....	27
TABLA 6:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Canal del Medio, Lago Villarrica.....	30
TABLA 7:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Pucará, Lago Villarrica.....	33
TABLA 8:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Parque del Lago, Lago Villarrica.....	36
TABLA 9:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Lorena, Lago Villarrica.....	39
TABLA 10:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Huichatío, Lago Villarrica.....	42
TABLA 11:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua de Alcantarilla chalet café, Lago Villarrica.....	45
TABLA 12:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Molco, Lago Villarrica.....	47
TABLA 13:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Loncotraro, Lago Villarrica.....	50

TABLA 14:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Los Chilcos, Lago Villarrica.....	53
TABLA 15:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Correntoso, Lago Villarrica.....	56
TABLA 16:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Candelaria I, Lago Villarrica.....	59
TABLA 17:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Candelaria II, Lago Villarrica.....	62
TABLA 18:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero La Poza, Lago Villarrica.....	65
TABLA 19:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Avenida Argentina, Lago Villarrica.....	68
TABLA 20:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Hotel Pucón, Lago Villarrica.....	71
TABLA 21:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Claro, Lago Villarrica.....	74
TABLA 22:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Trancura, Lago Villarrica.....	77
TABLA 23:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Quilque, Lago Villarrica.....	80
TABLA 24:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Aserradero, Lago Villarrica.....	83
TABLA 25:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Montaña, Lago Villarrica.....	86
TABLA 26:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río El Suizo, Lago Villarrica.....	89
TABLA 27:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Montaña Suizo, Lago Villarrica.....	92

TABLA 28:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Fundo Pesca, Lago Villarrica.....	95
TABLA 29:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río El Castillo, Lago Villarrica.....	98
TABLA 30:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Los Boldos, Lago Villarrica.....	101
TABLA 31:	Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua en el río Toltén, efluente del Lago Villarrica.....	104
TABLA 32:	Luz y transparencia en bahías y centro del Lago Villarrica.....	107
TABLA 33:	Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 3 y 9 metros de la bahía Villarrica, lago Villarrica.....	108
TABLA 34:	Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía Villarrica.....	109
TABLA 35:	Factores físicos y químicos de la bahía Marina Villarrica, Lago Villarrica.....	112
TABLA 36:	Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía Marina Villarrica.....	113
TABLA 37:	Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 1 y 8 metros de la bahía La Poza, lago Villarrica.....	116
TABLA 38:	Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía La Poza, lago Villarrica.....	117
TABLA 39:	Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 1 y 10 metros de la bahía Hotel Pucón, lago Villarrica.....	120
TABLA 40:	Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía Hotel Pucón, lago Villarrica.....	121
TABLA 41:	Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 3, 30 y 160 metros de profundidad en el centro del lago Villarrica.....	124

TABLA 42:	Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua del centro del lago Villarrica.....	125
TABLA 43:	Carga anual (L_N) de Fósforo total de cada afluente al lago Villarrica.....	134
TABLA 44:	Carga anual (L_N) de Nitrógeno total de cada afluente al lago Villarrica...	151
TABLA 45:	Clasificación de los afluentes en niveles tróficos de eutroficación de acuerdo a su concentración de fósforo total.....	165
TABLA 46:	Clasificación de los afluentes en niveles tróficos de eutroficación de acuerdo a su concentración de nitrógeno total.....	166
TABLA 47:	Número de parámetros positivos (no contaminantes) y negativos (contaminantes) de los afluentes del lago Villarrica.....	167
TABLA 48:	Resumen de la encuesta sobre el uso del suelo en los alrededores del lago Villarrica.....	174
TABLA 49:	Concentración de Fósforo total y Ortofosfato en bahías, afluentes y lago Villarrica entre 1984 a 1991.....	182
TABLA 50:	Concentración de Nitrógeno total en bahías, afluentes y lago Villarrica.....	184

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del Lago Villarrica en la hoya hidrográfica del río Toltén.....8

Figura 2: Mapa batimétrico del Lago Villarrica (Campos et al., 1983).....9

Figura 3: Fluctuaciones del nivel del Lago Villarrica, según información proporcionada por la D.G.A., IX Región.....10

Figura 4: Fluctuación de los caudales de los ríos Toltén y Trancura (1990 - 1991); y fluctuación del caudal del río Toltén para el período 1929 a 1991. Antecedentes proporcionados por la D.G.A., IX Región.....11

Figura 5: Ubicación de las estaciones de muestreo en el lago Villarrica.....21

Figura 6: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Alemán.....25

Figura 7: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Lucas.....28

Figura 8: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Canal del Medio.....31

Figura 9: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Pucará.....34

Figura 10: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Parque del Lago.....37

Figura 11: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Lorena.....40

Figura 12: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Huichatío.....43

Figura 13: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Molco.....48

Figura 14: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Loncotraró.....51

Figura 15: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Los Chilcos.....54

Figura 16:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Correntoso.....	57
Figura 17:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Candelaria I.....	60
Figura 18:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Candelaria II.....	63
Figura 19:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero La Poza.....	66
Figura 20:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Avenida Argentina.....	69
Figura 21:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Hotel Pucón.....	72
Figura 22:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Claro.....	75
Figura 23:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Trancura.....	78
Figura 24:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Quilque.....	81
Figura 25:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Aserradero.....	84
Figura 26:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Montaña.....	87
Figura 27:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Suizo.....	90
Figura 28:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Montaña Suizo.....	93
Figura 29:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Fundo Pesca.....	96
Figura 30:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río El Castillo.....	99

Figura 31:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Los Boldos.....	102
Figura 32:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Toltén, efluente del Lago Villarrica.....	105
Figura 33:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía Villarrica.....	110
Figura 34:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía Marina Villarrica.....	114
Figura 35:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía La Poza.....	118
Figura 36:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía Hotel Pucón.....	122
Figura 37:	Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el centro del lago Villarrica.....	126
Figura 38:	Carga de fósforo total mensual de los afluentes: A. Alemán, E. Lucas y Canal del Medio. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....	138
Figura 39:	Carga de fósforo total mensual de los afluentes: E. Pucará, P. del Lago y A. Lorena. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....	139
Figura 40:	Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Huichatío, R. Molco y E. Loncotraro. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....	140
Figura 41:	Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Los Chilcos, R. Correntoso y E. Candelaria I. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....	141
Figura 42:	Carga de fósforo total mensual de los afluentes: E. Candelaria III, E. La Poza y A. Avda. Argentina. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....	142

- Figura 43: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: A. Hotel Pucón, R. Claro y R. Trancura. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....143
- Figura 44: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Quilque, A. Aserradero y A. Montaña. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....144
- Figura 45: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. El Suizo, A. Montaña Suizo y A. Fdo Pesca. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....145
- Figura 46: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. El Castillo y A. Los Boldos. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....146
- Figura 47: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: A. Alemán, E. Lucas y Canal del Medio. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....154
- Figura 48: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: E. Pucará, P.. del Lago y A. Lorena. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....155
- Figura 49: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Huichatío, R. Molco y E. Loncotraro. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....156
- Figura 50: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Los Chilcos, R. Correntoso y E. Candelaria I. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....157
- Figura 51: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: E. Candelaria II, E. La Poza y A. Avda. Argentina. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....158
- Figura 52: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: A. Hotel Pucón, R. Claro y R. Trancura. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....159

- Figura 53: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Quilque, A. Aserradero y A. Montaña. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....160
- Figura 54: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. El Suizo, A. Montaña Suizo y A. Fdo Pesca. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....161
- Figura 55: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. El Castillo y A. Los Boldos. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.....162
- Figura 56: Niveles de trofia de los afluentes del lago Villarrica, de acuerdo a su concentración de fósforo total168
- Figura 56b: Niveles de trofia de los afluentes del lago Villarrica, de acuerdo a su concentración de nitrógeno total 169
- Figura 57: Evaluación de la calidad del agua de los afluentes del lago Villarrica, de acuerdo a sus factores físico-químicos. Positivo: parámetro favorable para aguas naturales descontaminadas. Negativo: parámetro indicador de contaminación. Se analizaron 14 parámetros en cada estación de muestreo.....170
- Figura 58: Representación en colores de los grados de eutroficación de los afluentes del lago Villarrica.....171
- Figura 59: Comparación de las fluctuaciones del fósforo total en bahías, afluentes y centro del lago Villarrica.....183
- Figura 60: Comparación de las fluctuaciones del nitrógeno total en bahías, afluentes y centro del lago Villarrica.....185

1.- INTRODUCCION

La Dirección General de Aguas ha encargado un estudio sobre la carga de fósforo y nitrógeno en el lago Villarrica a la Universidad Austral de Chile de acuerdo al Convenio establecido a finales de 1990. El presente trabajo tiene por objetivo determinar el grado de eutroficación o contaminación del lago Villarrica.

1.1.- Generalidades.

El lago Villarrica pertenece a la hoya hidrográfica del río Toltén (Fig. 1). Es un lago de origen glacial. Está ubicado a 230 metros sobre el nivel del mar. Tiene un área de 175.9 km², un perímetro de 71.2 km y una profundidad máxima de 165 m (Fig. 2). La renovación teórica de sus aguas se efectúa probablemente cada dos años y tres meses. Los principales estudios limnológicos de este lago se han realizado en ciclos de estudio desde 1978 - 1979 (Campos et al., 1983), 1984 - 1985 (Campos et al., 1985), 1986 - 1987 (DGA - UACH, 1987). La Dirección General de Aguas a través de la Universidad Austral desarrolló su programa "Operación de la red mínima de Control de Lagos", un completo estudio en el centro del lago y tres bahías sobre los factores abióticos y bióticos relacionados con la eutroficación entre 1986 a 1987. Esta información revela un proceso sostenido de eutroficación del lago Villarrica (Campos 1986). Las causas de esta contaminación y su efecto en todo el lago es objeto del presente trabajo. Para analizar esta situación se estableció un método moderno que determina el balance de nutrientes de un lago.

El balance de nutrientes parte de la hipótesis que las algas fitoplanctónicas están reguladas en sus poblaciones con las concentraciones de nutrientes disponibles. Así, un fuerte ingreso de nutrientes origina un aumento de algas, lo que se denomina **EUTROFICACION**. El concepto de eutroficación se define como una excesiva fertilización de las plantas acuáticas. Los nutrientes que originan este proceso son el fósforo y nitrógeno.

El fósforo y nitrógeno son constituyentes de los compuestos relacionados con la actividad del hombre. La actividad agrícola (abono), industrial (plantas lecheras y otros), doméstica (aguas servidas) aportan nitrógeno y fósforo a las aguas a través de emisarios y afluentes. Los lagos reciben un aporte de estos nutrientes por sus afluentes naturales y artificiales, todos ellos productos de la actividad antropogénica.

La determinación de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en los lagos, ha

sido considerado muy importante, para establecer el grado de trofia de un lago. Un gran avance en esta problemática ha sido definir el balance de fósforo y nitrógeno de un lago (Vollenweider 1968, 1976; Dillon & Rigler 1975; Goltermann 1980; Pairie 1988, entre otros).

El balance, consiste en calcular el ingreso (input) de fósforo y nitrógeno al lago, por diferentes fuentes. Se determina la presencia y permanencia de estos nutrientes dentro del lago. Se calcula la salida (output) de los nutrientes del lago. Así, se obtiene una evaluación del efecto en el lago, del ingreso de nutrientes por emisarios y afluentes naturales. El balance puede predecir la capacidad de carga (carring capacity) que tiene un lago para estos nutrientes.

El presente trabajo es el primer estudio de esta naturaleza que se realiza en el lago Villarrica y en los lagos de Chile.

1.2.- Recopilación de antecedentes.

Se entrega un resumen de los antecedentes de acuerdo a lo establecido por el Convenio en su artículo quinto. Estos antecedentes son los siguientes:

- * Información limnológica de estudios anteriores.
- * Datos de controles efectuados por D.G.A.
- * Antecedentes hidrológicos.

1.2.1.- Información limnológica de estudios anteriores.

El lago Villarrica ocupa una cuenca al final de un extenso valle cordillerano remodelado por la acción de los glaciares que confluyeron a la altura del pueblo de Curarrehue (Fig. 1). Uno de los glaciares se deslizó en dirección Norte-Sur por el cual fluye actualmente el río Maichín, y el otro de Sur a Norte por donde baja el río Trancura. Ambos glaciares continuaron en una dirección Oeste recibiendo en su cauce el aporte de pequeñas ramas, tanto desde el Norte como desde el Sur. El lago ocupa actualmente el final de este valle cerrado por las morrenas frontales de glaciar (Fig. 1).

El mapa batimétrico nos muestra un lago profundo (165 m), de líneas regulares, donde el único accidente de importancia es la isla Aillaquillen, peñon rocoso situado en las proximidades de la ciudad de Villarrica (Fig. 2). Tanto en su extremo oriental como en la costa Sur del lago, se advierten los aportes de material del río Trancura y del volcán Villarrica.

Los parámetros morfométricos del lago Villarrica nos dan las dimensiones que

caracterizan a este cuerpo de agua (Tabla 1). El lago tiene un área de 175,9 km² y un volumen de 21 km³. Por esta razón el lago Villarrica es el cuarto lago de mayor tamaño de la región de lagos araucanos. La renovación teórica de las aguas de este lago sería de 2 años y tres meses.

Los niveles del lago fluctuaron en 1989 en 1.27 metros con un mínimo en marzo y un máximo en agosto (Fig. 3). En 1990 la variación fue de 1.35 metros con un mínimo en febrero y un máximo en septiembre. En 1991 hubo una diferencia de 1.53 metros con un mínimo en febrero y máximo en junio. Esta variación de nivel promedio de estos tres años de 1.4 metros alcanza a sólo un 1.1 % de la profundidad promedio del lago ($z = 120$ m).

El afluente principal del lago Villarrica es el río Trancura. Los caudales de este afluente según antecedentes de la D.G.A., en 1990 varió en promedios mensuales de 28.7 m³/s en marzo a 323 m³/s en agosto, superando al Toltén (Fig. 4). En 1991, el mínimo fue en febrero con 25.7 m³/s y el máximo en julio con 263 m³/s. El caudal del río Trancura es inferior al río Toltén en más o menos 100 m³/s.

El efluente del lago Villarrica es el río Toltén. En antecedentes proporcionados por la DGA, el promedio anual del caudal desde 1929 a 1989 fue de 280 m³/s con una desviación standard de 60,1. La proyección del promedio anual revela amplias fluctuaciones para los mayores caudales entre 1929 a 1950 como se observa en Figura 5. En 1989 se registró el caudal promedio mas bajo del río con 109 m³/s, lo cual se recuperó al doble en 1990 y 1991 fecha de este estudio, con 227,2 m³/s y 236,9 m³/s respectivamente. Se observan las variaciones mensuales del promedio del caudal del río Toltén con un fuerte aumento en junio que alcanzó a 604 m³/s.

* Factores físicos

El registro mensual de un perfil térmico de 0 - 140 m en el lago Villarrica nos permite tener una apreciación de los cambios estacionales que se producen en la masa de agua.

Durante el mes de agosto de 1978 se obtuvo el primer registro de temperatura que nos revela un perfil prácticamente uniforme con una mínima variación de alrededor de medio grado entre superficie y fondo. Este es el período de circulación del lago y se produce a temperaturas entre 9° - 10°C. En el perfil térmico de septiembre se aprecia el inicio de un calentamiento de las capas superiores. Este calentamiento de las capas

superiores continúa durante octubre y noviembre. Aunque hay una manifiesta diferencia entre superficie y fondo aún no se aprecia una termoclina que permita distinguir el epilimnion del hipolimnion. La capa superior está sujeta al movimiento impuesto por el viento y aunque en diciembre y enero la superficie del agua alcanza los 21°C y 22,5°C respectivamente, es en febrero cuando más típicamente se forma un epilimnion de aproximadamente 20 m de profundidad y de 19°C de temperatura. La termoclina nos muestra un epilimnion muy definido y de características muy homogéneas. En los meses siguientes, marzo, abril y mayo la rápida pérdida de calor de la superficie hace que el agua del epilimnion inicie un nuevo período de mezcla cuyo responsable en este caso además del viento es la variación de densidad, producto del enfriamiento de las capas superficiales. Esto hace que el epilimnion se profundice a costa de disminuir su temperatura. En estos meses es cuando las capas profundas hasta 100 m de profundidad alcanzan los 10,5°C que es la temperatura más alta del año para esta capa. Finalmente, en los meses de invierno, el lago tiene de nuevo la posibilidad de circular por efecto del viento y gracias a su temperatura homogénea. El epilimnion de febrero representa una masa cálida de 3,4 km³ y un 16% del volúmen total del lago Villarrica.

* **Factores químicos**

El estudio de los factores químicos lo hemos realizado en los ciclos de 1978 -1979, 1984 -1985, 1986 - 1987 y el presente estudio en 1991. Todos estos estudios no siempre son comparables por ser realizados con diferentes lugares, frecuencia, profundidades y algunos cambios metodológicos. Esto explica las variaciones en los diferentes ciclos. En Tabla 49 y 50 se entrega un análisis de los principales parámetros químicos obtenidos en el ciclo 1986 - 1987. Nos referimos a continuación sólo a los parámetros objeto del presente estudio.

En el ciclo 1978 - 1979 se determinó fósforo total y fósforo soluble, primeramente en la superficie, en Octubre y Diciembre de 1978, Enero y Febrero 1979. Luego se determinó el fósforo a 6 profundidades desde Abril a Septiembre de 1979 (Campos et al., 1983). El promedio del fósforo total en este ciclo fue de 13,6 µg/l y para ortofosfato o fósforo soluble de 4.8 µg/l. No estamos seguros de que estas mediciones sean comparables con las posteriores porque en esos años se estaba ajustando el método de medición del fósforo (Tabla 49).

Los antecedentes biológicos revelaron bajas concentraciones de fitoplancton y

clorofila que no estaría muy de acuerdo con las concentraciones de fósforos obtenidas.

En el ciclo 1984 -1985 se realizó un análisis de agua en una estación fuera de la bahía Pucón como un lugar representativo del lago (Campos et al., 1985). En este ciclo se obtuvo para el fósforo total $7.1 \mu\text{g/l}$ y fósforo soluble $2.8 \mu\text{g/l}$. Las concentraciones de fitoplancton y clorofila fueron significativamente superiores a las del ciclo 1978 - 79. Por esa razón tenemos dudas de los datos de fósforo de 1978 -79 (Tabla 49).

En el ciclo 1986 - 87 a través de la DGA, se estudiaron cuatro bahías mas afluentes. Las bahías fueron Villarrica, Molco, La Poza y Hotel Pucón (DGA - UACH, 1988). El estudio fue estacional en Febrero, Abril, Julio y Enero. No se realizó un muestreo en el centro del lago. Las concentraciones de fósforo total promedio de todas las bahías fue de $3,7 \mu\text{g/l}$ y fósforo soluble $2,1 \mu\text{g/l}$. Estos antecedentes son comparables con las bahías analizadas en el presente estudio. Los antecedentes biológicos de 1986 - 1987 son semejantes en abundancia de fitoplancton pero de composición diferente, gran aumento de clorofila y productividad primaria (Tabla 49).

En el ciclo 1978 - 1979 se determinó nitrato como equivalente al nitrógeno total con un promedio en el centro del lago de $87.3 \mu\text{g/l}$ (Campos et al., 1983)(Tabla 49).

En el ciclo 1984 - 1985, se determinó sólo nitrato como equivalente al nitrógeno total con un promedio del centro del lago superior al ciclo anterior, de $261 \mu\text{g/l}$ (Tabla 49) (Campos et al., 1985).

En el ciclo 1986 - 1987, se determinó nitrógeno total en cuatro bahías. Estas bahías fueron Villarrica, Pucón, Molco, La Poza y además el centro del lago (DGA - UACH, 1988) (Tablas 49 y 50; Figs 60 y 61). En el centro del lago se obtuvo $154 \mu\text{g/l}$ de nitrógeno total.

Los antecedentes físicos y químicos revelan que el lago ha ido aumentando las concentraciones de fósforo principalmente, con aumento de los factores biológicos, especialmente en las bahías y sus afluentes.

1.3.- Objetivo General.

Determinar la capacidad de carga de fósforo del lago Villarrica, es decir, el máximo nivel de producción de algas que este lago puede sustentar, sin cambiar de trofia o contaminarse.

Este objetivo está basado en la hipótesis que la densidad de las poblaciones de algas está correlacionada con la calidad de agua, y que el fósforo y el nitrógeno controlan la

abundancia de fitoplancton del lago. En otras palabras, la determinación del grado de eutroficación o contaminación de este lago.

1.3.1.- Objetivos específicos.

- * Establecer la carga de fósforo, del lago Villarrica, proveniente de afluentes naturales.
- * Establecer la carga de fósforo, del lago Villarrica, proveniente de afluentes artificiales.
- * Determinar el balance de fósforo del lago Villarrica.
- * Establecer el grado de contaminación del lago Villarrica.
- * Determinar paralelamente y en forma preliminar, un balance de nitrógeno en el lago Villarica.

TABLA 1: Parámetros morfométricos del lago Villarrica (Campos et al., 1983).-

Latitud		39° 18' S
Longitud		72° 05' W
Altitud		230 m
Longitud máxima	(lm)	23.5 km
Ancho máximo	(bm)	11.2 km
Ancho medio	(b)	7.6 km
Linea de costa	(L)	71.2 km
Area superficial	(A _o)	175.9 km ²
Desarrollo linea de costa	(D _L)	1.5
Profundidad máxima	(Z _m)	165 m
Profundidad media	(z)	120 m
Radio = Z : Z _m		0.73
Volumen	(V)	21.0 km ³
Zonas bajas (a 30 m prof.)		10.8 %
Area de drenaje	(A _d)	2.920 km ²
A _d /A _o		16.6

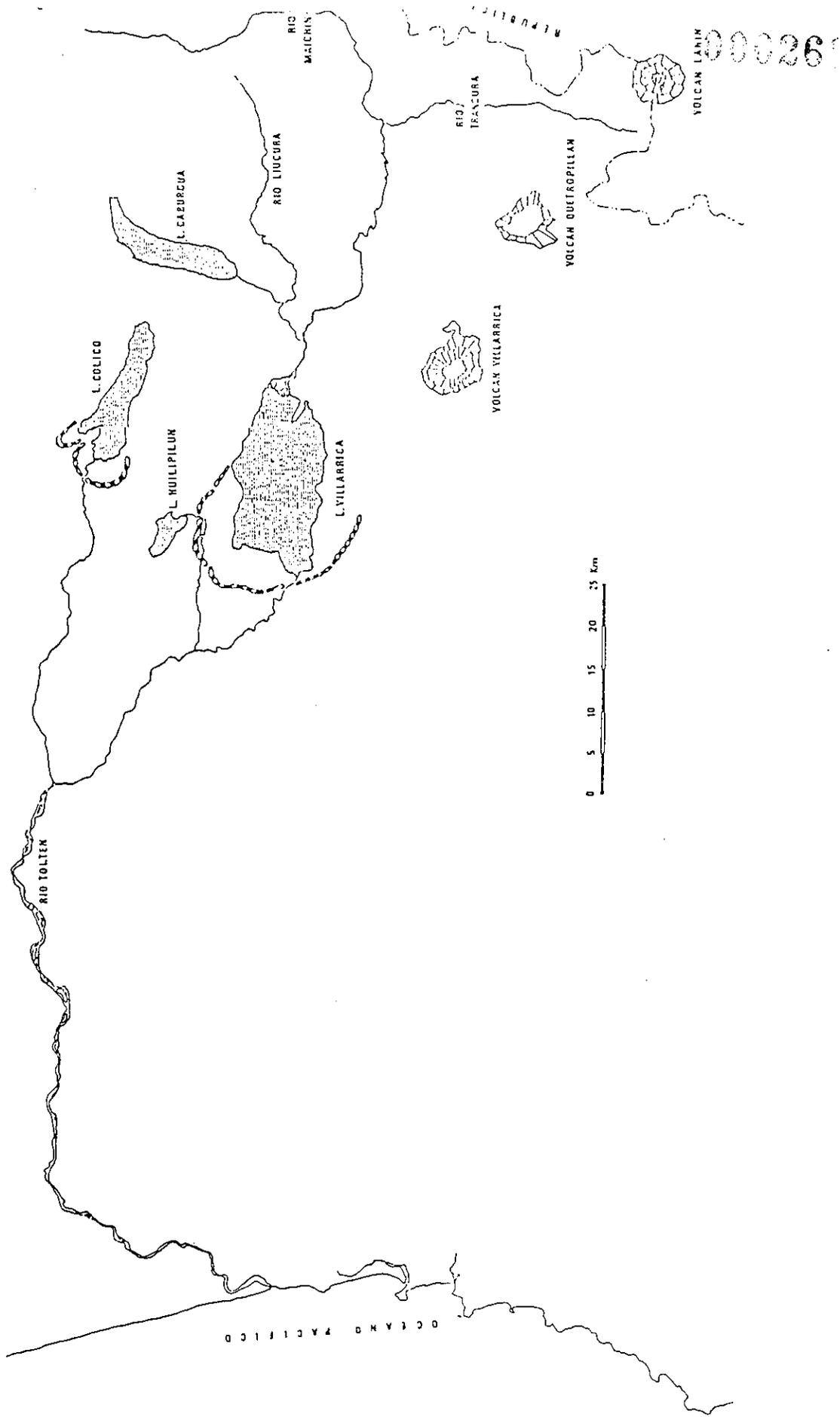


Figura 1 : Ubicación del Lago Villarrica en la hoya hidrográfica del río Toltecan.-



Figura 2 : Mapa batimétrico del Lago Villarrica (Campos et al., 1983).-

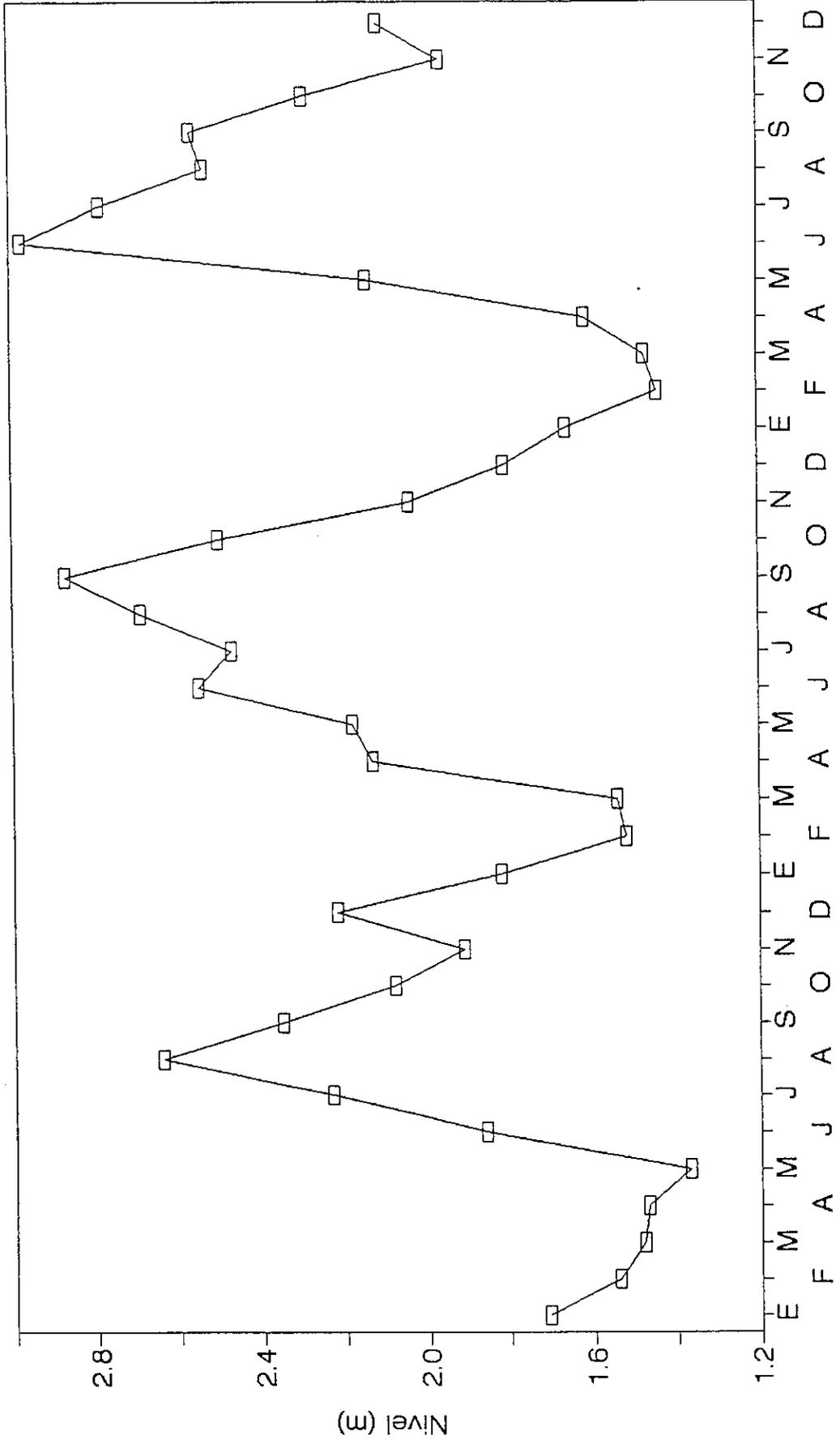


Figura 3 : Fluctuaciones del nivel del Lago Villarrica, según información proporcionada por la Dirección General de Aguas (D.G.A.), IX Región.-

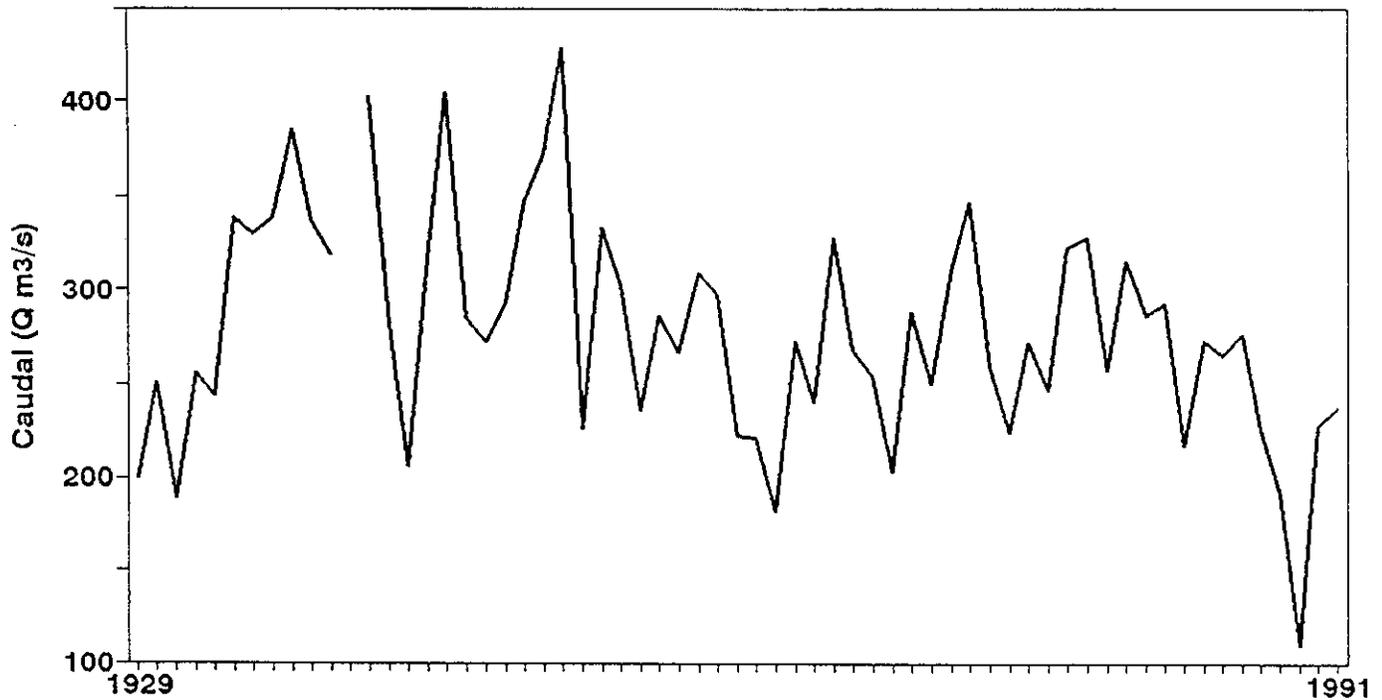
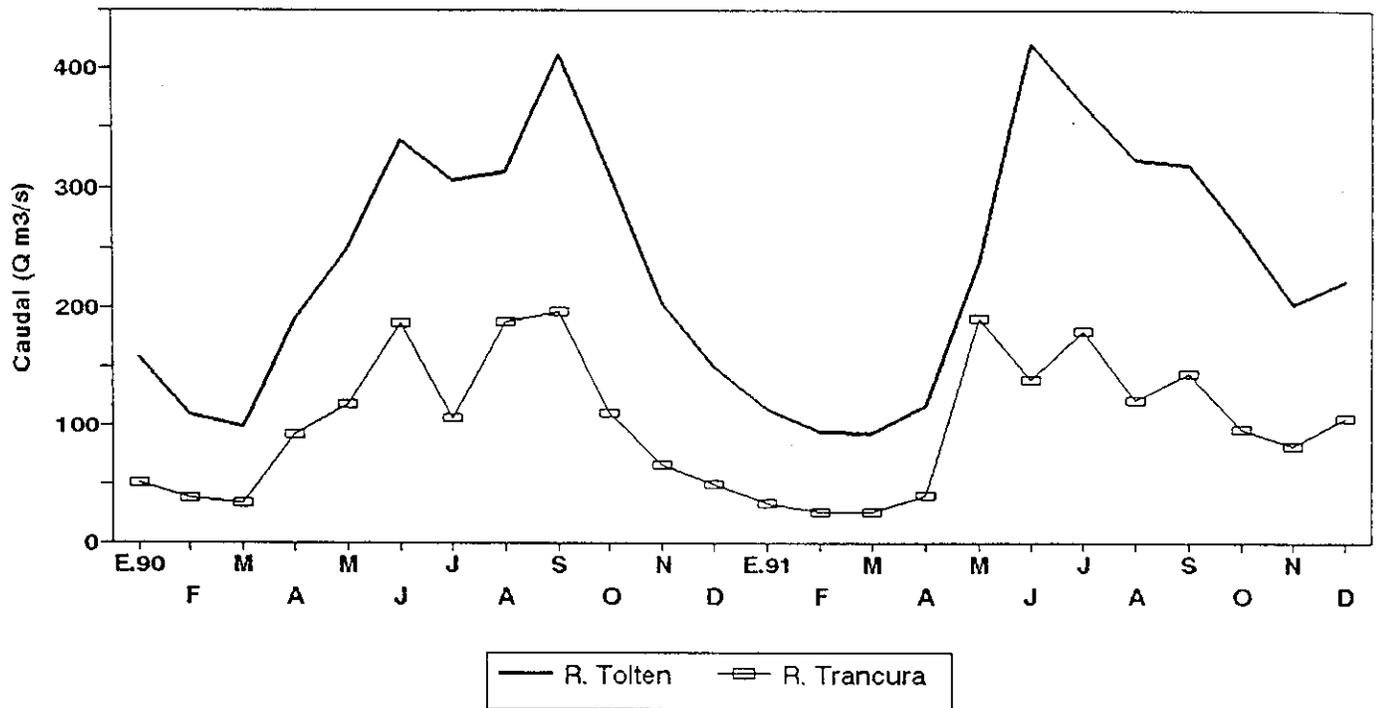


Figura 4: Fluctuación de los caudales de los ríos Tolten y Trancura (1990 - 1991); y fluctuación del caudal del río Tolten para el período 1929 a 1991. Antecedentes proporcionados por la D.G.A., IX Región.

2.- METODOLOGIA

Se fijaron estaciones de mediciones y toma de muestras de agua en 27 afluentes del lago, en el efluente y en el lago mismo. Los afluentes seleccionados fueron los siguientes:

<u>Nombre</u>	<u>Estación de muestreo</u>
Arroyo Alemán	1
Estero Lucas	2
Canal del Medio	3
Estero Pucará	4
Arroyo Parque del lago	5
Arroyo Lorena	6
Río Huichatío	7
Alcantarilla Chalet café	8
Río Molco	9
Estero Loncotraro	10
Río Los Chilcos	11
Río Correntoso	12
Estero Candelaria I	13
Estero Candelaria II	14
Estero La Poza	15
Arroyo Avda. Argentina	16
Arroyo Hotel Pucón	17
Río Claro	18
Río Trancura	19
Río Quilque	20
Arroyo Aserradero	21
Arroyo Montaña	22
Río El Suizo	23
Arroyo Montaña Suizo	24
Arroyo Fundo Pesca	25
Río El Castillo	26
Arroyo Los Boldos	27
Efluente Río Toltén	28
Bahía Villarrica	29
Bahía Marina Villarrica	30
Bahía La Poza	31
Bahía Hotel Pucón	32
Centro del lago	33

Además se midió el caudal de aguas temporales en emisario Chalet café.

El efluente río Toltén es el único que posee el lago. Las mediciones se hicieron con embarcación en el origen del río para cada uno de los muestreos. Los antecedentes anuales e históricos fueron obtenidos de la estación fluviométrica en el desague del lago Villarrica,

entregados por la Dirección de Aguas de Temuco, IX Región.

En el lago Villarrica se realizaron mediciones en los siguientes sectores:

- Bahía La Poza: 1 y 8 m de profundidad.
- Bahía frente Hotel Pucón: 1 y 10 m de profundidad.
- Bahía Villarrica: 3 y 9 m de profundidad.
- Bahía Marina Villarrica: superficie
- Centro del lago: 3, 30 y 160 m de profundidad.

Las fechas de muestreo fueron las siguientes:

- * Febrero, 1991
- * Abril, 1991
- * Junio, 1991
- * Agosto, 1991
- * Octubre, 1991
- * Diciembre, 1991

Se realizaron las siguientes mediciones en cada mes de muestreo:

2.1.- Parámetros morfométricos:

En los afluentes:

- * **Ancho:** se midió en el terreno el ancho de la sección del río con huincha metálica.
- * **Profundidad:** se realizaron un mínimo de tres mediciones en la sección del río.
- * **Area:** se calculó el área del río con los antecedentes de ancho y profundidad de la sección.
- * **Velocidad de la corriente:** se midió con un correntómetro portátil, marca STOPPANI y contador mecánico.
- * **Caudal:** se calculó con las medidas del área de la sección y la velocidad de la corriente. Se siguieron las normas hidrométricas de la D.G.A. para los aforos. Antecedentes de caudal de los principales ríos se obtuvieron de la D.G.A.

2.2.- Factores físicos:

- * **Temperatura:** fue tomada sumergiendo el termómetro en la corrientes de agua con lectura directa en ella. Se usó un termómetro de mercurio, calibrado en Alemania, de la firma Eichramt Wertheim. Temperatura en el lago y bahías con un batitermógrafo Khalsico 0 - 140 m.
- * **Color:** se midió el color del agua en un espectrofotómetro DELTA con longitud

de onda a 440 nm y ajuste a 100% de transmisión. Se leyó en unidades de color "Pt -Co".

- * **Turbidez:** se midió en espectrofotómetro con longitud de onda 440 nm y unidades de turbidez en mg/l de SiO₂.

2.3.- Factores químicos:

- * **pH:** medido con un peachímetro portátil digital pH-meter 602 (marca EXTECH) inmediatamente después de tomada la muestra.
- * **Conductividad:** medida con un instrumento LECTRO-MHO-METER marca LAB-LINE INSTRUMENTS. Esta medición se realizó inmediatamente después de obtenida la muestra. Los resultados se presentan en micro-siemens a 25°C.
- * **Demanda química de oxígeno (DQO):** se determinó por digestión de Dicromato de Potasio.
- * **Fósforo soluble o reactivo (PO₄ - P):** método del Molibdato de amonio.
- * **Fósforo total (P_{total}):** se determinó por digestión con ácido sulfúrico basado en el método de Kjeldahl, molibdato de amonio. Este valor incluye el fósforo orgánico e inorgánico.
- * **Nitrato (NO₃):** se determinó por el método colorimétrico de Salicilato de Sodio, y sal de Seignette en el espectrofotómetro Shimadzu.
- * **Nitrógeno - Nitrato (NO₃ - N):** estos valores se obtienen a partir de los valores del nitrato y utilizando el factor de conversión 4.48.
- * **Nitrito (NO₂ - N):** se determinó con el método colorimétrico de Sulfanilamida y N-Naftil Etilendiamina Dicloro. Se leyó en el espectrofotómetro Shimadzu UV-150-02.
- * **Amoniaco (NH₃):** se determinó por el método del Indofenol azul, hipoclorito de sodio, (método de Solorzano).
- * **Nitrógeno de Amoniaco (NH₃ - N):** estos valores se obtienen a partir de los valores del amoníaco y utilizando el factor de conversión 0.82.
- * **Amonio (NH₄):** los valores obtenidos del nitrógeno de amoniaco se multiplican por su factor de equivalencia 0.78 y 1.29.
- * **Nitrógeno de Amonio (NH₄ - N):** Los valores de NH₄ se dividen por 0.78 que es su factor de equivalencia.
- * **Nitrógeno orgánico:** se determinó por digestión con ácido Sulfúrico, basándose en

el método de kjeldahl.

- * **DIN** : Es la suma de $(\text{NO}_3 - \text{N}) + (\text{NO}_2 - \text{N}) + (\text{NH}_4 - \text{N})$.
- * **TON** : Es la diferencia entre $(\text{N orgánico} - \text{NH}_4 - \text{N})$.
- * **TN** : Es la suma de $\text{DIN} + \text{TON}$.

2.4.- Encuesta:

Durante el mes de febrero de 1991 se realizó una encuesta sobre el uso del litoral. Esta encuesta fué para determinar tipo y tamaño de edificación, número de habitantes habituales y transitorios, adultos y niños, tipo de desagüe (pozo negro, pozo séptico, directo a riachuelo y otros sistemas). Esta información ha sido procesada por computación.

2.5. - Balance de Fósforo y Nitrógeno:

Las ecuaciones que se presentan a continuación, están basadas en la hipótesis que la descarga de fósforo y nitrógeno en agua dulce, es la causa de la eutroficación. . Esto es lo que se llama "Carga de Nutrientes" (Vollenweider and Dillon, 1974 y Vollenweider, 1975). Este concepto implica que existe una relación cuantificable entre la cantidad de nutrientes que alcanza un lago y su grado trófico medible con alguna escala. Así se puede determinar los niveles críticos de nutrientes que soporta un lago, para pasar de un estado trófico a otro.

Los valores obtenidos pueden tener limitaciones, más bien de tipo metodológico. Primero, en la capacidad de medir todo el ingreso de nutrientes que penetra a un lago. Es decir definir las fuentes de estos nutrientes y su aporte a las aguas.

Una segunda limitación, es definir la capacidad de sedimentación que tiene el lago, de acuerdo a sus características morfológicas e hidrodinámicas.

A continuación se describen las fórmulas que se emplearán en los cálculos para el Balance de Fósforo y Nitrógeno del lago Villarrica.

a) L_N = Carga natural de fósforo de los afluentes:

$$LN = (Q_1 * [P]_1 + Q_2 * [P]_2 + \dots) / A_o = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

Q = flujo de agua del efluente en m^3/s . Se calcula el volúmen anual del efluente en m^3

$[P]$ = P_{total} en $\mu\text{g}/\text{l}$, en este flujo de agua.

A_o = área del lago en km^2 .

b) L_N = Carga natural de nitrógeno de los afluentes:

$$LN = (Q_1 * [TN]_1 + Q_2 * [TN]_2 + \dots) / A_o = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

$$TN = DIN + TON$$

TN : nitrógeno total

DIN : nitrógeno inorgánico disuelto.

TON : nitrógeno orgánico total.

c) Concentración de Fósforo (P) o Nitrógeno (N) en el lago:

$$N \text{ ó } P = (L_N * (1 - R)) / (z * f) = \text{mg/m}^3$$

donde:

N = carga de N_{total} en el lago.

P = carga de P_{total} en el lago.

L_N = carga natural de P ó N desde el afluente.

f = capacidad de renovación anual. Se calcula de la renovación total del lago, es decir de 2.3 años, el valor de f equivale sólo al factor correspondiente a un año ($1 \text{ año} / 2.3 \text{ años} = 0.4$). Es decir, en el caso de este ejemplo el lago con una renovación total de 2.3 años se renueva en un 40% en un año.

τ_w = renovación total. Se estima este valor de acuerdo al agua que ingresa en la cuenca del lago o el agua que sale de la cuenca dividida por el volumen del lago. No se obtiene, por lo general, la información de toda el agua que ingresa por eso se usan los antecedentes del cauce del efluente principal. El valor es aproximado.

z = profundidad media.

R = retención equivalente a sedimentación, y se calcula por:

$$R = (1) / (1 + (1 / \sqrt{\tau_w}))$$

* Balance:

Ingreso de P ó N, concentración de P ó N en el lago, retención o pérdida por el efluente. Estos cálculos se proyectaron mensual y anualmente.

*** Concentración de P y N en el período:**

Se calcula la concentración de fósforo o nitrógeno de acuerdo a las actuales concentraciones que se han medido en el lago (bahías y centro del lago). Se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = ([P \text{ ó } N \text{ lago}] * z * f) / (1 - R) = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

L = carga actual de P ó N en el lago.

Se establece la diferencia entre la carga del lago por los afluentes medidos y la carga que debería tener de acuerdo a sus concentraciones.

*** Carga crítica:**

Es la carga máxima que debe tener el lago para mantener su estado oligotrófico.

Se calcula según la fórmula de Vollenweider (1976):

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

Esta fórmula fue obtenida en un alto número de lago, del tipo oligotrófico, del hemisferio norte basados en el relativo tiempo de residencia del fósforo en el lago como una función de tiempo de residencia del agua en la cuenca. El tiempo de residencia del fósforo se debe considerar como una función de su sedimentación en el lago. Las condiciones semejantes de nuestros lagos con los de origen glacial del hemisferio norte permite aplicar esta fórmula. Su aplicación está limitada a que el fósforo controle la producción biológica del lago y que se conozca su valor medio anual.

*** Aporte antropogénico:**

Se calcula teóricamente el aporte en N ó P de la población que rodea al lago de acuerdo a la encuesta realizada.

2.6.- Contaminación:

En cada análisis se determinó si las mediciones o concentraciones se excedían a un rango que se estima óptimo para aguas continentales. Los valores que se presentan en la Tabla 2 y 3 son un resumen de la información aportada por varios autores y organismos extranjeros. En ella se indica la clasificación de un lago o río de acuerdo a las concentraciones de fósforo y nitrógeno, según Wetzel (1983).

TABLA 2: Rangos de la calidad de agua natural. El límite inferior lo nominamos bajo. El límite superior, alto, el cual revela deterioro de **la calidad del agua** (Wetzel, 1988).

* Temperatura	: < 20° C
* Color (unid. Pt-Co)	: 0 - 10 : bajo 11 - 30 : alto (máx. = 550)
* Turbidez	: 0 - 5 : bajo 5 - 10 : alto (máx. = 100)
* pH	: 7 - 6.5
* Conductividad	: 0 - 60 μ S : bueno 60 - 90 μ S : intermedio > 100 μ S : alto
* DQO	: 0 - 20 mg/l : bajo 20 - 30 mg/l : intermedio 30 - 40 mg/l : alto
* PO₄ - P	: < 10 μ g/l : bajo > 10 μ g/l : alto
* P_{total}	: < 30 μ g/l : bajo > 30 μ g/l : alto
* NO₃	: 0 - 1000 μ g/l : bajo > 1000 μ g/l : alto
* NO₃ - N	: 47 - 256 μ g/l : bajo > 256 μ g/l : alto
* NO₂ - N	: 0 - 2 μ g/l : bajo 2 - 5 μ g/l : intermedio 5 - 10 μ g/l : alto
* NH₃ - N	: 0 - 5 μ g/l : bajo 5 - 10 μ g/l : alto
* NH₄ - N	: 0 - 5 μ g/l : bajo 5 - 90 μ g/l : alto
* N orgánico	: < 200 μ g/l : bajo > 200 μ g/l : alto.

TABLA 3: Rangos de fósforo y nitrógeno de los tipos de lagos clasificados según su trofía, Wetzel (1983).

* P_{total} ($\mu g/l$)	: < 5	: ultra - oligotrófico
	5 - 10	: oligo - mesotrófico
	10 - 30	: meso - eutrófico
	30 - 100	: eutrófico
	> 100	: hiper - eutrófico

* N_{total} ($\mu g/l$)	: < 200	: ultra - oligotrófico
	200 - 400	: oligo - mesotrófico
	400 - 500	: meso - eutrófico
	500 - 1500	: eutrófico
	> 1500	: hiper - eutrófico.

3.- DESCRIPCION DEL ESTUDIO

3.1.- Investigación en los afluentes del lago Villarrica.

Se investigaron 27 afluentes del lago Villarrica (Fig.5). En cada afluente se determinó parámetros morfométricos, físicos y químicos. Los muestreos fueron bimensuales, en total seis muestreos. En los parámetros morfométricos se midió el área de la sección, velocidad y caudal.

En los parámetros físicos se midió la temperatura, color, turbidez, transparencia y luz.

En los parámetros químicos se midieron: pH, conductividad, demanda química de oxígeno, fósforo soluble, fósforo total, nitrato, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, amoníaco, nitrógeno de amoníaco y nitrógeno orgánico. En los compuestos nitrogenados están los valores de DIN (nitrógeno orgánico disuelto), TON (nitrógeno orgánico total) y TN (nitrógeno total).

A continuación se encuentra un protocolo de cada afluente que contiene los cuadros con los parámetros morfométricos físicos y químicos y el cálculo de promedios totales y sus rangos.

Se entrega en las tablas los valores de carga de nutrientes en el lago (L_N). Esta medida se calcula por la multiplicación del nutriente con el caudal del afluente y dividido por el área del lago. Se obtiene concentraciones mensuales para lo cual se proyecta el caudal al año, de acuerdo a los valores obtenidos en el mes y promediados en los meses intermedios.

En cada protocolo se coloca una evaluación del nivel de contaminación o de trofia del río o emisario. Los rangos para cada parámetro están indicados en el capítulo de metodología (Tabla 3). La calificación corresponde a:

- * **A** : por sobre los niveles de agua limpia, es decir con contaminación.
- * **B** : dentro de los rangos de agua limpia.
- * **M** : desplazado a aguas limpias.
- * **I** : valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.
- * **N** : calidad negativa del parámetro, es decir contaminante.
- * **P** : calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

A continuación se presenta un diagnóstico de la calidad de agua de cada afluente:

* **ARROYO ALEMAN.** Ubicación se encuentra en la Fig.5.

Su caudal registra un amplio rango entre 0.2 y 117 m³/s (Tabla 4). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos se refleja una calidad de agua negativa (Tabla 4).

Las concentraciones de P total muestran un aumento en pleno invierno, es decir en Junio, y sin mayores variaciones en los otros meses. El fósforo soluble no muestra grandes variaciones a través del año a excepción de mes de Abril donde su concentración aparece baja (Fig.6).

La concentración de nitrato mostró un alto aumento en el mes de Abril, disminuyendo gradualmente a 100 ug/l en el verano. Una tendencia semejante se observa en las concentraciones de nitrógeno de nitrato, nitrógeno de amonio y nitrógeno orgánico (Fig. 6).

TABLA 4: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Alemán, Lago Villarrica.

ARROYO ALEMAN	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)			0.7	0.6	0.8	1.1	0.8
Area (m ²)			0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Velocidad (m/s)			1.0	0.9	0.6	0.5	0.8
Caudal (l/s)	15.0	200.0	70.0	53.0	96.0	117.0	91.8
T° del agua (°C)	15.5	14.0	9.8	9.5	14.0	14.6	12.9
Color		32.5	130.0	240.0	77.5	105.0	117.0
Turbidez (mg/l)		2.5	5.0	9.0	4.0	5.0	5.1
pH	6.6	6.2	6.7	6.4	7.1	7.4	6.7
Conductividad (uS)	90.0	216.0	120.0	128.0	112.0	101.0	127.8
DQO (mg/l)	24.8	15.2		14.2	5.2	7.3	13.3
PO4 - P (ug/l)	75.1	19.0	81.0	74.9	86.6	83.1	70.0
P total (ug/l)	267.5	254.2	508.3	283.7	138.0	174.0	271.0
NH3 - N (ug/l)	4.3	110.1	179.7	126.9	65.8	63.5	91.7
NH4 (ug/l)	5.5	142.0	231.8	163.7	84.9	81.9	118.3
NO3 (ug/l)	907.7	15575.7	7085.1	6633.2	3537.2	2881.3	6103.4
NO3 - N (ug/l)	204.9	3493.4	1599.3	1497.3	798.5	650.4	1374.0
NO2 - N (ug/l)	2.4	30.5	14.8	20.8	11.6	14.3	15.7
N orgánico (ug/l)	187.6	45.1	350.7	181.5	164.9	61.8	165.3
N total (ug/l)	394.9	3569.0	1964.8	1699.6	975.0	726.5	1555.0
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	A	A	N
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	A	A	A	A	N
pH	B	A	A	A	A	A	N
Conductividad	I	B		B	B	B	P
DQO	I	A	A	A	A	A	N
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
NO3	B	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	A	A	A	A	A	N
NO2 - N	B	A	A	A	A	A	N
N orgánico	A	B	A	A	A	A	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

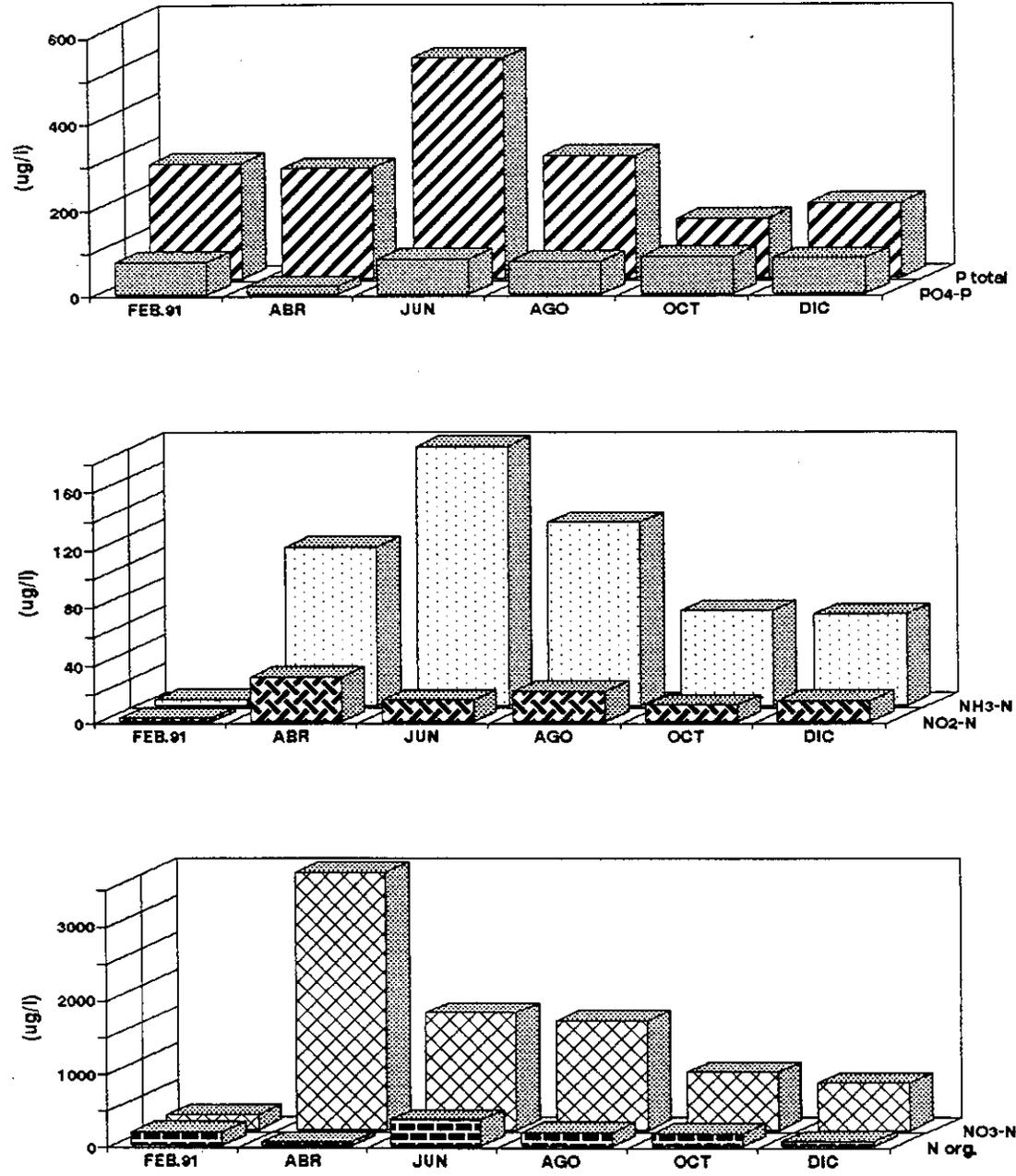


Figura 6: Concentración de nutrientes (P total, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Alemán, Lago Villarrica.

* **ESTERO LUCAS.** Ubicación se encuentra en la Fig.5.

Su caudal registra un rango pequeño entre 0.24 a 0.50 m³/s (Tabla 5). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos en general presenta un aumento de los factores negativos (Tabla 5).

La concentración de fósforo total presenta un aumento en invierno (Junio y Agosto) con una disminución hacia el verano. Con respecto al fósforo soluble el mayor aumento fue durante otoño (Abril), notándose una leve disminución hacia los meses de primavera y muy bajo en el verano (Fig.7).

En las concentraciones de nitrógeno de nitrato presentan un destacado aumento en los meses de invierno con una disminución hacia el verano donde hay una mínima concentración. El nitrógeno de nitrito no presenta una relación semejante al nitrógeno de nitrato, sino que, tiene mínima concentración en invierno (junio) manteniéndose valores altos en el otoño hasta diciembre. Sin embargo, se presenta escasa concentración en el mes de febrero. El nitrógeno de amoníaco presenta un aumento en otoño pero también en invierno (agosto). En los otros meses baja la concentración con un mínimo en febrero. El nitrógeno orgánico tiene su mayor aumento en invierno y una mínima concentración en verano (Fig.7).

TABLA 5: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Lucas, Lago Villarrica.

ESTERO LUCAS	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	4.0	2.6	3.0	3.0	4.5	5.0	3.7
Area (m)	0.4	0.7	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5
Velocidad (m/s)	0.9	0.6	0.8	1.0	0.5	0.8	0.8
Caudal (l/s)	367.0	370.0	240.0	500.0	288.0	400.0	360.8
T° del agua (°C)	12.5	11.4	10.3	9.8	12.4	13.0	11.6
Color		32.5	387.5	295.1	87.5	37.5	168.0
Turbidez (mg/l)		2.5	16.0	11.0	4.0	25.0	11.7
pH	6.3	6.8	6.8	6.7	6.9	7.0	6.8
Conductividad (uS)	78.0	92.5	108.0	98.8	98.0	90.0	94.2
DQO (mg/l)	6.9	5.5	49.1	26.7	2.2	6.9	16.2
PO4 - P (ug/l)	1.8	84.8	71.4	45.4	57.6	56.1	52.9
P total (ug/l)	22.4	212.8	281.6	282.5	182.3	129.0	185.1
NH3 - N (ug/l)	11.3	156.1	79.9	170.1	102.1	89.1	101.4
NH4 (ug/l)	14.6	201.4	103.0	219.4	131.7	114.9	130.8
NO3 (ug/l)	51.9	3032.7	5167.7	5019.6	3786.5	3196.1	3375.8
NO3 - N (ug/l)	11.7	684.6	1166.5	1133.1	854.7	721.5	762.0
NO2 - N (ug/l)	0.3	19.6	2.5	14.2	15.7	21.2	12.3
N orgánico (ug/l)	47.6	477.6	597.7	446.7	108.3	78.6	292.8
N total (ug/l)	59.6	1181.8	1766.7	1594.0	978.7	821.3	1067.0
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color	A	A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	A	A	B	A	N
pH	A	M	M	M	M	B	P
Conductividad	A	A	A	A	A	A	N
DQO	B	B	A	A	B	B	N
PO4 - P	B	A	A	A	A	A	N
P total	B	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	A	A	A	A	A	N
NO3	B	A	A	A	A	A	N
NO2 - N	B	A	A	A	A	A	N
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	B	A	A	A	B	B	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

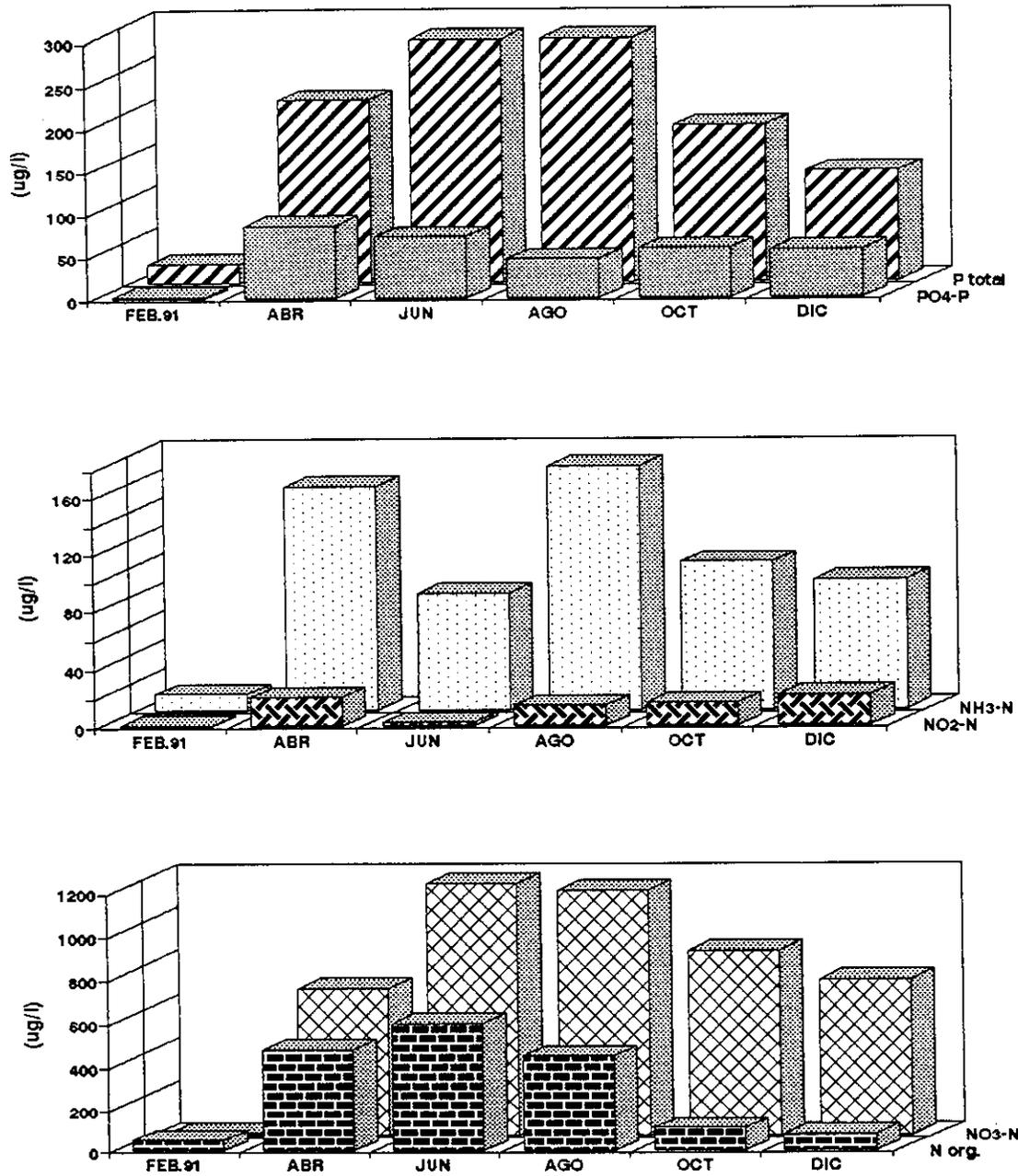


Figura 7: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Lucas, Lago Villarrica.

* **CANAL DEL MEDIO.** Ubicación en la Fig.5

Su caudal registra un rango entre 0.01 a 0.39 m³/s lo que revela poca variación durante el año (Tabla 6). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos en general presenta una calidad negativa de sus aguas en la mayoría de ellos (Tabla 6).

Las concentraciones de fósforo total presentan un gran aumento en el mes de diciembre, pero el resto del año estas concentraciones se mantienen bajas. Las concentraciones de fósforo soluble presentan la misma tendencia del fósforo total con aumento en diciembre y bajas concentraciones hasta febrero (Fig.8).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato son altas y presentan un aumento en pleno invierno (agosto) con una mínima en verano (febrero). Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentaron sus mayores concentraciones en el otoño (abril) que disminuyen hacia el verano con una mínima en febrero. Curiosamente en el mes de junio también se registró una mínima. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco presentaron un aumento en diciembre los mismo que las concentraciones de nitrógeno orgánico. En ambos casos las concentraciones fueron mínimas en el mes de febrero y disminuyeron en los otros meses del año (Fig.8).

TABLA 6: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Canal del Medio, lago Villarrica.

CANAL DEL MEDIO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		0.6	0.8	2.0	1.5	0.7	1.1
Area (m)		0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2
Velocidad (m/s)		0.5	0.5	1.3	0.5	0.5	0.7
Caudal (l/s)	10.0	45.0	40.0	310.0	108.0	56.0	94.8
Tº del agua (°C)	14.0	13.6	10.6	9.4	15.0	15.4	13.0
Color		100.0	475.0	167.5	175.0	335.0	250.5
Turbidez (mg/l)		4.0	40.0	7.0	7.0	14.0	14.4
pH	6.2	7.0	6.9	6.8	7.1	6.7	6.8
Conductividad (uS)	60.7	224.0	195.0	181.0	241.0	422.0	220.6
DQO (mg/l)	5.5	62.1	76.7	14.2	3.9	81.4	40.6
PO4 - P (ug/l)	3.1	31.9	72.0	40.5	72.7	639.6	143.3
P total (ug/l)	81.0	96.0	269.5	234.9	244.5	1627.2	425.5
NH3 - N (ug/l)	10.3	255.2	133.1	408.2	997.6	6450.6	1375.8
NH4 (ug/l)	13.3	329.2	171.7	526.6	1286.9	8321.3	1774.8
NO3 (ug/l)	51.9	8105.0	8060.2	11749.5	3471.6	1097.1	5422.6
NO3 - N (ug/l)	11.7	1829.6	1819.5	2652.3	783.7	247.7	1224.1
NO2 - N (ug/l)	0.5	83.8	7.1	67.7	27.4	4.8	31.9
N orgánico (ug/l)	65.1	236.4	1284.2	1040.2	397.2	3264.3	1047.9
N total (ug/l)	77.3	2149.8	3110.8	3760.2	1208.3	3516.8	2303.9
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	M	M	M	M	M	M	N
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	A	A	A	A	N
pH	A	B	B	B	B	B	P
Conductividad	B	A	A	A	A	A	N
DQO	B	A	A	I	B	A	N
PO4 - P	B	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	A	A	A	A	A	N
NO3	B	A	A	A	A	A	N
NO2 - N	B	A	A	A	A	A	N
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	B	A	A	A	A	A	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

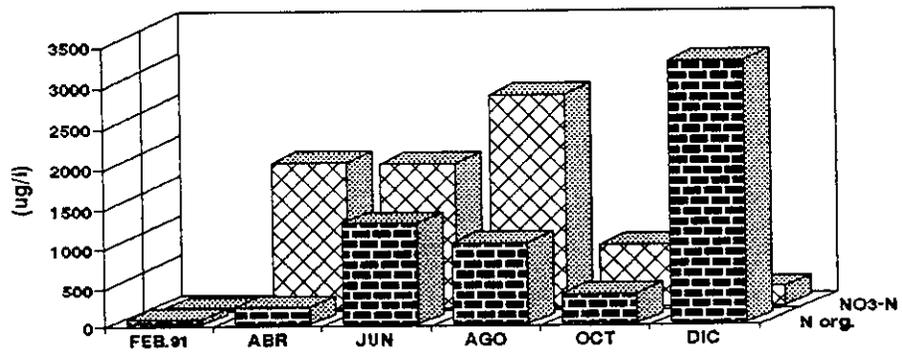
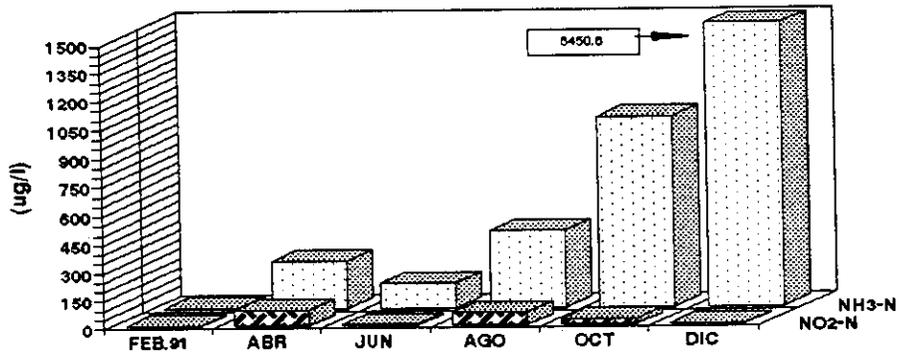
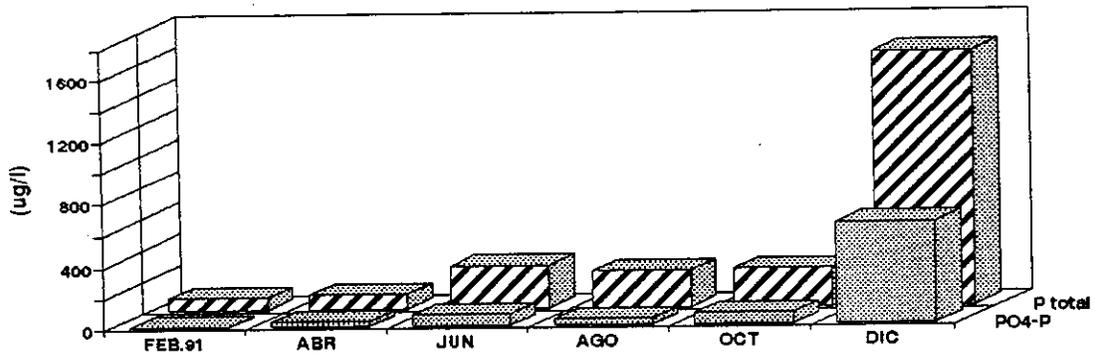


Figura 8: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Canal del Medio, Lago Villarrica.

* **ESTERO PUCARA.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registró un margen de 0.9 a 2 m³/s (Tabla 7). Los factores físicos y químicos revelan en general condiciones negativas para la calidad de sus aguas (Tabla 7).

Las concentraciones de fósforo total revelaron ser parejas durante todo el año. Lo mismo sucede con el fósforo soluble (Fig.9)

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato mostraron sus mayores aumentos durante invierno y también el mes de febrero disminuyendo en la primavera. En el caso del nitrógeno de nitrito y nitrógeno de amoníaco se presentó un gran aumento en el mes de febrero y disminución en los otros meses. El nitrógeno orgánico presentó, contrariamente al caso anterior, mayor aumento en invierno (junio) disminuyendo en los otros meses (Fig.9).

TABLA 7: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Pucará, Lago Villarrica.

ESTERO PUCARA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	4.0	2.7	2.0	3.2	3.0	3.0	3.0
Area (m)	1.0	0.9	1.6	1.0	1.1	0.9	1.1
Velocidad (m/s)	1.9	1.4	1.4	1.2	1.1	1.0	1.3
Caudal (l/s)	395.0	1260.0	2240.0	1188.0	1210.0	900.0	1198.8
T° del agua (°C)	9.3	9.4	9.2	8.9	10.7	10.6	9.7
Color		14.0	45.0	70.0	37.5	45.0	42.3
Turbidez (mg/l)		2.5	3.0	4.0	2.5	3.0	3.0
pH	7.3	7.3	7.0	6.7	7.1	6.7	7.0
Conductividad (uS)	55.2	55.6	57.8	60.2	93.2	62.1	64.0
DQO (mg/l)	20.7	18.3	16.4	6.9	2.6	5.2	11.7
PO4 - P (ug/l)	52.4	34.1	25.5	28.3	39.0	34.4	35.6
P total (ug/l)	108.4	75.3	76.9	93.3	78.1	97.3	88.2
NH3 - N (ug/l)	77.8	7.1	2.9	8.5	9.3	4.4	18.3
NH4 (ug/l)	100.4	9.2	3.7	11.0	12.0	5.7	23.7
NO3 (ug/l)	1022.4	564.5	1037.0	1136.5	336.3	310.0	734.5
NO3 - N (ug/l)	230.8	127.4	234.1	256.5	75.9	70.0	165.8
NO2 - N (ug/l)	6.6	0.0	0.1	1.7	0.8	0.7	1.7
N orgánico (ug/l)	122.0	53.4	204.1	70.7	83.2	49.3	97.1
N total (ug/l)	359.4	180.8	438.3	328.9	159.9	120.0	264.6
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	B	B	B	B	I	B	P
DQO	A	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	A	B	B	A	B	B	N
NO3	A	B	A	A	B	B	N
NO2 - N	A		B	B	B	B	N
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	B	B	A	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

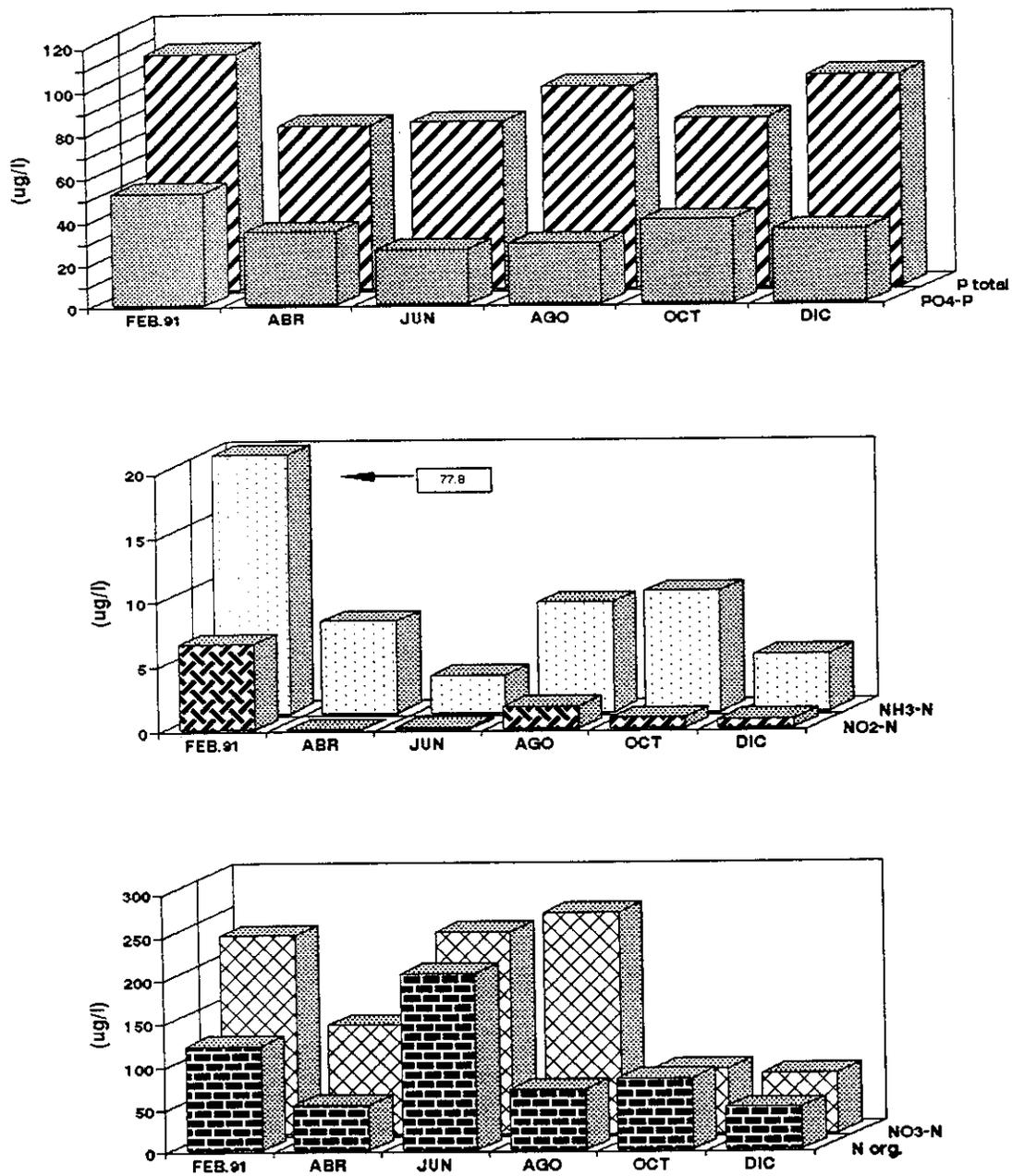


Figura 9: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Pucará, Lago Villarrica.

*** ARROYO PARQUE DEL LAGO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra un amplio rango entre 0.01 a 2.8 m³/s (Tabla 8). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos, la calidad del agua en general, es negativa (Tabla 8).

La concentración de fósforo total presentó un aumento en el mes de febrero y disminución en los otros meses. La misma situación se observa en el fósforo soluble (Fig.10).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato también registran un aumento en febrero manteniéndose con pocas variaciones el resto del año. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presenta una gran aumento en febrero y una baja concentración el resto del año. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco junto con las de nitrógeno orgánico siguen las tendencias anteriores mostrando un aumento en el mes de febrero y menores concentraciones el resto del año (Fig.10).

TABLA 8: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Parque del Lago, Lago Villarrica.

PARQUE DEL LAGO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		1.5	3.0	3.3	4.5	3.0	3.1
Area (m)		0.5	1.1	0.9	1.2	0.7	0.9
Velocidad (m/s)		0.5	0.5	0.3	1.0	0.4	0.5
Caudal (l/s)	10.0	284.0	525.0	270.0	1140.0	280.0	418.2
Tº del agua (°C)	12.7	12.3	10.6	9.3	10.2	14.4	11.6
Color		42.5	29.0	45.0	37.5	52.5	41.3
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	2.7
pH	6.9	7.5		6.8	5.8	6.7	6.7
Conductividad (uS)	63.6	68.0	53.2	54.1	67.0	75.4	63.6
DQO (mg/l)	30.3	19.3	3.9	3.0	1.7	27.6	14.3
PO4 - P (ug/l)	75.9	5.6	2.5	4.1	11.5	8.3	18.0
P total (ug/l)	178.1	26.5	17.8	24.4	20.3	43.3	51.7
NH3 - N (ug/l)	1016.0	15.1	14.3	6.0	3.4	5.3	176.7
NH4 (ug/l)	1310.6	19.5	18.4	7.7	4.4	6.8	227.9
NO3 (ug/l)	2328.2	1062.7	1135.7	1320.0	1070.9	690.5	1268.0
NO3 - N (ug/l)	525.6	239.9	256.4	298.0	241.7	155.9	286.3
NO2 - N (ug/l)	53.4	1.4	0.9	1.2	1.2	1.8	10.0
N orgánico (ug/l)	419.5	153.2	166.5	62.8	51.8	116.2	161.7
N total (ug/l)	998.5	394.5	423.8	362.0	294.7	273.9	457.9
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	M	M	M	M	M	M	N
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	A		M	A	M	N
Conductividad	I	I	B	B	I	I	P
DQO	A	I	B	B	B	I	P
PO4 - P	A	B	B	B	A	B	N
P total	A	I	B	I	B	A	N
NO3 - N	A	A	A	A	A	I	N
NO3	A	A	A	A	A	I	N
NO2 - N	A	B	B	B	B	B	N
NH3 - N	A	A	A	A	B	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	A	I	I	B	B	I	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

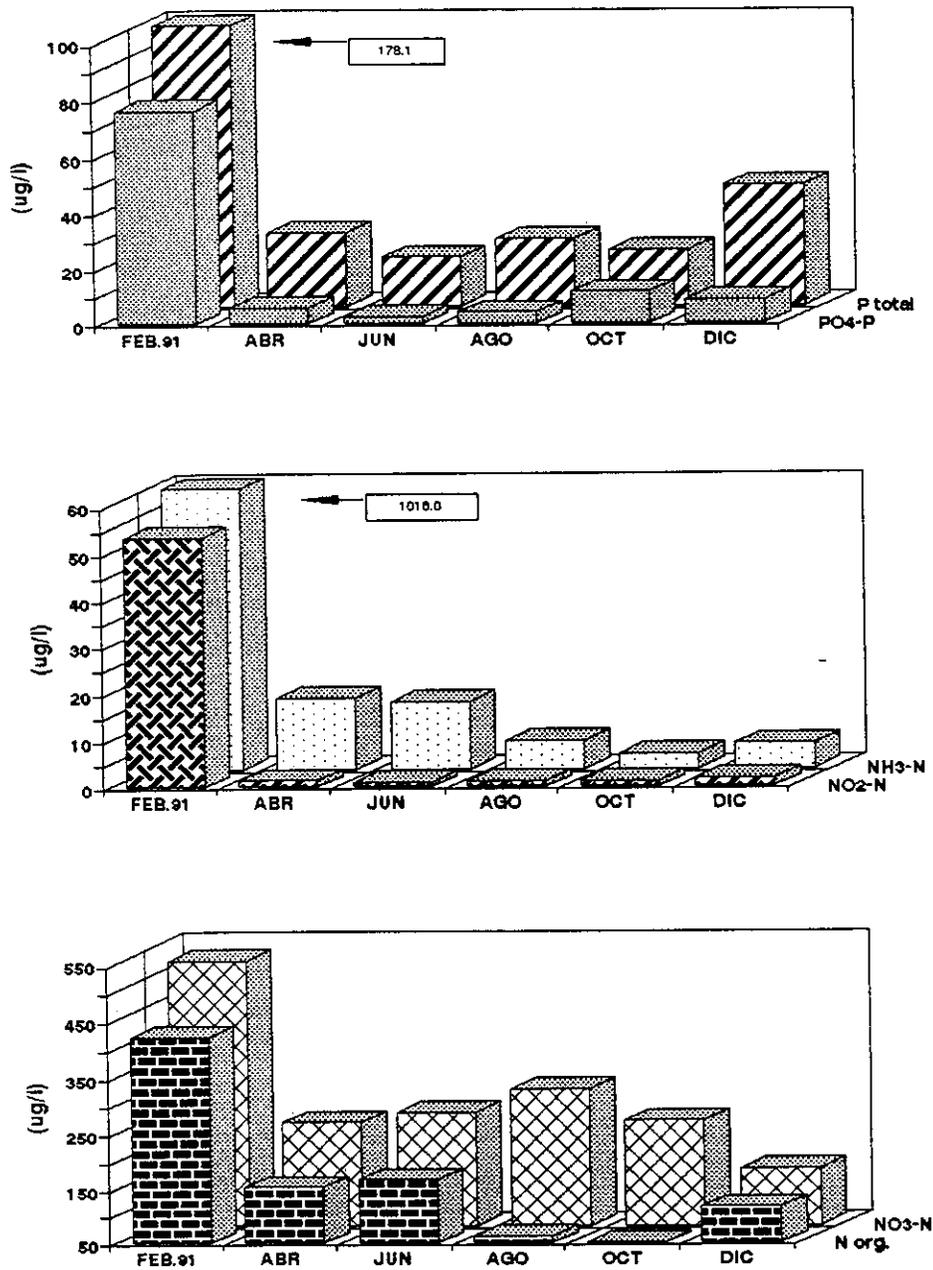


Figura 10: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Parque del Lago, Lago Villarrica.

* **ARROYO LORENA.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registró un amplio rango entre 0.36 a 2.2 m³/s (Tabla 9). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos este arroyo presenta un predominio de factores negativos en su calidad de agua (Tabla 9).

De acuerdo a las concentraciones de fósforo total se observa un aumento en el mes de febrero que disminuye hasta el invierno manteniéndose constante en las primavera. El fósforo soluble sin embargo muestra mayor aumento en abril y también una disminución en invierno (Fig.11).

La concentración de nitrógeno de nitrato presenta un aumento en invierno (agosto) y una pequeña concentración en el mes de febrero. La concentración de nitrógeno de nitrito presenta sus mayores aumentos en primavera, octubre diciembre, con mínimas en otoño. Las mayores concentraciones de nitrógeno de amoníaco se presentan en febrero a semejanza de las concentraciones del nitrógeno de nitrato y una mínima en invierno (junio). El nitrógeno orgánico presenta sus mayores concentraciones en el mes de junio y la mínima en verano (febrero) (Fig.11).

TABLA 9: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Lorena, Lago Villarrica.

ARROYO LORENA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	3.0	1.5	7.0	2.5	3.3	3.0	3.4
Area (m)	0.3	0.6	2.2	1.0	0.8	0.9	1.0
Velocidad (m/s)	1.2	1.0	1.0	0.5	0.8	0.7	0.9
Caudal (l/s)	360.0	645.0	2200.0	513.0	657.0	630.0	834.2
T° del agua (°C)	11.1	11.3	10.6	9.9	10.5	12.6	11.0
Color		17.5	29.0	52.5	14.0	50.0	32.6
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	3.0	2.5	3.0	2.7
pH	7.3	7.3	7.2	6.8	6.5	6.4	6.9
Conductividad (uS)	85.3	82.3	69.3	70.2	82.1	88.1	79.6
DQO (mg/l)	104.8	30.3	16.8	3.9	3.0	50.8	34.9
PO4 - P (ug/l)	36.5	42.5	20.6	19.9	35.4	36.8	32.0
P total (ug/l)	158.5	106.0	50.8	69.4	68.7	68.0	86.9
NH3 - N (ug/l)	37.6	21.4	1.0	3.4	8.4	15.0	14.5
NH4 (ug/l)	48.5	27.6	1.2	4.4	10.8	19.4	18.7
NO3 (ug/l)	228.3	1538.2	2417.6	2841.9	2540.2	2133.5	1950.0
NO3 - N (ug/l)	51.5	347.2	545.7	641.5	573.4	481.6	440.2
NO2 - N (ug/l)	0.6	0.1	0.2	0.5	0.9	0.9	0.5
N orgánico (ug/l)	47.6	144.9	254.4	66.8	128.8	179.0	136.9
N total (ug/l)	99.7	492.2	800.3	708.8	703.1	661.5	577.6
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color	A	A	A	A	A	A	N
Turbidez	B	B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	A	A	P
Conductividad	I	I	I	I	I	I	P
DQO	A	A	I	I	A	A	N
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NH3 - N	B	A	A	A	A	A	N
NH4	B	A	A	A	A	A	N
NO3	B	B	B	B	B	B	N
NO3 - N	A	A	B	B	A	A	N
NO2 - N	A	A	B	B	A	A	N
N orgánico	B	B	A	B	B	B	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

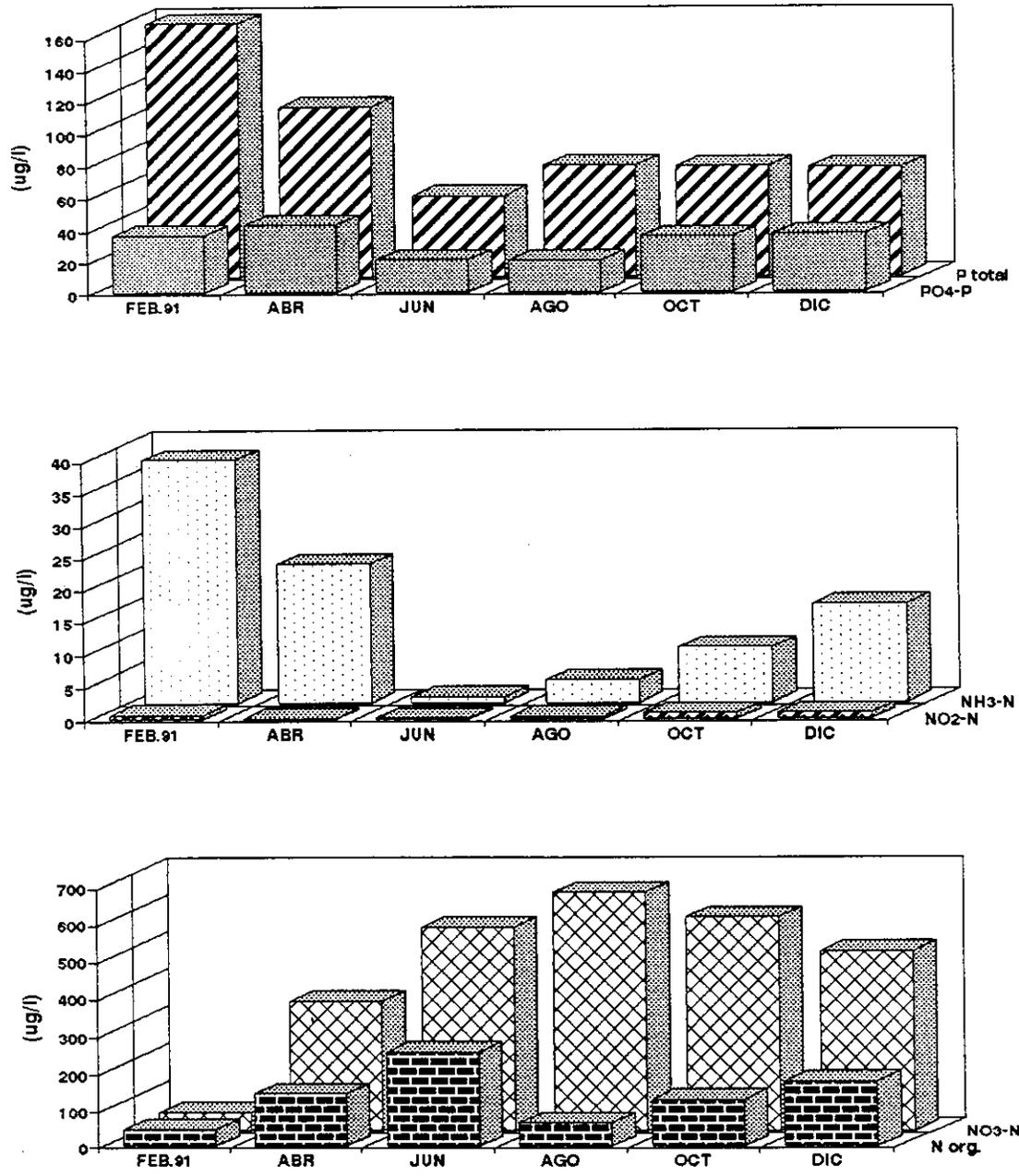


Figura 11: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Lorena, Lago Villarrica.

* **RIO HUICHATIO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra un rango entre 0.26 m³/s (Tabla 10). De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos sus aguas presentan algunos parámetros negativos pero también algunos positivos (Tabla 10).

La concentración máxima de fósforo total se registró en invierno (agosto), sin grandes variaciones en los otros meses. El fósforo soluble presentó las máximas concentraciones en los meses de abril y octubre, las mínimas se registraron en el verano (abril) (Fig.12).

La concentración de nitrógeno de nitrato tuvo un aumento en el invierno (agosto) y una mínima concentración en el mes de diciembre. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentan sus valores máximos tanto en verano (febrero) como en primavera en los meses de octubre y diciembre; su mínima la presenta en el invierno (junio). Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco por su parte, presentan su mayor aumento en otoño (abril) y su mínima en los meses de junio a diciembre. El nitrógeno orgánico tuvo un aumento importante en los meses de verano, febrero; y las mínimas en otoño (Fig.12).

TABLA 10: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Huichatío, Lago Villarrica.

RIO HUICHATIO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	2.8	4.1	4.0	5.5	4.8	6.0	4.5
Area (m ²)	0.4	2.0	0.8	1.8	1.3	0.9	1.2
Velocidad (m/s)	0.6	0.5	1.3	1.0	1.1	0.7	0.9
Caudal (l/s)	261.0	1100.0	975.0	1710.0	1478.0	490.0	1002.3
T° del agua (°C)	13.9	11.7	10.0	9.1	11.8	13.0	11.6
Color		5.0	20.0	25.0	5.0	37.5	18.5
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.6	7.4	7.2	6.9	6.6	6.7	7.1
Conductividad (uS)	70.0	71.2	71.4	68.3	77.0	79.2	72.9
DQO (mg/l)	22.1	5.5	15.1	3.9	2.2	3.9	8.8
PO4 - P (ug/l)	12.0	36.5	25.9	25.6	39.6	33.1	28.8
P total (ug/l)	60.4	48.7	69.9	143.6	83.0	68.2	79.0
NH3 - N (ug/l)	12.2	34.9	1.0	2.6	1.7	2.7	9.2
NH4 (ug/l)	15.7	45.0	1.2	3.4	2.2	3.5	11.8
NO3 (ug/l)	369.5	119.3	1113.7	1608.8	664.2	192.0	677.9
NO3 - N (ug/l)	83.4	252.7	251.4	363.2	149.9	43.3	190.7
NO2 - N (ug/l)	0.8	0.0	0.1	0.3	0.7	0.8	0.5
N orgánico (ug/l)	108.2	16.0	74.4	31.2	66.0	57.6	58.9
N total (ug/l)	192.4	268.7	325.9	394.7	216.6	101.7	250.0
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	A	A	B	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I	I	I	P
DQO	I	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	A	B	B	P
NO3	B	B	A	A	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	B	N
NH4	A	A	B	B	B	B	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

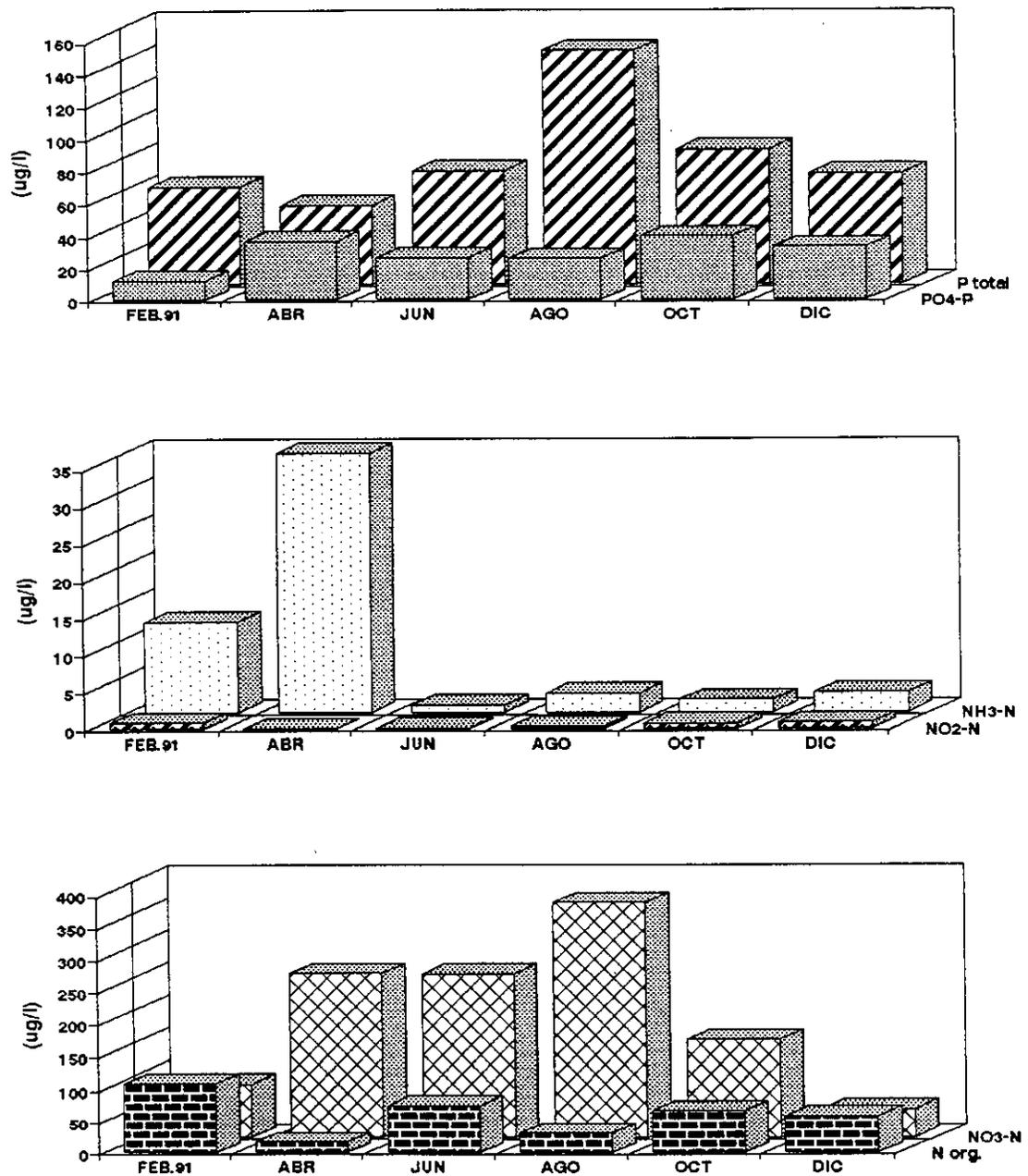


Figura 12:

Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y orgánico) en el Río Huichatío, Lago Villarrica.

*** ALCANTARILLA CHALET CAFE.** Ubicación en Fig.5

Se realizó una muestra solamente durante dos meses del año, dando valores generalmente negativos de sus concentraciones (Tabla 11).

TABLA 11: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua de alcantarilla chalet café, Lago Villarrica.

ALC. CHALET CAFE	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)							
Area (m)							
Velocidad (m/s)							
Caudal (l/s)							
T° del agua (°C)	12.7	11.0					25.0
Color		17.5					24.3
Turbidez (mg/l)		2.5					33.6
pH	7.3	6.8					60.8
Conductividad (uS)	69.8	72.3					65.0
DQO (mg/l)	6.9	11.0					58.1
PO4 - P (ug/l)	47.6	77.8					192.4
P total (ug/l)	150.4	158.3					210.6
NH3 - N (ug/l)	15.0	41.2					179.8
NH4 (ug/l)	19.4	53.1					203.0
NO3 (ug/l)	898.9	462.6					255.4
NO3 - N (ug/l)	202.9	104.4					149.0
NO2 - N (ug/l)	0.5	0.0					110.6
N orgánico (ug/l)	218.2	70.0					126.3
N total (ug/l)	421.6	174.4					99.3
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	B	B					P
Color		A					N
Turbidez		B					P
pH	B	B					P
Conductividad	I	I					N
DQO	B	B					P
PO4 - P	A	A					N
P total	A	A					N
NO3 - N	A	A					N
NO3	A	A					N
NO2 - N	B	B					P
NH3 - N	A	A					N
NH4	A	A					N
N orgánico	A	A					N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

*** RIO MOLCO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal presenta un rango entre 1.7 a 3.2 m³/s (Tabla 12). La calidad de sus aguas en general, presenta un predominio de los factores positivos sobre los negativos, de acuerdo a los parámetros físicos y químicos (Tabla 12).

Las concentraciones de fósforo total presentaron un aumento en verano y otro en invierno. En el caso del fósforo soluble se observa que también se produjo un aumento en verano (febrero) y otro en primavera (octubre) (Fig.13).

El nitrógeno de nitrato presenta sus concentraciones más altas en invierno (junio) y la mínima en verano (febrero). Sin embargo, las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentaron la máxima en primavera (octubre) y la mínima en invierno (junio). En el caso del nitrógeno de amoniacal, las concentraciones altas fueron en otoño (abril) y bajas en los otros meses. El nitrógeno orgánico mantuvo altas sus concentraciones en el mes de febrero en pleno verano y también en primavera (octubre)(Fig.13).

TABLA 12: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Molco, Lago Villarrica.

RIO MOLCO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	3.8	5.8	3.5	6.5	7.0	7.0	5.6
Area (m)	1.2	1.3	1.1	2.1	2.9	2.3	1.8
Velocidad (m/s)	1.5	1.1	1.8	1.4	1.1	0.9	1.3
Caudal (l/s)	1728.0	1397.0	1837.0	3039.0	3190.0	2025.0	2202.7
T° del agua (°C)	12.9	11.6	9.4	8.8	11.6	12.2	11.1
Color		2.5	14.0	17.5	5.0	14.0	10.6
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.5	7.5	7.3	7.1	7.0	7.2	7.3
Conductividad (uS)	68.0	67.5	66.1	66.2	71.0	72.1	68.5
DQO (mg/l)	5.5	17.9	14.6	2.6	0.0	26.7	11.2
PO4 - P (ug/l)	36.5	26.6	20.7	21.3	33.3	27.3	27.6
P total (ug/l)	134.3	41.6	62.4	96.9	62.6	65.8	77.3
NH3 - N (ug/l)	16.9	30.1	1.0	0.0	0.8	1.8	8.4
NH4 (ug/l)	21.8	38.8	1.2	0.0	1.0	2.3	10.9
NO3 (ug/l)	25.4	349.4	478.3	47.6	296.9	205.1	233.8
NO3 - N (ug/l)	5.7	78.9	108.0	10.8	67.0	46.3	52.8
NO2 - N (ug/l)	0.4	0.0	0.0	0.3	0.6	0.4	0.3
N orgánico (ug/l)	205.1	78.4	1.6	43.0	137.2	28.3	82.3
N total (ug/l)	211.2	157.3	109.6	54.1	204.8	75.0	135.3
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	A	A	B	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I	I	I	P
DQO	B	A	A	B	B	A	N
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	M	B	B	B	P
NO3	B	M	M	B	M	M	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	B	P
NH4	A	A	B	B	B	B	P
N orgánico	A	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

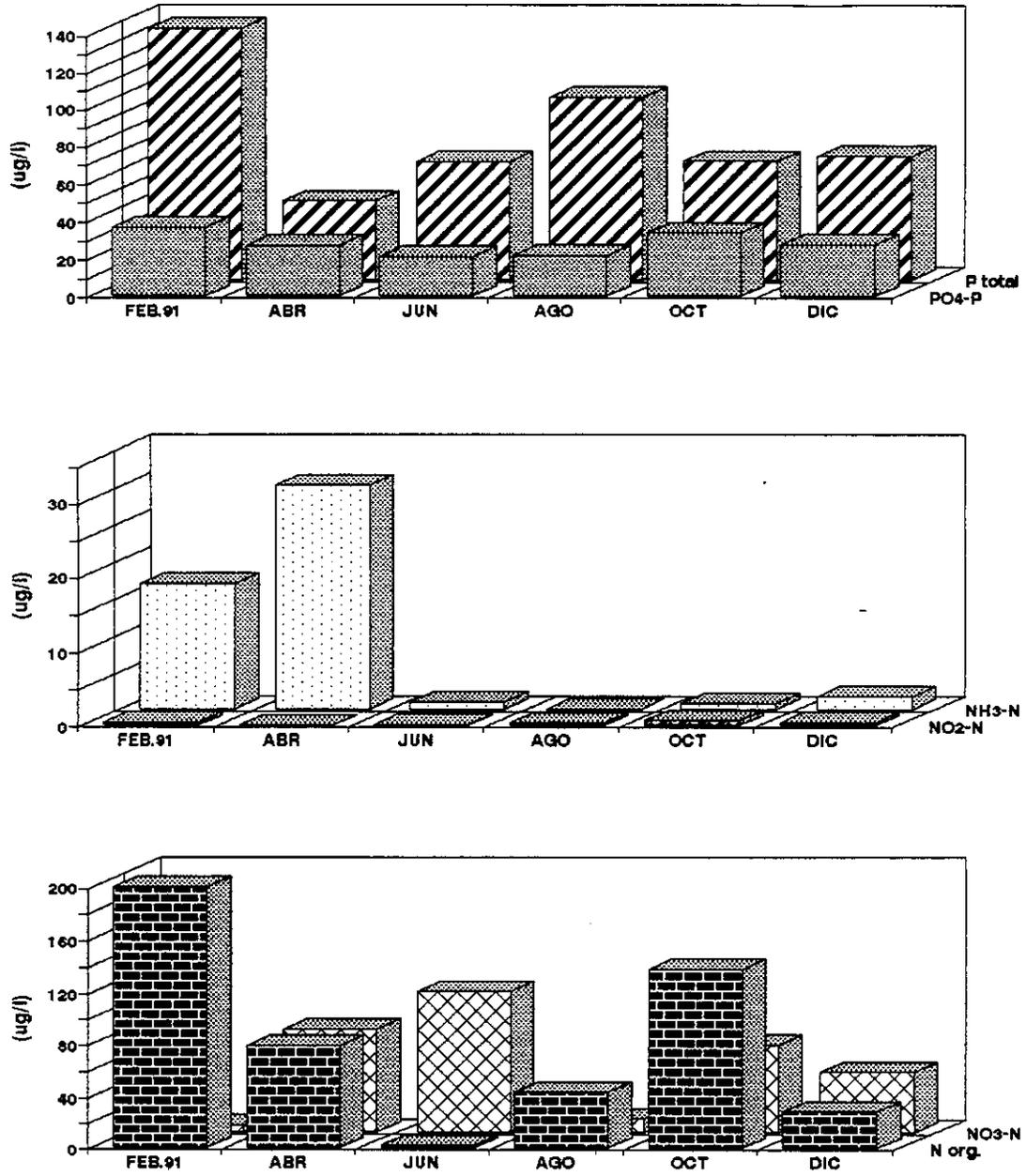


Figura 13: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Molco, Lago Villarrica.

* **ESTERO LONCOTRARO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal presenta un rango entre 0.8 a 2.8 m³/s (Tabla 13). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos este estero presenta condiciones tanto negativas como positivas de las calidad de sus aguas (Tabla 13).

Las concentraciones de fósforo total presentan un aumento en verano (febrero) siendo más menos parejo en el resto del año. El fósforo soluble también mantiene un aumento en el mes de febrero y algunas variaciones durante el año (Fig.14).

El nitrógeno de nitrato presentó un aumento en otoño (abril) manteniéndose parejo en el resto del año, a excepción del mes de febrero donde se produce una baja notable. En el mes de octubre, el nitrógeno de nitrito presenta un aumento y una baja concentración durante el invierno. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco son altas en el mes de febrero siendo bajas en el resto del año. En cambio, el nitrógeno orgánico presenta una concentración destacada en primavera (diciembre) y un segundo aumento en pleno invierno (junio) (Fig. 14).

TABLA 13: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Loncotrar, Lago Villarrica.

ESTERO LONCOTRAR	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	4.2	1.5	2.5	4.0	4.0	3.6	3.3
Area (m)	0.9	0.9	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2
Velocidad (m/s)	0.9	2.3	2.1	1.2	1.2	1.8	1.6
Caudal (l/s)	825.0	2070.0	2810.0	1440.0	1680.0	2340.0	1860.8
T° del agua (°C)	12.3	11.5	10.6	9.7	11.9	12.8	11.5
Color		14.0	2.5	37.5	42.5	17.5	22.8
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.2	7.4	7.4	7.1	7.0	7.3	7.2
Conductividad (uS)	79.1	74.8	73.7	65.3	80.2	84.2	76.2
DQO (mg/l)	12.4	6.9	18.5	9.9	3.5	3.5	9.1
PO4 - P (ug/l)	36.6	24.0	17.4	19.2	29.9	25.3	25.4
P total (ug/l)	162.8	61.7	58.0	57.5	59.7	41.1	73.5
NH3 - N (ug/l)	8.5	26.2	1.0	2.6	3.4	4.4	7.7
NH4 (ug/l)	11.0	33.8	1.3	3.4	4.4	5.7	9.9
NO3 (ug/l)	43.1	1300.5	982.3	1031.6	1084.0	861.0	883.8
NO3 - N (ug/l)	9.7	293.6	221.7	232.9	244.7	194.4	199.5
NO2 - N (ug/l)	0.6	0.0	0.1	0.3	0.7	0.5	0.4
N orgánico (ug/l)	25.7	0.0	70.2	7.4	28.3	116.2	41.3
N total (ug/l)	36.0	293.6	292.0	240.6	273.7	311.1	241.2
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		I	B	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I	I	I	N
DQO	B	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	A	B	I	I	B	N
NO3	B	A	B	I	I	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	B	N
NH4	A	A	B	B	B	B	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

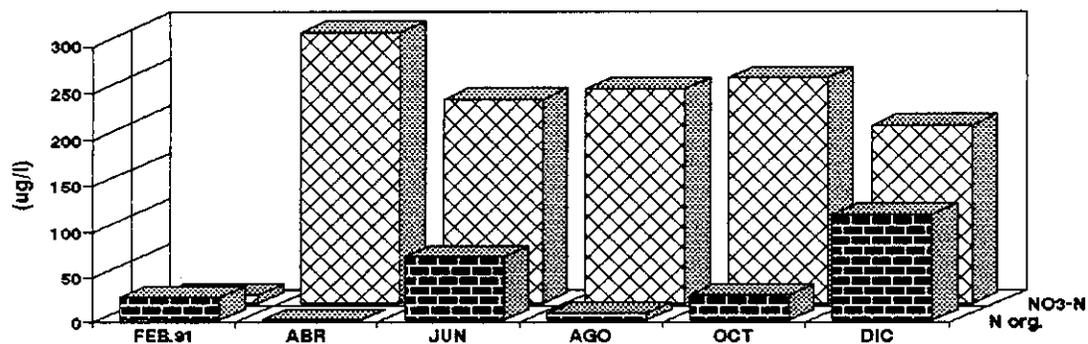
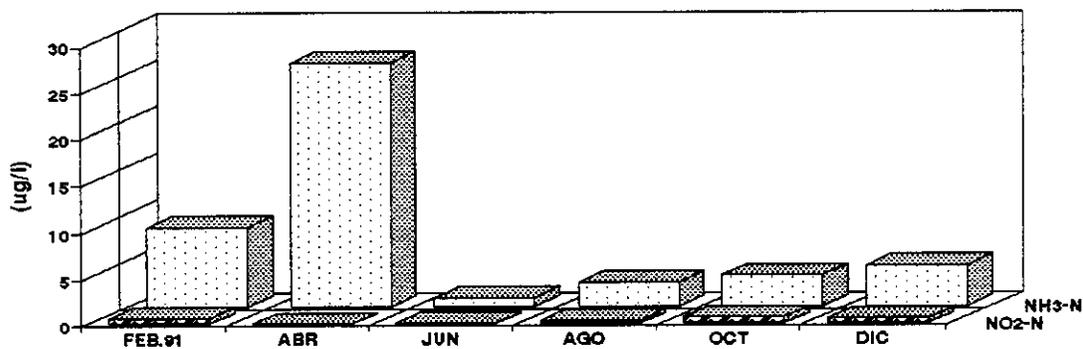
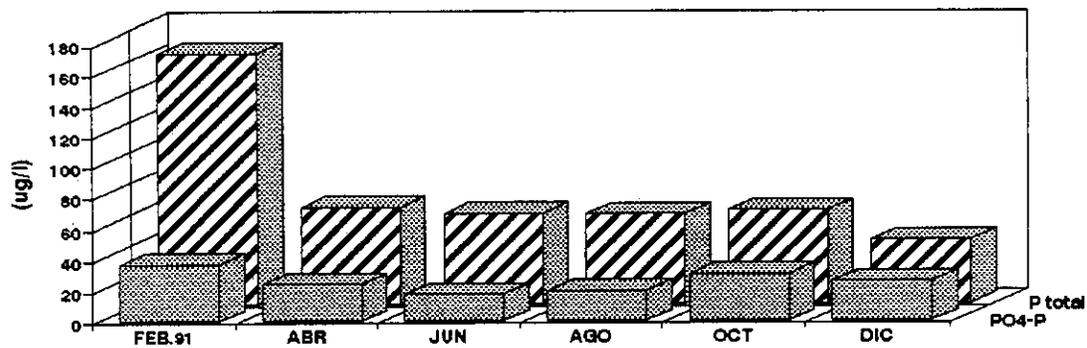


Figura 14: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Loncotraro, Lago Villarrica.

*** RIO LOS CHILCOS.** Ubicación en Fig.5

Su caudal fluctuó entre 1.5 a 6.9 m³/l (Tabla 14). La calidad de sus aguas presentaron en general, factores positivos, de acuerdo a los parámetros físicos y químicos (Tabla 14).

Las concentraciones de fósforo total presentaron su máxima en otoño (abril) y bajas concentraciones en el resto del año. El fósforo soluble presenta un aumento en la primavera (octubre) así como también en el mes de febrero; no se manifiestan grandes variaciones en el resto del año (Fig.15).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato tienen un aumento en primavera (octubre) y una baja concentración durante el verano (febrero). Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presenta una alta en primavera (octubre) como también en verano, siendo bajas en invierno (junio). Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco su mayor aumento es en otoño y bajos aumentos durante el invierno. Nitrógeno orgánico presentó su mayor concentración en el verano (febrero) y menores concentraciones en el resto del año (Fig.15).

TABLA 14: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Los Chilcos, Lago Villarrica.

RIO LOS CHILCOS	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	6.0	4.5	4.5	8.0	9.0	7.5	6.6
Area (m)	2.1	0.8	3.1	3.0	3.4	2.0	2.4
Velocidad (m/s)	1.6	1.6	1.3	2.3	1.6	0.9	1.6
Caudal (l/s)	3290.0	1467.0	4030.0	6900.0	5440.0	1820.0	3824.5
T° del agua (°C)	9.0	8.5	8.9	8.5	10.4	9.5	9.1
Color		5.0	2.5	20.0	7.0	5.0	7.9
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.2	7.7	7.3	7.4	7.2	7.3	7.4
Conductividad (uS)	53.5	54.8	58.0	57.4	62.0	59.9	57.6
DQO (mg/l)	5.5	20.7	18.5	2.6	2.3	2.2	8.6
PO4 - P (ug/l)	28.1	25.8	17.6	18.8	39.2	25.5	25.8
P total (ug/l)	120.0	217.5	35.3	51.3	61.7	35.5	86.9
NH3 - N (ug/l)	11.3	26.9	1.0	0.9	0.8	14.1	9.2
NH4 (ug/l)	14.6	34.7	1.3	1.2	1.0	18.2	11.8
NO3 (ug/l)	34.2	507.9	555.0	638.0	1123.4	388.7	541.2
NO3 - N (ug/l)	7.7	114.7	125.3	144.0	253.6	87.8	122.2
NO2 - N (ug/l)	0.4	0.0	0.1	0.1	0.5	0.4	0.3
N orgánico (ug/l)	161.3	32.6	24.1	19.3	1.6	24.1	43.8
N total (ug/l)	169.4	147.3	149.5	163.4	255.7	112.3	166.3
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	B	A	B	B	P
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	A	A	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	M	M	A	A	P
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	B	A	B	P
NO3	B	M	M	M	A	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	A	N
NH4	A	A	B	B	B	A	N
N orgánico	A	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

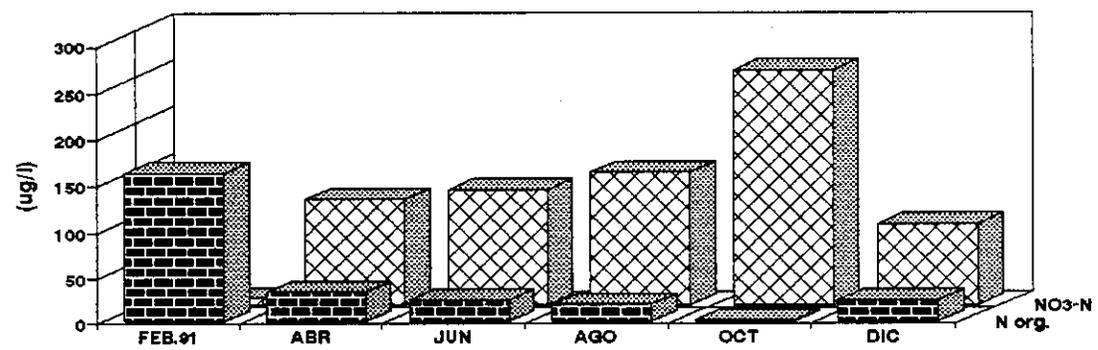
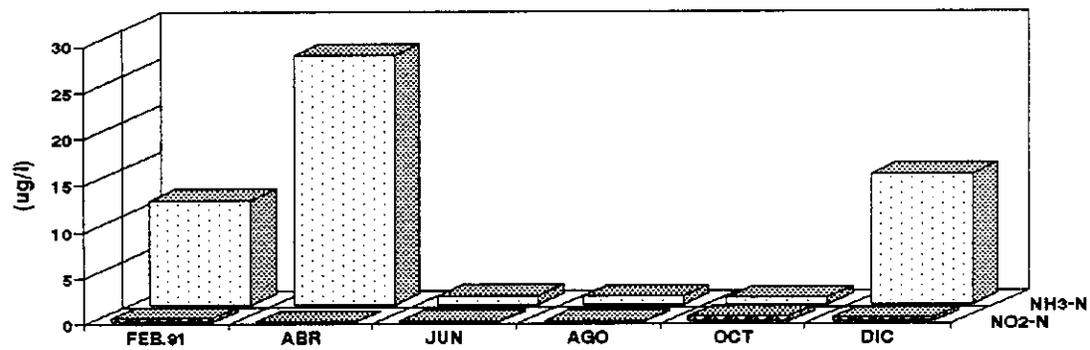
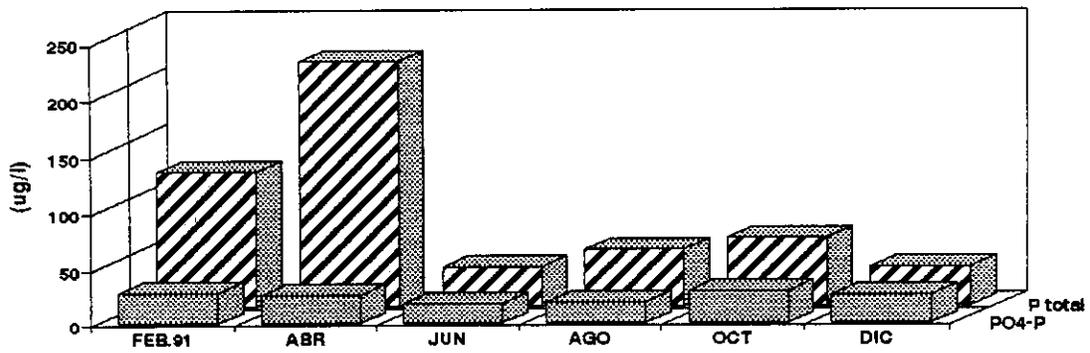


Figura 15: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Los Chilcos, Lago Villarrica.

* **RIO CORRENTOSO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra un rango entre 1.3 a 2.6 m³/s (Tabla 15). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos presenta en general condiciones positivas dentro de la calidad de sus aguas (Tabla 15).

Las concentraciones de fósforo total presentan un aumento en otoño y pocas variaciones en el resto del año. Las concentraciones de fósforo soluble presentaron su máximo aumento en primavera pero también en otoño, y menores concentraciones durante el invierno (Fig.16).

El nitrógeno de nitrato presentó sus mayores concentraciones en invierno bajando hacia el verano y primavera. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentaron un aumento en primavera (diciembre) y posteriormente una baja concentración en el mes de junio. El nitrógeno de amoníaco presentó un aumento en diciembre y una menor concentración en invierno (junio). Las concentraciones de nitrógeno orgánico presentan un aumento en otoño y pocas variaciones en el resto del año (Fig.16).

TABLA 15: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Correntoso, Lago Villarrica.

RIO CORRENTOSO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	4.0	2.0	4.5	5.0	4.5	4.0	4.0
Area (m ²)	1.2	0.9	1.2	2.0	2.0	1.1	1.4
Velocidad (m/s)	1.5	1.4	1.9	0.8	1.3	1.3	1.4
Caudal (l/s)	1740.0	1287.0	2185.0	1600.0	2574.0	1365.0	1791.8
T° del agua (°C)	14.4	13.6	10.2	9.0	13.2	14.5	12.5
Color		29.0	17.5	70.0	20.0	17.5	30.8
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	4.0	2.5	2.5	2.8
pH	7.9	7.6	7.2	7.0	7.2	7.2	7.4
Conductividad (uS)	68.6	65.1	64.5	65.3	69.1	76.5	68.2
DQO (mg/l)	38.6	12.4	22.4	4.7	3.0	8.2	14.9
PO4 - P (ug/l)	27.6	30.7	16.0	16.9	32.0	31.1	25.7
P total (ug/l)	115.2	237.3	34.3	66.4	62.2	58.0	95.6
NH3 - N (ug/l)	15.0	57.8	5.7	12.8	34.6	75.8	33.6
NH4 (ug/l)	19.4	74.6	7.4	16.5	44.6	97.8	43.4
NO3 (ug/l)	422.4	824.7	1124.7	913.5	401.9	559.3	707.8
NO3 - N (ug/l)	95.4	186.2	253.9	206.2	90.7	126.2	159.8
NO2 - N (ug/l)	0.6	2.3	0.1	0.5	1.4	2.6	1.3
N orgánico (ug/l)	91.3	186.5	82.7	94.5	53.4	61.8	95.0
N total (ug/l)	187.3	375.0	336.7	301.2	145.5	190.6	256.1
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	B	B	B	B	B	B	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	A	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I	I	I	P
DQO	A	B	I	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	A	I	B	B	P
NO3	B	B	A	I	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

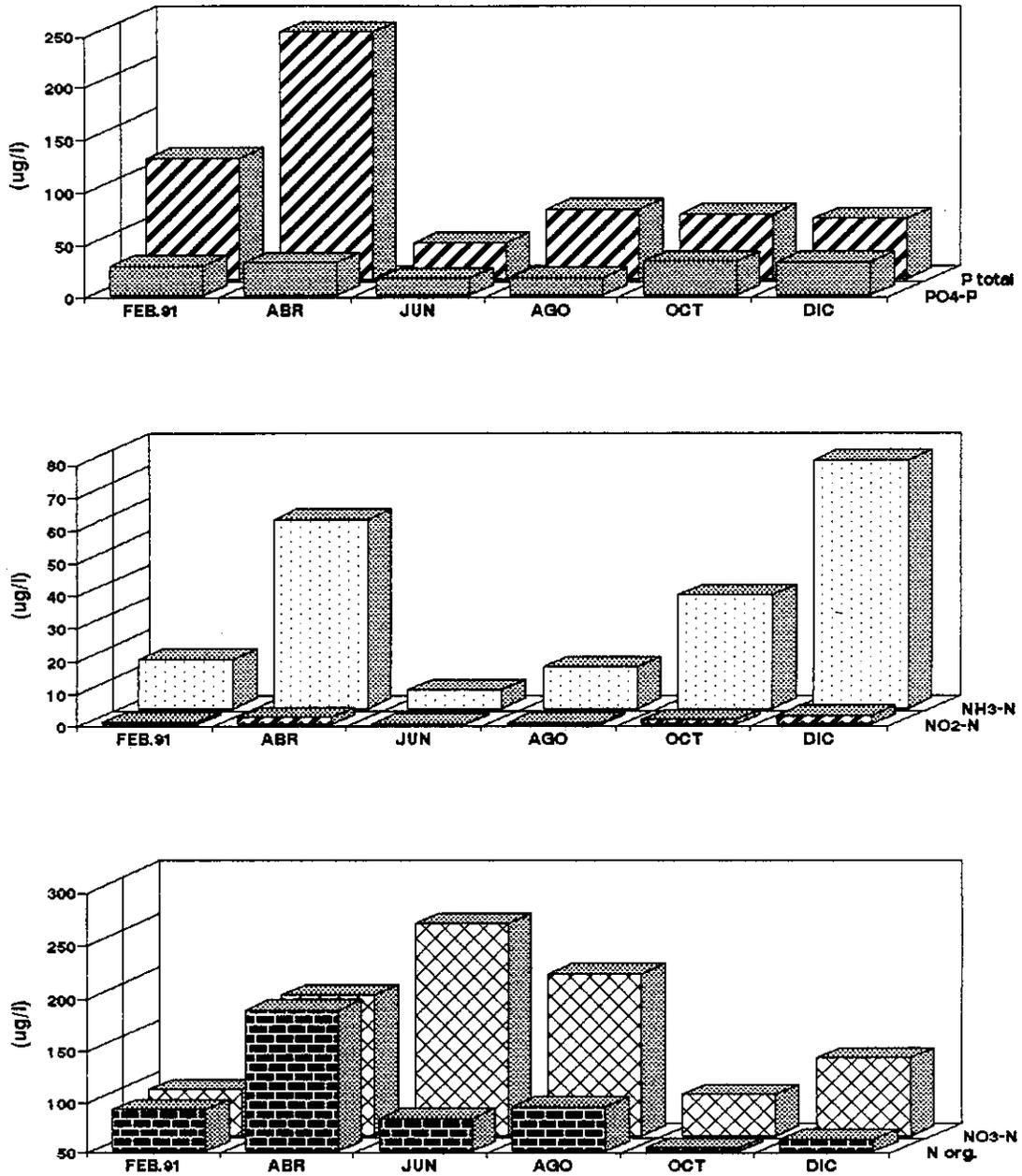


Figura 16: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Correntoso.

*** ESTERO CANDELARIA I.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra variaciones entre 0.3 a 0.9 m³/s (Tabla 16). De acuerdo a sus condiciones físicas y químicas presenta factores tanto negativos como positivos de la calidad de sus aguas (Tabla 16).

Las concentraciones de fósforo total presentan su mayor aumento en diciembre dentro de los tres meses analizados. El fósforo soluble por su parte, presenta su mayor aumento en el mes de octubre (Fig.17).

El nitrógeno de nitrato presenta pocas variaciones durante los tres meses analizados y con un mayor aumento durante el mes de agosto. El nitrógeno de nitrito su mayor aumento es en diciembre. El nitrógen orgánico presentan también sus mayores aumentos en diciembre (Fig.17).

TABLA 16: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Candelaria I, Lago Villarrica

EST. CANDELARIA I	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)				2.5	3.6	1.6	2.6
Area (m)				0.7	0.9	0.6	0.7
Velocidad (m/s)				1.4	0.7	0.6	0.9
Caudal (l/s)				931.0	599.0	336.0	622.0
Tº del agua (°C)				9.8	11.7	13.1	11.5
Color				62.0	37.5	2.5	34.0
Turbidez (mg/l)				3.0	2.5	2.5	2.7
pH				7.5	7.1	7.3	7.3
Conductividad (uS)				68.6	74.6	78.5	73.9
DQO (mg/l)				7.3	5.2	1.3	4.6
PO4 - P (ug/l)				11.7	22.1	14.3	16.0
P total (ug/l)				33.0	46.2	25.8	35.0
NH3 - N (ug/l)				1.7	1.7	0.9	1.4
NH4 (ug/l)				2.2	2.2	1.2	1.9
NO3 (ug/l)				1228.3	992.2	467.4	896.0
NO3 - N (ug/l)				277.3	224.4	105.5	202.4
NO2 - N (ug/l)				0.3	0.7	0.7	0.6
N orgánico (ug/l)				27.2	32.5	15.8	25.2
N total (ug/l)				304.8	257.6	122.0	228.1
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua				M	M	M	P
Color				A	A	B	N
Turbidez				B	B	B	P
pH				I	B	B	P
Conductividad				I	I	A	N
DQO				B	B	B	P
PO4 - P				A	A	A	N
P total				A	A	A	N
NO3 - N				A	A	A	N
NO3				A	I	A	N
NO2 - N				B	B	B	P
NH3 - N				B	B	B	P
NH4				B	B	B	P
N orgánico				B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

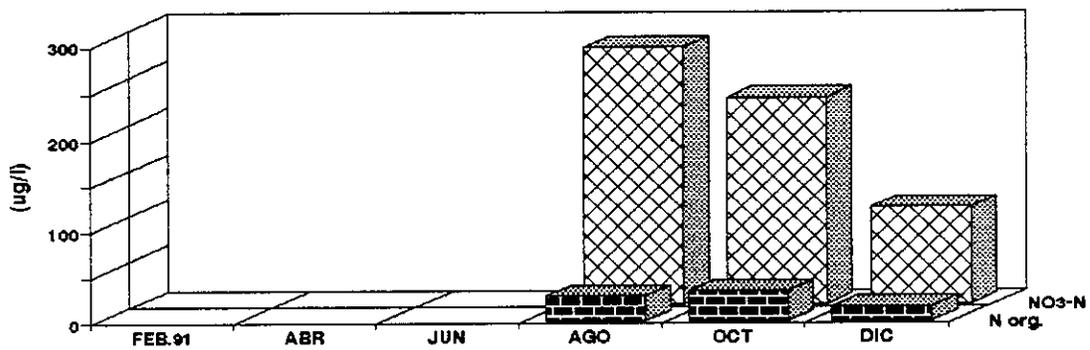
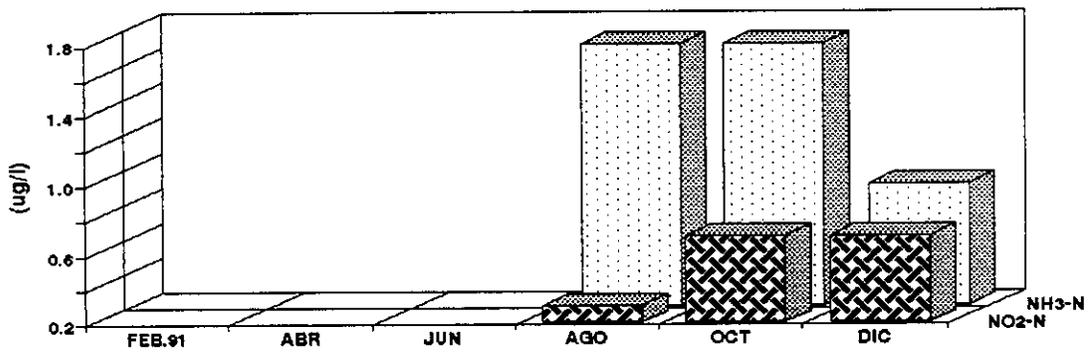
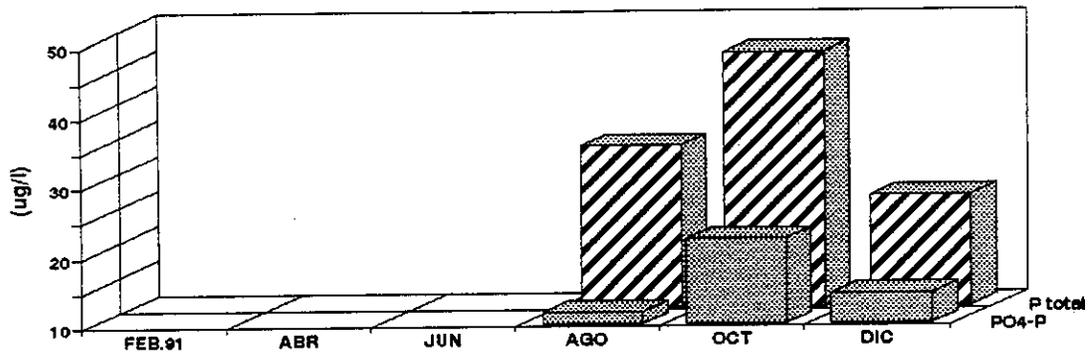


Figura 17: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Candelaria I, Lago Villarrica.

*** ESTERO CANDELARIA II.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra un rango entre 0.01 a 0.24 m³/s (Tabla 17). Las condiciones físicas y químicas muestran en general, factores negativos en la calidad de sus aguas (Tabla 17).

Las concentraciones de fósforo total presentan aumentos durante el otoño e invierno con disminución hacia la primavera. El fósforo soluble se mantiene alto en otoño (abril) con pocas variaciones durante el año a excepción de primavera donde baja en el mes de diciembre (Fig.18).

El nitrógeno de nitrato presenta su mayor concentración en invierno (junio) con bajas concentraciones en verano (febrero). Las concentraciones de nitrógeno de nitrito se presentaron altas a finales de invierno y primavera y una disminución en otoño y principios de invierno. El nitrógeno de amoníaco presentó altas concentraciones en verano (febrero) y disminuyen notablemente hacia la primavera en diciembre. Las concentraciones de nitrógeno orgánico son altas en el otoño como también durante el invierno y bajan en la primavera (Fig.18).

TABLA 17: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero Candelaria II, Lago Villarrica.

EST. CANDELARIA II	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		0.4	0.8	1.0	1.6	1.0	1.0
Area (m)		0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.2
Velocidad (m/s)		0.3	1.0	0.8	0.8	1.0	0.8
Caudal (l/s)	10.0	24.0	120.0	160.0	240.0	190.0	124.0
T° del agua (°C)	13.1	13.3	11.0	10.3	11.7	13.8	12.2
Color		20.0	25.0	130.0	37.5	65.0	55.5
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	5.0	2.5	3.0	3.1
pH	7.2	7.6		7.5	7.0	7.3	7.3
Conductividad (uS)	94.0	96.8	91.1	95.6	99.0	103.0	96.6
DQO (mg/l)	16.6	5.5	22.8	10.8	11.2	17.7	14.1
PO4 - P (ug/l)	26.2	31.8	24.0	27.6	43.3	36.7	31.6
P total (ug/l)	50.3	117.6	98.5	124.1	82.5	78.6	91.9
NH3 - N (ug/l)	16.0	12.7	9.5	6.0	0.4	2.7	7.9
NH4 (ug/l)	20.6	16.4	12.3	7.7	0.5	3.5	10.2
NO3 (ug/l)	201.9	1062.7	1793.0	1175.9	861.0	1215.2	1051.6
NO3 - N (ug/l)	45.6	239.9	404.8	265.4	194.4	274.3	237.4
NO2 - N (ug/l)	0.3	0.1	0.1	0.7	0.7	0.9	0.5
N orgánico (ug/l)	0.0	78.4	45.1	70.7	40.9	99.5	55.8
N total (ug/l)	45.9	318.4	450.0	336.8	236.0	374.7	293.6
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	A	B	B	N
pH	M	M		M	B	B	P
Conductividad	A	A	A	A	I	I	P
DQO	B	B	A	B	B	B	N
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	B	N
NO3 - N	B	A	A	B	B	B	N
NO3	B	A	A	A	B	B	N
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	N
NH3 - N	A	A	A	A	B	B	N
NH4	A	A	A	A	B	B	N
N orgánico	B	B	B	B		B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

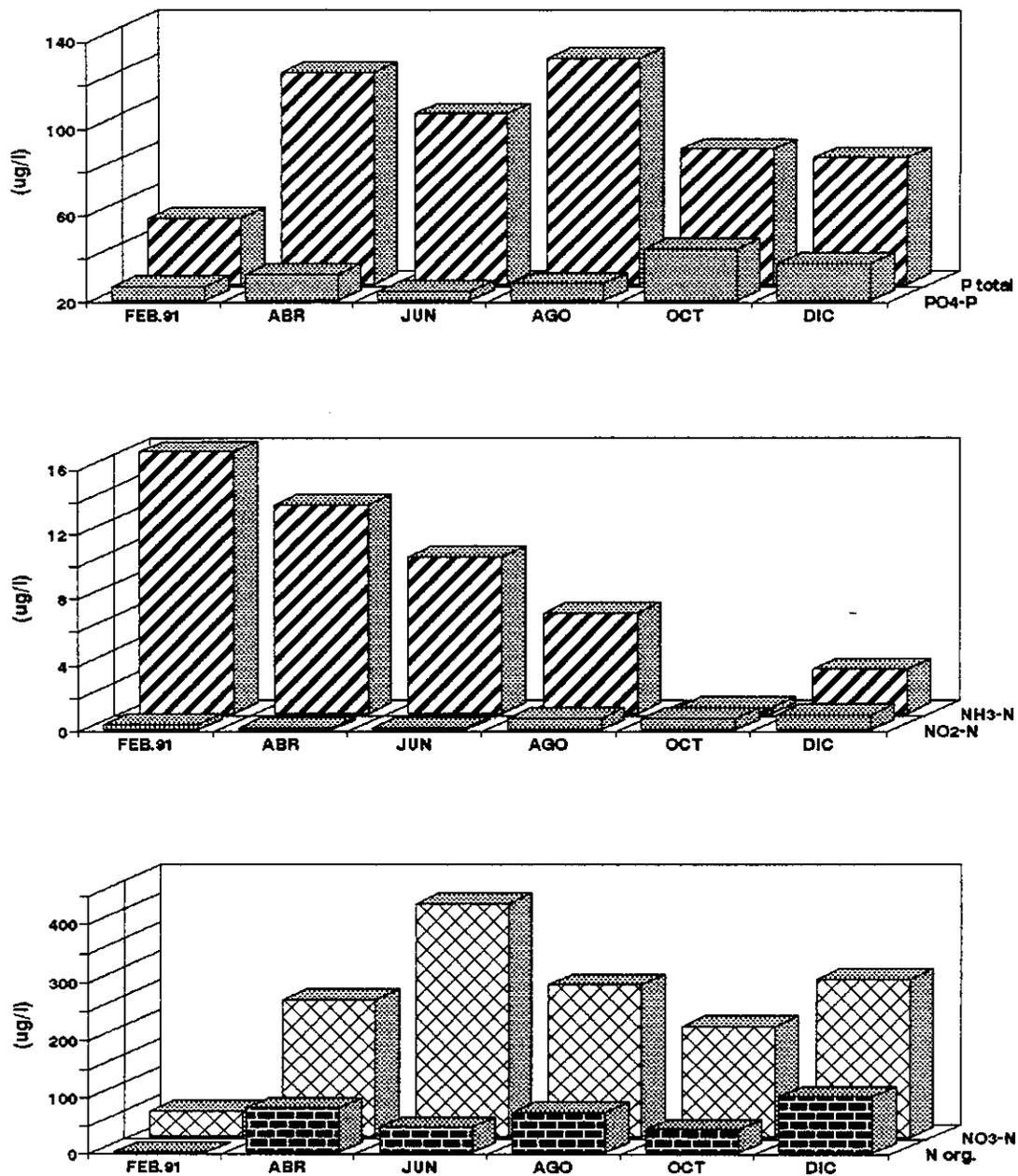


Figura 18:

Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero Candelaria II, Lago Villarrica.

*** ESTERO LA POZA.** Ubicación en Fig.5

Su caudal presentó variaciones entre 0.7 a 2.6 m³/s (Tabla 18). De acuerdo a los factores físicos y químicos presenta condiciones positivas y negativas de la calidad de sus aguas (Tabla 18).

La concentración de fósforo total presentó un aumento en primavera (octubre). Esta misma situación se presenta para el fósforo soluble con pocas variaciones durante el año (Fig.19).

El nitrógeno de nitrato presentó su mayor aumento en invierno y el menor en verano. Para el caso del nitrógeno de nitrito, su mayor aumento se presentó en el verano en el mes de febrero y un mínimo durante el invierno. El nitrógeno de amoníaco también presenta su mayor aumento durante el verano (febrero) y con un mínimo en el invierno. Las concentraciones de nitrógeno orgánico presentan su mayor aumento en otoño (abril) y valores mas bajos en el invierno (Fig.19).

TABLA 18: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Estero La Poza, Lago Villarrica.

ESTERO LA POZA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	6.0	1.5	4.5	3.5	4.5	4.5	4.1
Area (m)	1.9	0.6	3.1	0.9	1.3	1.4	1.5
Velocidad (m/s)	1.4	1.5	0.3	1.2	1.5	1.2	1.2
Caudal (l/s)	2630.0	945	780	1138.0	1890.0	1680.0	1510.5
T° del agua (°C)	9.1	9.2	8.7	9.0	9.6	9.9	9.3
Color		0	5	5.0	7.0	5.0	4.4
Turbidez (mg/l)		2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4
pH	7.0	7.6	7.6	7.0	7.1	7.4	7.3
Conductividad (uS)	94.0	96	92.4	99.7	103.0	104.0	98.2
DQO (mg/l)	49.7	8.3	27.6	3.5	1.7	0.9	15.3
PO4 - P (ug/l)	33.3	57	47.4	53.5	72.7	60.8	54.1
P total (ug/l)	142.4	105.7	56.8	142.4	140.1	90.0	112.9
NH3 - N (ug/l)	40.4	24.6	1	0.0	0.0	1.8	11.3
NH4 (ug/l)	52.1	31.7	1.3	0.0	0.0	2.3	14.6
NO3 (ug/l)	316.6	734.3	905.6	690.5	611.8	611.8	645.1
NO3 - N (ug/l)	71.5	165.8	204.4	155.9	138.1	138.1	145.6
NO2 - N (ug/l)	1.3	0	0.1	0.2	0.4	0.2	0.4
N orgánico (ug/l)	200.7	49.4	24.2	19.3	19.9	36.7	58.4
N total (ug/l)	273.5	215.2	228.7	175.4	158.4	175.0	204.4
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	B	B	B	B	P
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	B	A	A	B	B	M	N
Conductividad	I	I	I	I	A	A	N
DQO	A	B	I	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	P
P total	A	A	A	A	A	A	P
NO3 - N	B	I	A	I	B	B	P
NO3	B	I	A	I	I	I	N
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	B	N
NH4	A	A	B	B	B	B	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

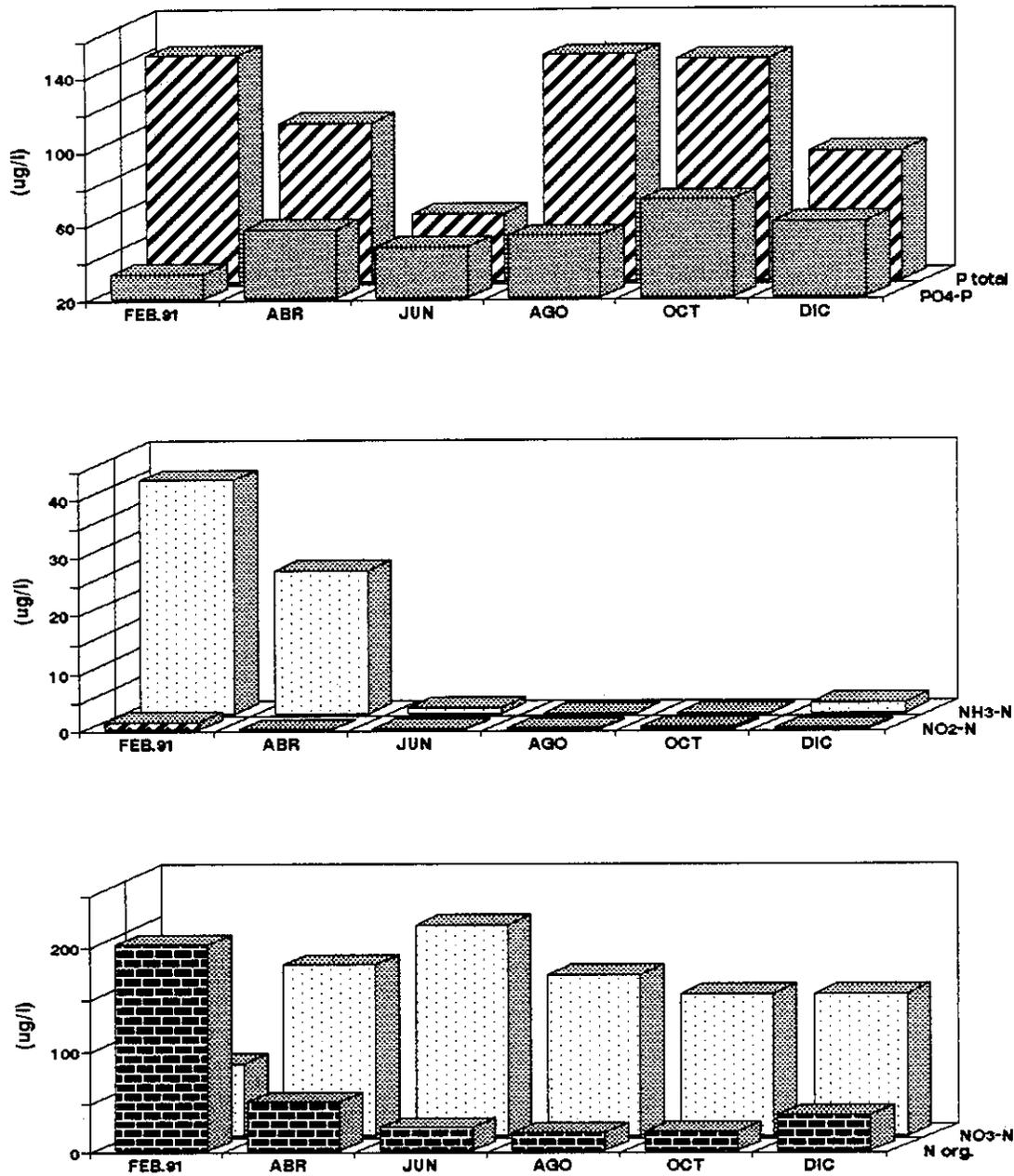


Figura 19: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Estero La Poza, Lago Villarrica.

*** ARROYO AVENIDA ARGENTINA.** Ubicación en Fig.5

Su caudal fluctuó entre 0.001 a 0.5 m³/s (Tabla 19). De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos, este arroyo presenta una condición negativa para la calidad de sus aguas (Tabla 19).

El fósforo total presentó un aumento en el mes de agosto con pocas variaciones en el resto del año. La concentración de fósforo soluble presentó su máxima en abril sin mayores variaciones el resto del año (Fig.20).

Las variaciones de nitrógeno de nitrato presentaron un aumento en el mes de abril y bajas concentraciones el resto del año. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito tuvieron un máximo en invierno (agosto) con poca variación en los otros meses. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco sus aumentos se produjeron en el otoño y disminuyeron en la primavera (octubre). El nitrógeno orgánico presentó un aumento en el otoño y disminución en octubre siguiendo la misma tendencia del nitrógeno de amoníaco (Fig.20).

TABLA 19: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Avenida Argentina, Lago Villarrica.

ARR.AVD. ARGENTINA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		0.4	1.0	1.5	1.0	1.0	1.0
Area (m)		0.1	0.2	0.5	0.3	0.3	0.3
Velocidad (m/s)		0.2	0.3	1.0	1.0	0.8	0.7
Caudal (l/s)		16.0	50.0	525.0	285.0	225.0	220.2
Tº del agua (°C)		10.8	8.9	8.8	12.3	14.4	11.0
Color		5.0	17.5	325.0	37.5	62.0	89.4
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	12.5	2.5	3.0	4.6
pH		6.8	7.2	7.0	7.1	7.2	7.1
Conductividad (uS)		128.0	93.3	99.9	98.0	92.0	102.2
DQO (mg/l)		0.0	25.0	16.8	12.1	12.9	13.4
PO4 - P (ug/l)		61.8	41.0	46.3	56.3	44.8	50.0
P total (ug/l)		127.3	183.0	217.5	106.2	104.3	147.7
NH3 - N (ug/l)		39.6	4.8	26.4	8.4	30.8	22.0
NH4 (ug/l)		51.1	6.2	34.1	10.8	39.7	28.4
NO3 (ug/l)		9746.7	1836.7	2579.5	1621.9	1477.6	3452.5
NO3 - N (ug/l)		2200.2	414.6	582.3	366.1	333.5	779.3
NO2 - N (ug/l)		0.0	0.2	3.0	1.3	1.6	1.2
N orgánico (ug/l)		140.7	124.6	102.4	15.8	61.8	89.1
N total (ug/l)		2340.0	539.4	687.7	383.2	396.9	869.4
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua		M	M	M	M	M	P
Color		B	A	A	A	B	N
Turbidez		B	B	A	B	B	P
pH							
Conductividad		A	I	I	I	I	N
DQO		B	I	B	B	B	P
PO4 - P		A	A	A	A	A	N
P total		A		A	A	A	N
NO3 - N		A	A	A	A	A	N
NO3		A	A	A	A	A	N
NO2 - N		B		B	B	B	P
NH3 - N		A		A	A	A	N
NH4		A		A	A	A	N
N orgánico		A		A	B	B	N

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

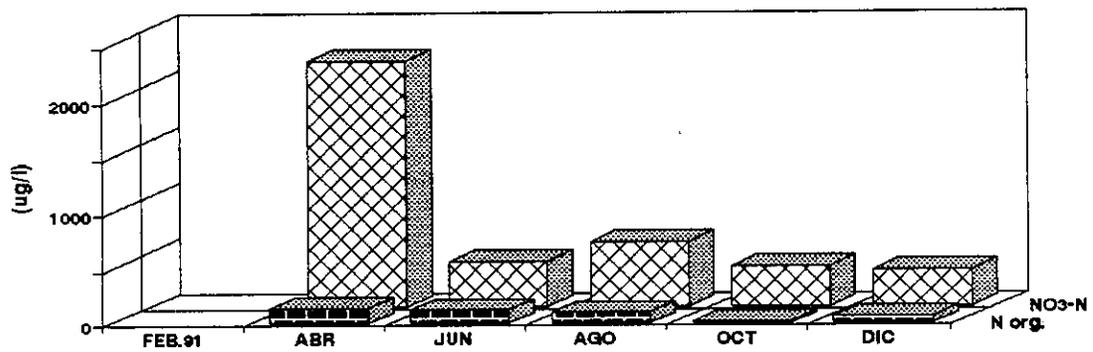
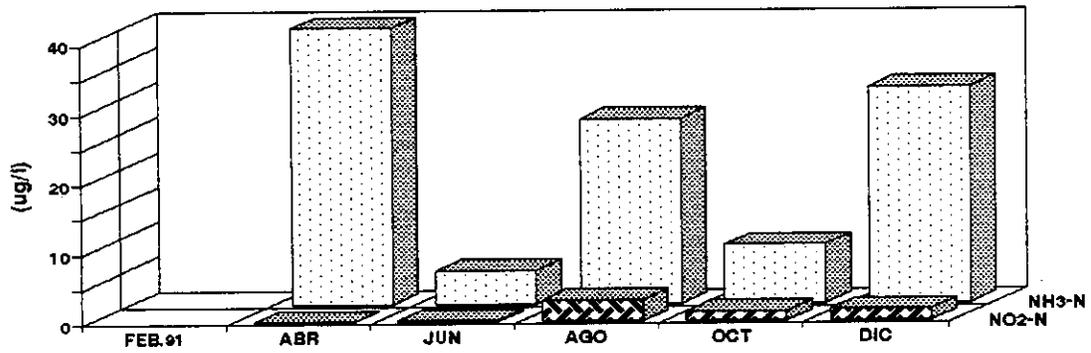
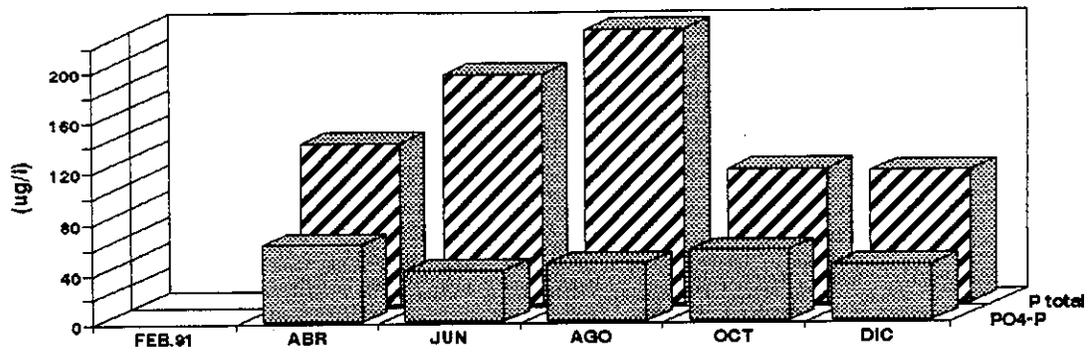


Figura 20: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Avenida Argentina.

* **ARROYO HOTEL PUCON.** Ubicación en la Fig.5

Su caudal tiene un rango entre 0.015 a 0.48 m³/s (Tabla 20). De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos presenta un predominio de factores negativos en la calidad del agua (Tabla 20).

Las concentraciones de fósforo total presentan un aumento en invierno (agosto) con pocas variaciones en el resto del año. El fósforo soluble presenta pocas variaciones durante el año con un pequeño aumento en primavera (Fig.21).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato presentaron un predominio en el mes de agosto y baja en el verano. El nitrógeno de nitrito presenta un aumento en el verano como también a finales de invierno (agosto). El nitrógeno de amonio presentó un aumento en la primavera (octubre) siendo menor en los meses de invierno. Las concentraciones de nitrógeno orgánico presentaron un aumento en primavera (diciembre) y una disminución en verano (febrero) (Fig.21).

TABLA 20: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Hotel Pucón, Lago Villarrica.

ARROYO H. PUCON	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		1.0	1.5	2.0	1.8	1.7	1.6
Area (m)		0.3	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
Velocidad (m/s)		0.5	0.5	0.3	0.9	0.5	0.5
Caudal (l/s)	200.0	144.0	243.0	150.0	486.0	204.0	237.8
T° del agua (°C)	14.6	12.9	9.9	8.7	13.7	16.7	12.8
Color		5.0	32.5	77.5	14.0	50.0	35.8
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	4.0	2.5	3.0	2.9
pH	6.8	7.2	7.1	6.9	7.3	7.1	7.1
Conductividad (uS)	89.3	86.0	99.0	99.4		96.2	94.0
DQO (mg/l)	227.6	4.1	22.4	3.0	7.8	3.0	44.7
PO4 - P (ug/l)	46.9	44.0	40.9	40.0	56.3	45.6	45.6
P total (ug/l)	92.6	121.7	104.8	179.7	109.6	81.3	115.0
NH3 - N (ug/l)	15.0	15.9	4.8	5.1	19.4	12.4	12.1
NH4 (ug/l)	19.4	20.5	6.2	6.6	25.0	16.0	15.6
NO3 (ug/l)	493.0	677.7	1595.8	2527.1	1267.7	1123.4	1280.8
NO3 - N (ug/l)	111.3	153.0	360.2	570.4	286.2	253.6	289.1
NO2 - N (ug/l)	1.1	0.2	0.2	1.1	0.8	0.8	0.7
N orgánico (ug/l)	100.1	45.1	74.4	23.3	57.6	112.0	68.8
N total (ug/l)	212.5	198.3	434.8	594.8	344.6	366.4	358.6
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	A	P
Color		B	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I		I	N
DQO	A	B	I	B	B	B	P
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	A	A	A	A	N
NO3	B	B	A	A	A	A	N
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	A	A	N
NH4	A	A	B	B	A	A	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

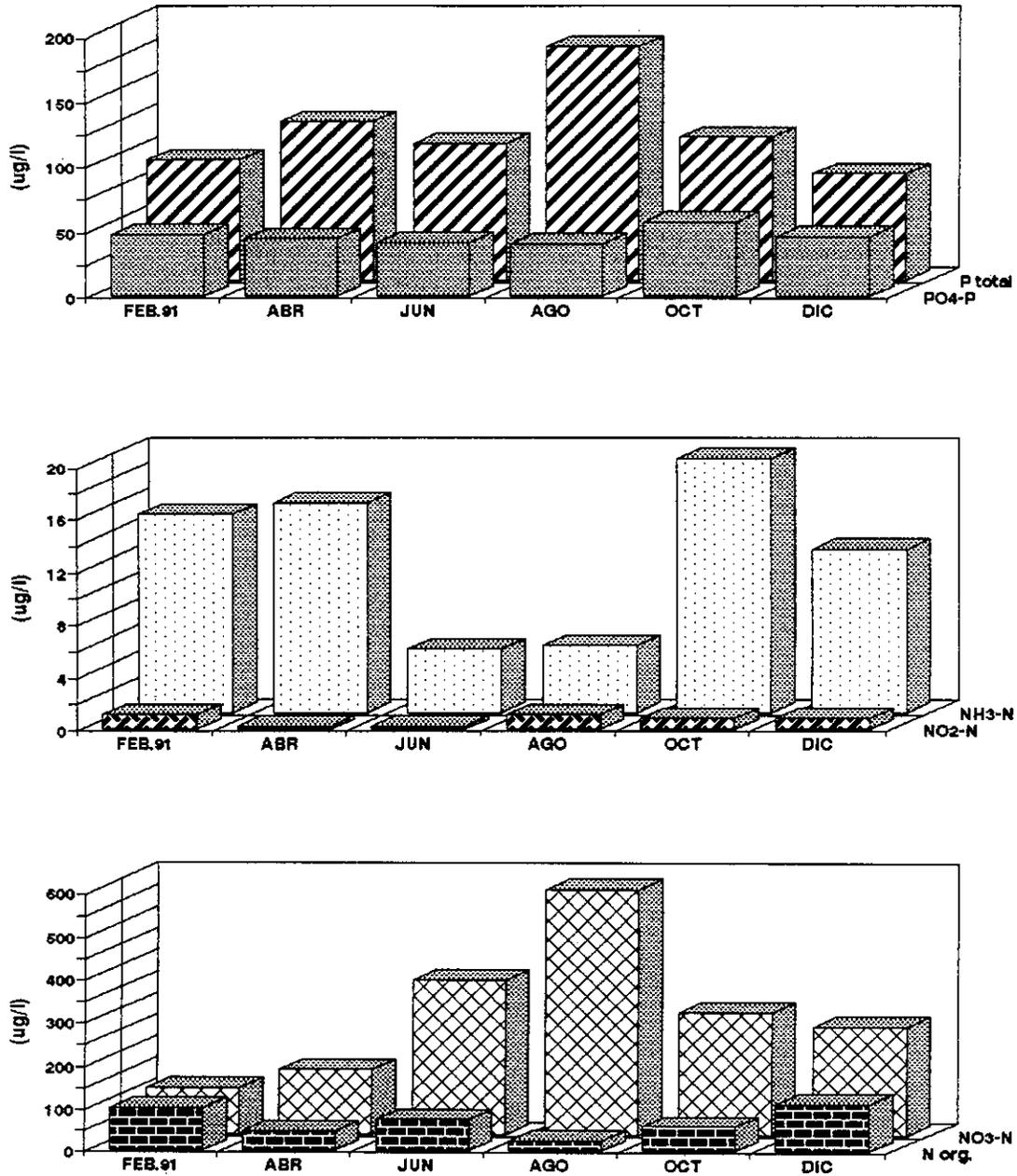


Figura 21: Concentración de nutrientes (p total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Hotel Pucón, Lago Villarrica.

* **RIO CLARO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal fluctúa entre 0.4 a 6.4 m³/s (Tabla 21). La mayoría de los factores, de acuerdo a los parámetros físicos y químicos, son de calidad negativa para sus aguas (Tabla 21).

La concentración de fósforo total presenta un aumento en verano (febrero) y una disminución en invierno. La misma situación se presenta con el fósforo soluble (Fig. 22).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato presentó un aumento en invierno (agosto) y una mínima en verano (febrero). Una situación contraria se registró en las concentraciones de nitrógeno de nitrito con un aumento en el verano y una disminución en invierno. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco registran su mayor aumento en otoño (abril) siendo los otros meses con poca variación. El nitrógeno orgánico también presenta un aumento en el mes de abril pero un mínimo en primavera y verano (Fig.22).

TABLA 21: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Claro, Lago Villarrica.

RIO CLARO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	4.0	16.0	20.0	20.0	15.0	5.0	13.3
Area (m)	0.5	3.0	15.9	16.0	8.2	1.3	7.5
Velocidad (m/s)	1.0	0.5		0.4	0.8	0.7	0.7
Caudal (l/s)	475.0	1593.0		6400.0	6150.0	850.0	3093.6
T° del agua (°C)	16.0	13.0	10.2	9.4	13.8	15.1	12.9
Color		5.0	17.5	14.0	17.5	2.5	11.3
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.4	7.0	6.8	7.2	7.3	7.1	7.1
Conductividad (uS)	99.0	93.0	75.0	81.2		110.0	91.6
DQO (mg/l)	667.6	9.7	40.9	6.9	2.2	32.3	126.6
PO4 - P (ug/l)	80.3	38.5	11.5	18.6	35.5	47.9	38.7
P total (ug/l)	161.5	97.2	47.1	55.8	70.9	85.4	86.3
NH3 - N (ug/l)	9.4	30.9	10.5	18.7	11.8	8.8	15.0
NH4 (ug/l)	12.1	39.9	13.5	24.1	15.2	11.4	19.4
NO3 (ug/l)	87.2	383.4	511.1	900.4	611.8	296.9	465.1
NO3 - N (ug/l)	19.7	86.5	115.4	203.2	138.1	67.0	105.0
NO2 - N (ug/l)	4.2	0.2	0.1	2.2	3.0	0.7	1.7
N orgánico (ug/l)	187.6	124.1	95.3	54.9	7.4	66.0	89.2
N total (ug/l)	211.5	210.8	210.8	260.3	148.5	133.7	195.9
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	A	A	A	B	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	I	I		I	N
DQO	A	B	A	B	B	A	N
PO4 - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	A	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NH4	A	A	A	A	A	A	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

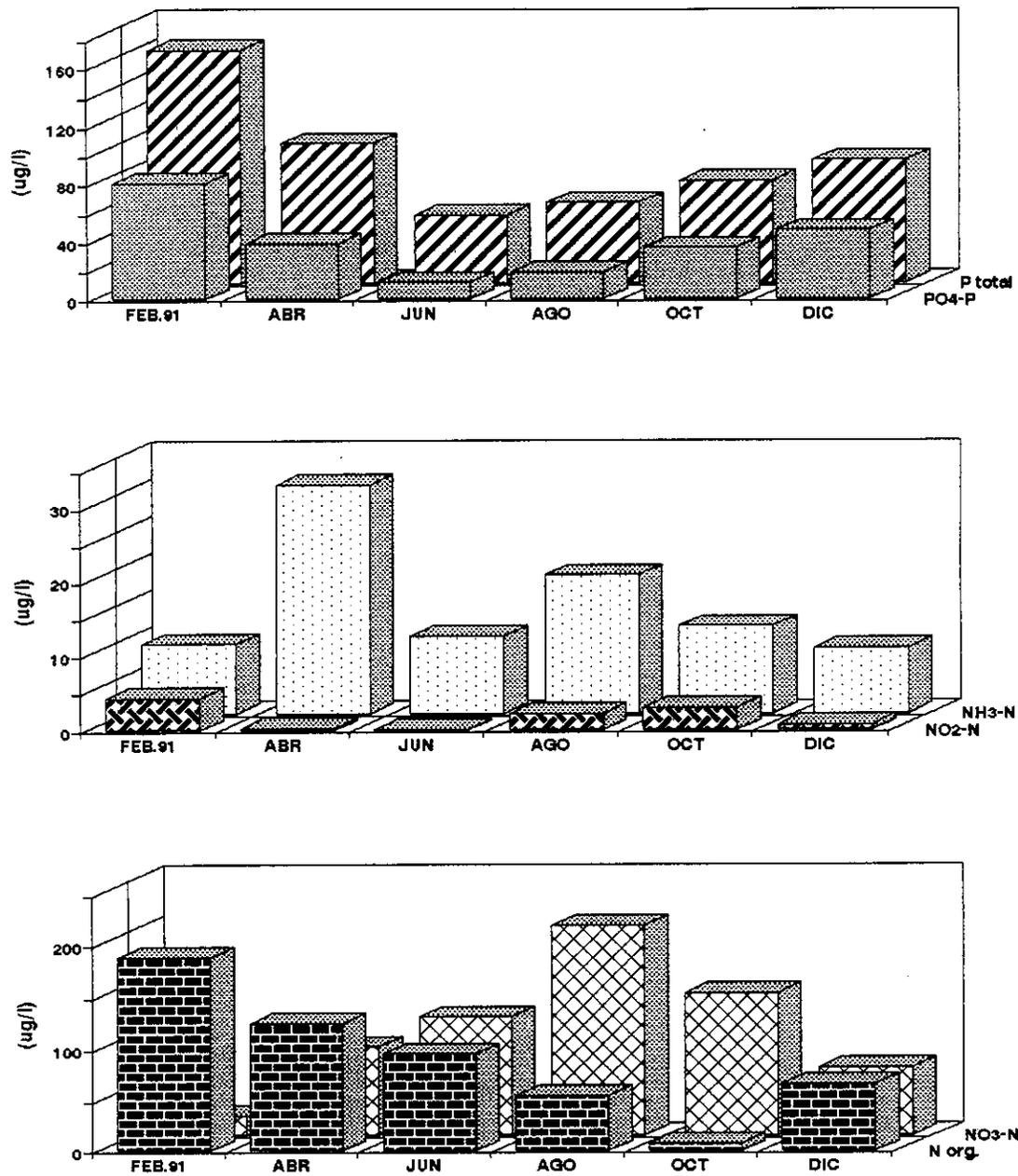


Figura 22: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P , NH3-N , NO2-N , NO3-N y N orgánico) en el Río Claro, Lago Villarrica.

* **RIO TRANCURA.** Ubicación en Fig.5

Su caudal registra un rango entre 10 a 100 m³/s (datos en Fig.4, proporcionados por la D.G.A. de la IX región). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos este río presenta tanto factores negativos como positivos en la calidad de sus aguas (Tabla 22).

La concentración de fósforo total presentó un máximo en febrero con pocas variaciones en el resto de los otros meses del año. El fósforo soluble tiene aumentos en febrero, pero también se destaca el aumento producido en primavera (octubre) (Fig.23).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato aumentan en invierno (agosto) y disminuyen en verano (febrero). El nitrógeno de nitrito presentó un fuerte aumento en febrero y disminuye en invierno. El nitrógeno de amoníaco aumenta en verano (febrero) el cual continúa en otoño pero con bajas concentraciones en el resto del año. El nitrógeno orgánico presentó durante el invierno sus mayores concentraciones disminuyendo hacia la primavera (Fig.23).

TABLA 22: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Trancura, Lago Villarrica.

RIO TRANCURA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)							
Area (m ²)							
Velocidad (m/s)							
Caudal (l/s)							
T° del agua (°C)	14.4	11.9	9.0	8.9	11.9	14.9	11.8
Color		14.0	17.5	17.5	17.5	20.0	17.3
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.3	7.0	7.2	6.9	7.1	7.9	7.2
Conductividad (uS)	75.4	66.3	62.5	68.4	75.5	72.1	70.0
DQO (mg/l)	128.3	30.3	17.2	3.5	5.2	2.2	31.1
PO ₄ - P (ug/l)	22.3	13.6	10.1	13.6	19.7	14.9	15.7
P total (ug/l)	74.2	37.4	37.0	36.3	45.4	23.4	42.3
NH ₃ - N (ug/l)	22.5	21.4	4.5	5.1	6.8	7.9	11.4
NH ₄ (ug/l)	29.0	27.6	5.8	6.6	8.8	10.2	14.7
NO ₃ (ug/l)	113.6	440.0	544.0	598.6	401.9	218.2	386.1
NO ₃ - N (ug/l)	25.7	99.3	122.8	135.1	90.7	49.3	87.2
NO ₂ - N (ug/l)	0.8	0.1	0.1	0.5	0.6	0.4	0.4
N orgánico (ug/l)	82.6	36.8	40.9	27.2	11.6	11.6	35.1
N total (ug/l)	109.1	136.2	163.8	162.8	102.9	61.3	122.7
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	B	B	B	B	B	A	P
Conductividad	I	I	B	I	I	I	P
DQO	A	I	B	B	B	B	P
PO ₄ - P	A	A	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO ₃ - N	B	B	B	B	B	B	P
NO ₃	B	B	B	B	B	B	P
NO ₂ - N	B	B	B	B	B	B	P
NH ₃ - N	A	A	B	B	A	A	N
NH ₄	A	A	B	B	A	A	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

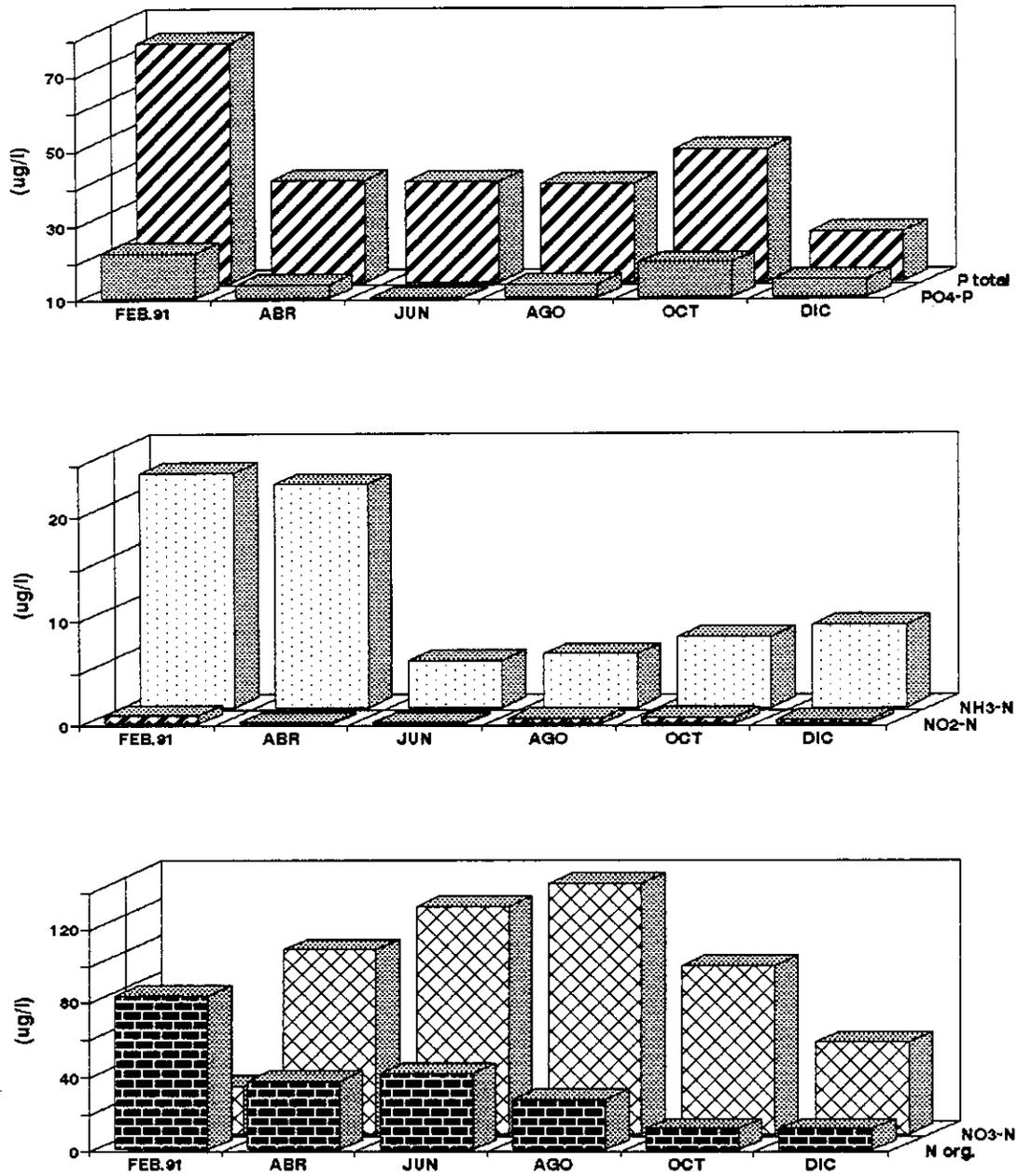


Figura 23: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Trancura, Lago Villarrica.

* **RIO QUILQUE.** Ubicación en Fig.5

De acuerdo a sus factores físicos químicos este río presenta condiciones negativas como positivas para la calidad de sus aguas (Tabla 23).

Las mayores concentraciones de fósforo total se encuentran en invierno (junio). El fósforo soluble sin embargo, presentó concentraciones mayores en primavera (octubre) disminuyendo en otoño (abril) (Fig.24).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato son altas en invierno (agosto) y bajas en el verano (febrero). En nitrógeno de nitrito también presentó altas concentraciones en verano (febrero) y en primavera en el mes de octubre y bajas en el invierno. El nitrógeno de amoníaco presentó altas concentraciones en otoño (abril) y bajas en el invierno. El nitrógeno orgánico presenta una alta concentración en otoño y bajas concentraciones en invierno (Fig.24).

TABLA 23: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río Quilque, Lago Villarrica.

RIO QUILQUE	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)							
Area (m ²)							
Velocidad (m/s)							
Caudal (l/s)							
T° del agua (°C)	16.4	11.7	9.0	8.5	13.1	17.2	12.7
Color		14.0	7.0	14.0	52.5	17.5	21.0
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	3.0	2.5	2.6
pH	7.6	7.1	7.3	6.8	7.0	7.4	7.2
Conductividad (uS)	70.5	55.5	71.9	71.2	79.2	78.7	71.2
DQO (mg/l)	306.2	5.5	22.0	1.7	0.0	3.0	56.4
PO4 - P (ug/l)	11.0	6.2	15.6	15.1	25.1	18.2	15.2
P total (ug/l)	37.5	20.3	53.7	37.7	48.8	25.3	37.2
NH3 - N (ug/l)	18.8	31.7	3.8	4.3	14.4	14.1	14.5
NH4 (ug/l)	24.3	40.9	4.9	5.5	18.6	18.2	18.7
NO3 (ug/l)	43.1	247.5	555.0	611.8	572.4	257.5	381.2
NO3 - N (ug/l)	9.7	55.9	125.3	138.1	129.2	58.1	86.1
NO2 - N (ug/l)	0.6	0.0	0.1	0.3	0.6	0.5	0.4
N orgánico (ug/l)	25.7	182.2	1.6	0.0	24.1	11.6	40.9
N total (ug/l)	36.0	238.1	127.0	138.4	153.9	70.2	127.3
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	A	M	M	M	M	A	N
Color		A	B	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	B	M	M	B	M	P
Conductividad	I	B	I	I	I	I	N
DQO	A	B	I	B	B	B	P
PO4 - P	A	B	A	A	A	A	N
P total	A	B	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	A	A	N
NH4	A	A	B	B	A	A	N
N orgánico	B	I	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

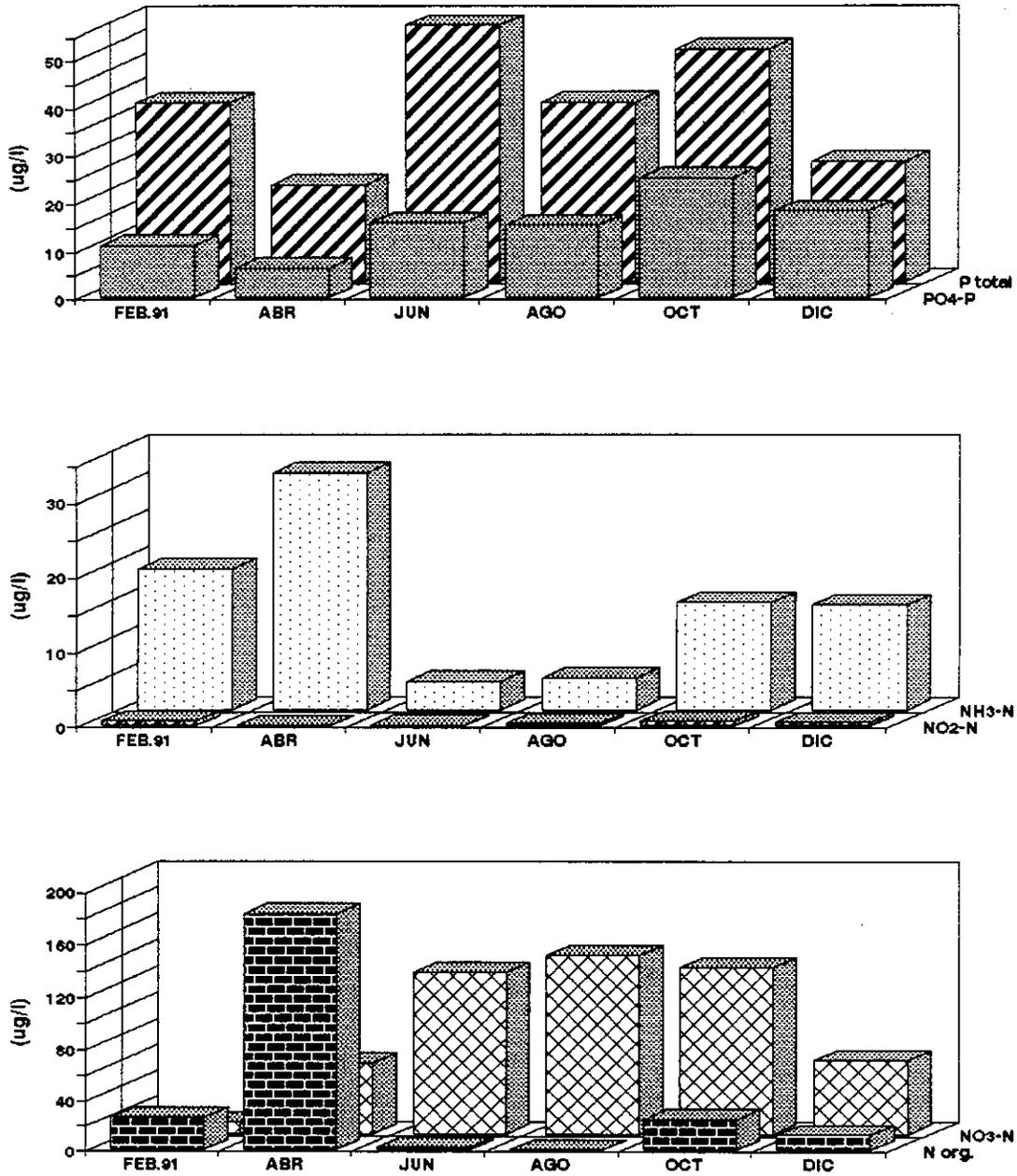


Figura 24: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Quilque, Lago Villarrica.

* **ARROYO ASERRADERO.** Ubicación en la Fig.5

Su caudal presentó un rango entre 0.1 a 0.9 m³/s (Tabla 24). En general, la mayoría de los factores físicos y químicos presentan una calidad relativamente positiva de sus aguas (Tabla 24).

El fósforo total presenta concentraciones mayores en los meses de invierno como al inicio de la primavera y menores en el verano. En la primavera se mantienen las concentraciones de fósforo soluble disminuyendo en el verano en el mes de febrero (Fig.25).

El nitrógeno de nitrato presentó un aumento en invierno (junio) con alta disminución en el verano (febrero). Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentan pocas variaciones durante el año pero con aumento en verano como también en la primavera (octubre). El nitrógeno de amoníaco presentó concentraciones altas en verano (febrero) y bajas en invierno. El nitrógeno orgánico a su vez, presentó alta concentración en otoño y una baja en invierno (junio) (Fig.25).

TABLA 24: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Aserradero, Lago Villarrica.

A.ASERRADERO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	2.2
Area (m)		0.5	0.9	0.6	1.0	0.5	0.7
Velocidad (m/s)		1.2	0.5	1.5	0.4	0.5	0.8
Caudal (l/s)	10.0	54.0	432.0	900.0	400.0	225.0	336.8
T° del agua (°C)	14.4	11.9	9.8	8.3	11.2	15.5	11.9
Color		7.0	14.0	29.0	37.5	2.5	18.0
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	6.3	7.1	7.3	7.2	7.1	7.1	7.0
Conductividad (uS)	69.5	41.3	36.5	36.1	46.0	53.0	47.1
DQO (mg/l)	4.1	0.0	11.7	4.7	2.6	3.9	4.5
PO4 - P (ug/l)	0.2	0.0	1.7	2.4	6.5	2.8	2.3
P total (ug/l)	3.6	9.1	14.0	14.4	14.7	6.9	10.5
NH3 - N (ug/l)	25.1	7.9	0.0	3.4	5.9	10.6	8.8
NH4 (ug/l)	32.4	10.2	0.0	4.4	7.6	13.7	11.4
NO3 (ug/l)	43.1	326.8	423.5	349.4	231.3	231.3	267.6
NO3 - N (ug/l)	9.7	73.8	95.6	78.9	52.2	52.2	60.4
NO2 - N (ug/l)	0.5	0.0	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4
N orgánico (ug/l)	78.2	74.2	1.6	23.3	40.9	20.0	39.7
N total (ug/l)	88.4	148.0	97.6	102.6	93.6	72.6	100.5
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	A	A	A	B	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	M	M	M	M	M	P
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	B	B	P
P total	B	B	B	B	B	B	P
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	A	A	N
NH4	A	A	B	B	A	A	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

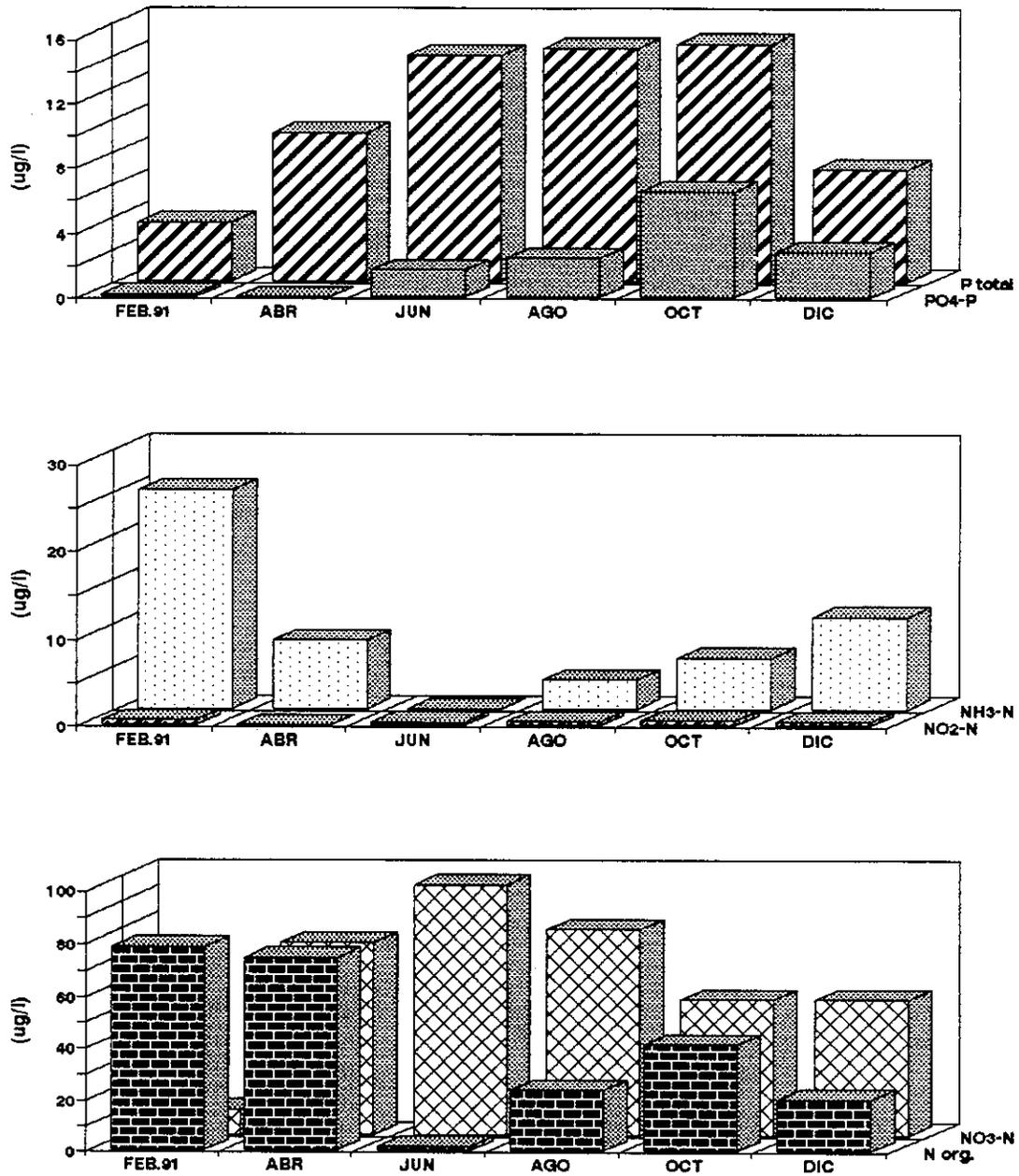


Figura 25: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Aserradero, Lago Villarrica.

* **ARROYO MONTAÑA.** Ubicación en la Fig.5

Su caudal fluctúa entre 0.02 a 1.56 m³/s (Tabla 25). De acuerdo a sus factores físicos y químicos presenta un predominio de factores positivos de la calidad de sus aguas (Tabla 25).

Las concentraciones de fósforo total presentaron un máximo en el invierno y un mínimo en el verano. El fósforo soluble presentó un aumento en primavera (octubre) (Fig.26).

El nitrógeno de nitrato presentó pocas variaciones durante el año, solamente con una baja en el verano y en el invierno. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito presentó un aumento en primavera en octubre y disminución en invierno. El nitrógeno de amoníaco tiene un aumento en verano como también en la primavera con disminución en el invierno. El nitrógeno orgánico presentó un aumento en otoño y una disminución en verano como también parte del invierno (Fig.26).

TABLA 25: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Montaña, Lago Villarrica.

ARROYO MONTANA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		0.6	0.9	2.0	0.8	0.8	1.0
Area (m)		0.1	0.1	0.6	0.2	0.1	0.2
Velocidad (m/s)			1.9	2.6			2.3
Caudal (l/s)	10.0	600.0	257.0	1560.0	10.0	20.0	409.5
Tº del agua (°C)	12.4	11.5	9.4	8.1	11.0	13.8	11.0
Color		14.0	14.0	29.0	37.5	37.5	26.4
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.1	7.1	7.0	7.0	7.1	6.8	7.0
Conductividad (uS)	66.0	57.8	49.3	48.8	56.3	65.0	57.2
DQO (mg/l)	6.9	9.7	1.3	3.5	2.2	3.0	4.4
PO4 - P (ug/l)	1.4	6.4	4.6	5.9	15.0	9.3	7.1
P total (ug/l)	12.0	74.7	180.3	24.1	30.2	20.3	56.9
NH3 - N (ug/l)	6.1	0.0	1.9	1.7	6.8	3.5	3.3
NH4 (ug/l)	7.9	0.0	2.5	2.2	8.8	4.5	4.3
NO3 (ug/l)	104.8	224.9	116.7	231.3	192.0	218.2	181.3
NO3 - N (ug/l)	23.7	50.8	26.3	52.2	43.3	49.3	40.9
NO2 - N (ug/l)	0.3	0.0	0.3	0.4	0.5	0.3	0.3
N orgánico (ug/l)	60.7	61.7	45.1	11.4	1.6	24.1	34.1
N total (ug/l)	84.7	112.5	71.7	64.0	45.4	73.7	75.3
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	B	B	B	B	B	B	P
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	A	B	P
P total	B	A	A	B	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	B	B	B	A	B	P
NH4	A	B	B	B	A	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

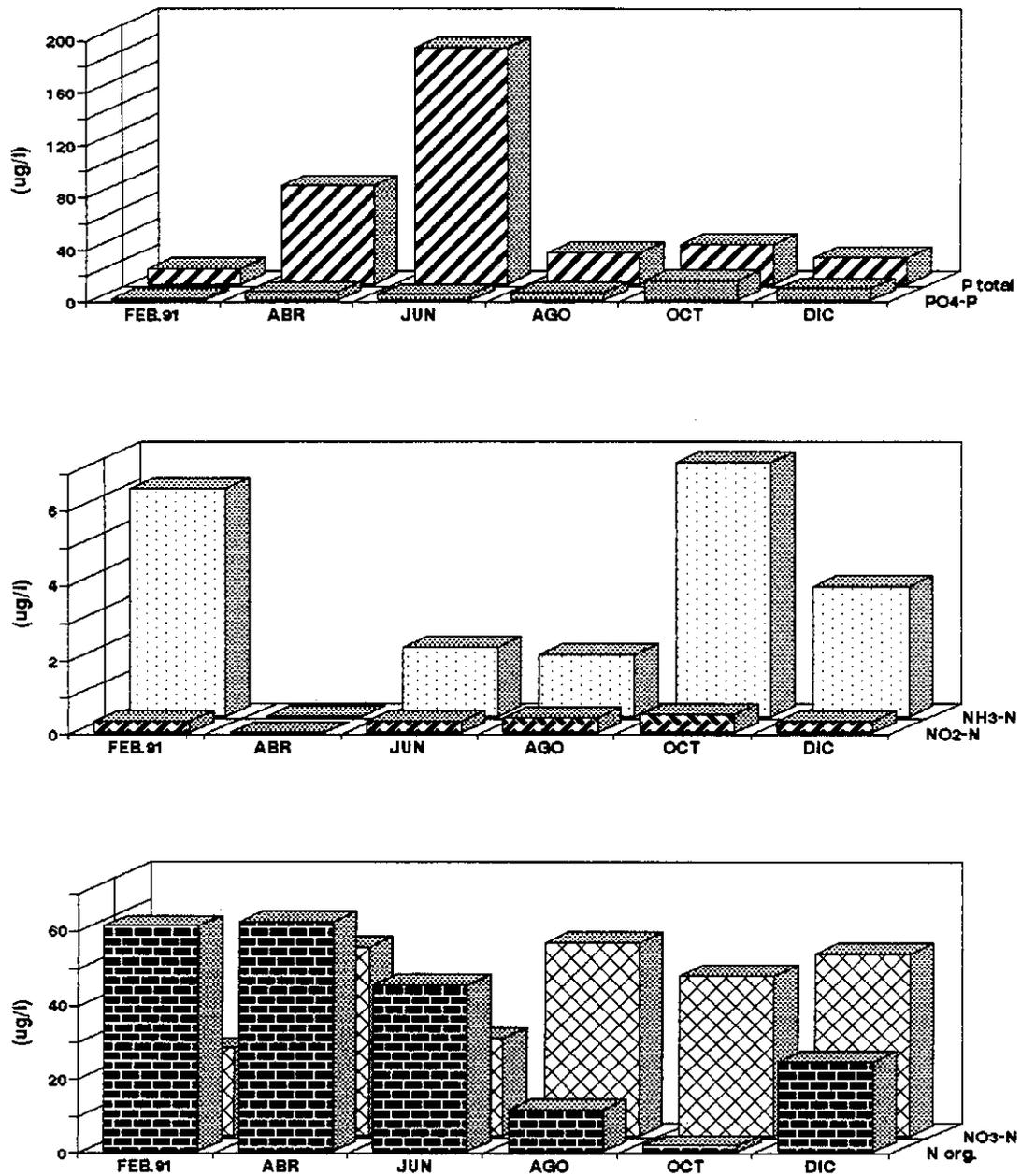


Figura 26: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Montaña, Lago Villarrica.

* **RIO EL SUIZO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal presentó un rango entre 0.4 a 6.1 m³/s (Tabla 26). En general, la mayoría de los factores físicos y químicos presentan una calidad positiva de sus aguas (Tabla 26).

El fósforo total presenta mayor concentración en invierno (junio) y disminución en el resto del año. El fósforo soluble presentó su mayor aumento en primavera (octubre) (Fig.27).

El nitrógeno de nitrato presentó concentraciones altas en el invierno con pocas variaciones durante el año. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito se presentaron sólo en tres meses siendo altas en los meses de junio y diciembre. El nitrógeno de amoníaco presentó concentraciones altas en verano y otoño (febrero y abril) y bajas en primavera (octubre). El nitrógeno orgánico a su vez, presentó alta concentración en invierno y primavera (Fig.27)

TABLA 26: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río El Suizo, Lago Villarrica.

RIO EL SUIZO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)	3.5	1.5	4.0	6.0	3.8	5.0	4.0
Area (m)	0.6	0.7	1.0	3.6	1.3	1.4	1.4
Velocidad (m/s)	0.7	1.9	1.8	1.7	0.8	0.8	1.3
Caudal (l/s)	417.0	1286.0	1780.0	6120.0	938.0	1080.0	1936.8
Tº del agua (ºC)	13.1	8.8	8.4	6.3	8.1	12.1	9.5
Color		7.0	5.0	7.0	14.0	17.5	10.1
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.1	7.5	7.2	7.3	7.0	7.0	7.2
Conductividad (uS)	64.0	47.3	44.0	41.5	58.1	63.4	53.1
DQO (mg/l)	8.3	29.0	1.7	3.9	2.6	4.7	8.4
PO4 - P (ug/l)	4.0	2.5	3.6	4.0	8.5	5.6	4.7
P total (ug/l)	7.7	7.6	180.1	4.8	15.7	23.6	39.9
NH3 - N (ug/l)	11.2	11.3	4.8	0.0	1.7	0.0	4.8
NH4 (ug/l)	14.4	14.6	6.1	0.0	2.2	0.0	6.2
NO3 (ug/l)	104.1	158.5	171.5	0.0	73.9	165.7	112.3
NO3 - N (ug/l)	31.6	35.4	38.7	0.0	16.7	34.7	26.2
NO2 - N (ug/l)	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	0.2
N orgánico (ug/l)	8.2	1.6	57.6	9.7	49.7	3.2	21.7
N total (ug/l)	40.1	37.0	96.7	9.7	66.4	38.3	48.0
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		B	B	B	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	A	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	B	B	P
P total	B	B	A	B	B	B	P
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	B	B	B	P
NH4	A	A	B	B	B	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

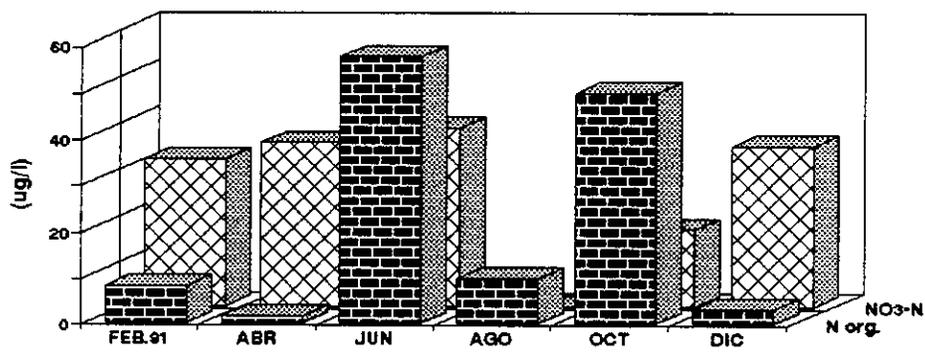
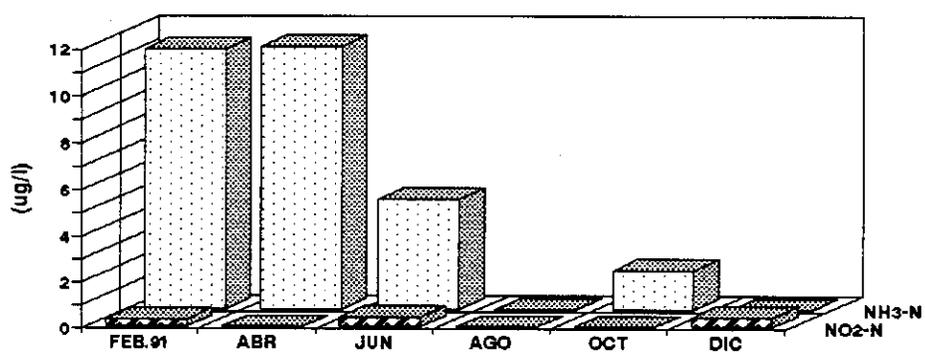
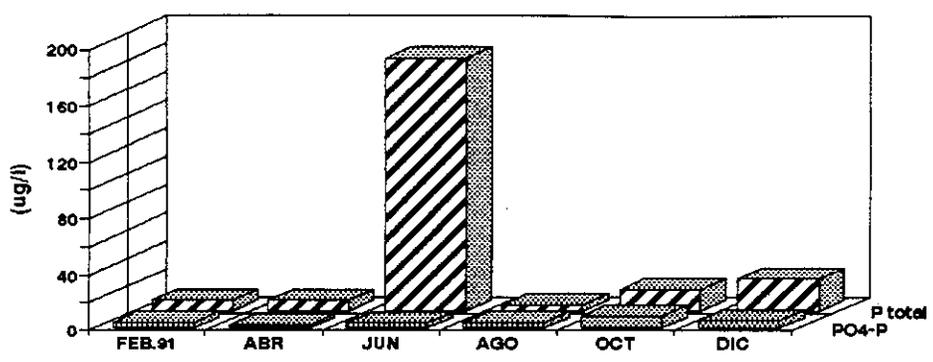


Figura 27: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río El Suizo, Lago Villarrica.

* **ARROYO MONTAÑA SUIZO**. Ubicación en Fig.5

Su caudal presentó fluctuaciones entre 0.01 a 0.46 m³/s (Tabla 27). De acuerdo a sus factores físicos y químicos existe una cantidad de parámetros que son positivos para la calidad de sus aguas siendo algunos negativos (Tabla 27).

La concentración de fósforo total presentó un máximo en el mes de agosto siendo inferiores en los otros meses. El fósforo soluble presentó un máximo en primavera (octubre) así como también en verano (febrero), con disminuciones en el resto del año (Fig.28).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato tienen un aumento en primavera en octubre, pero también en invierno (junio) con disminución hacia el verano (febrero). Las concentraciones de nitrógeno de nitrito tienen un aumento en primavera (diciembre) con disminución a finales del invierno. El nitrógeno de amoníaco presentó concentraciones altas en invierno (junio) y disminuyen durante la primavera. El nitrógeno orgánico presentó un aumento en primavera (octubre) con disminución en el resto del año especialmente en el verano (febrero) (Fig.28).

TABLA 27: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Montaña Suizo, Lago Villarrica.

A. MONTANA SUIZO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		1.0	1.0	1.4	1.3	1.2	1.2
Area (m)		0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3
Velocidad (m/s)		0.5	1.4	1.1	1.3	0.5	1.0
Caudal (l/s)	15.0	125.0	326.0	462.0	338.0	115.0	230.2
T° del agua (°C)	12.7	10.4	10.2	8.2	9.9	12.2	10.6
Color		52.5	14.0	17.5	37.5	29.0	30.1
Turbidez (mg/l)		3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
pH	7.1	7.3	7.5	7.0	6.5	7.1	7.1
Conductividad (uS)	67.8	57.3	53.5	56.4	62.8	68.8	61.1
DQO (mg/l)	19.3	42.8	0.9	5.2	3.0	8.2	13.2
PO4 - P (ug/l)	6.0	0.5	1.8	1.9	7.2	3.3	3.5
P total (ug/l)	18.4	8.5	42.5	119.7	18.6	9.4	36.2
NH3 - N (ug/l)	8.7	6.5	13.3	1.7	2.5	1.8	5.8
NH4 (ug/l)	11.2	8.4	17.2	2.2	3.2	2.3	7.4
NO3 (ug/l)	175.4	261.6	434.4	283.8	441.2	323.1	319.9
NO3 - N (ug/l)	39.6	58.4	98.1	64.1	99.6	72.9	72.1
NO2 - N (ug/l)	0.3	0.0	0.4	0.1	0.4	0.5	0.3
N orgánico (ug/l)	117.6	15.7	7.4	19.5	93.7	53.4	51.2
N total (ug/l)	157.5	74.1	105.9	83.7	193.7	126.8	123.6
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	A	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	B	B	P
P total	B	B	A	A	B	B	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	A	B	B	B	N
NH4	A	A	A	B	B	B	N
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.



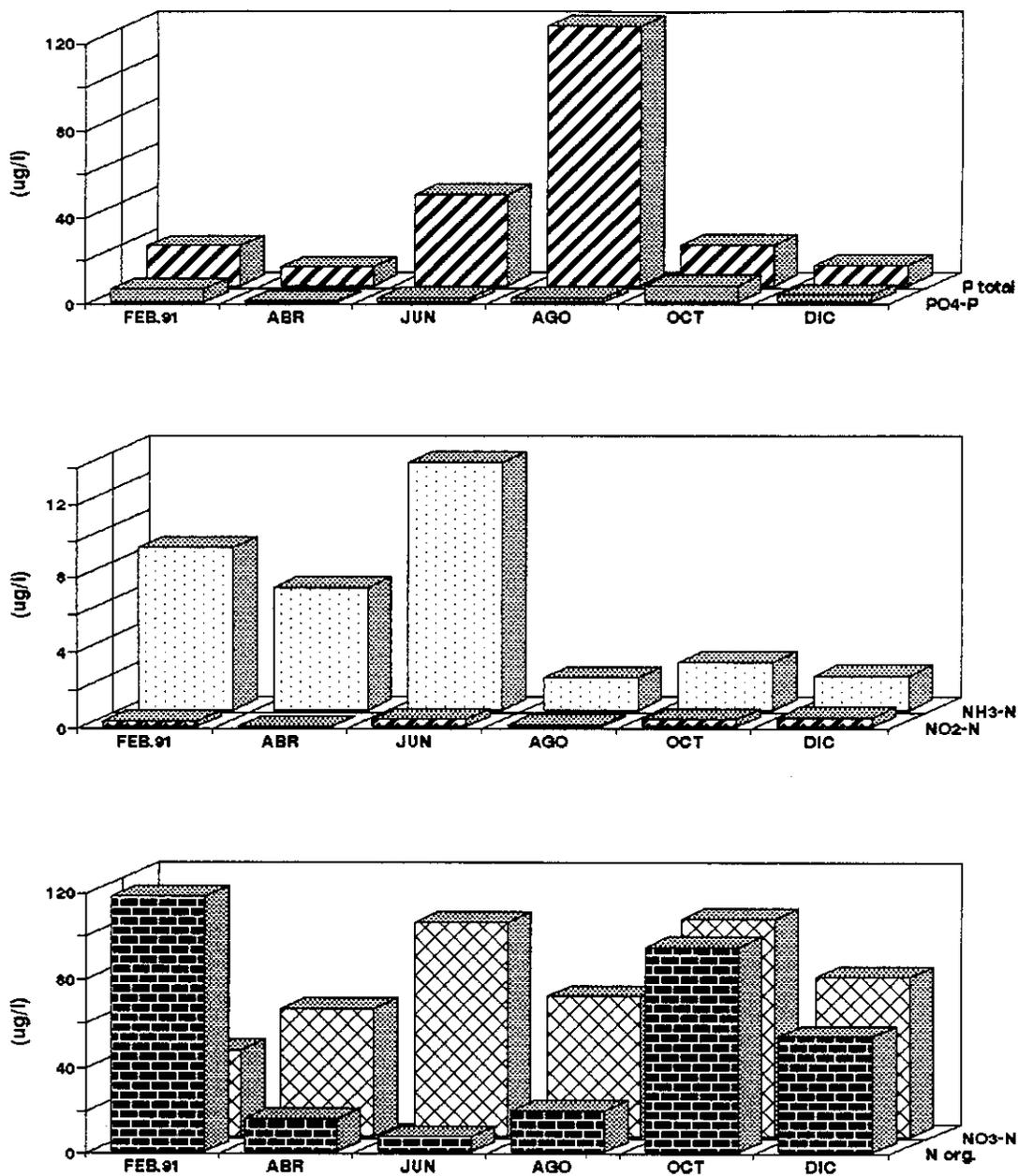


Figura 28: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Montaña Suizo, Lago Villarrica.

*** ARROYO FUNDO PESCA.** Ubicación en Fig.5

000354

Su caudal fluctúa entre 0.01 a 0.5 m³/s (Tabla 28). De acuerdo a los parámetros físicos y químicos presenta un predominio de los factores positivos de la calidad de sus aguas (Tabla 28).

Las mayores concentraciones de fósforo total se observan en el verano (febrero) como también hacia los meses de otoño y principios de invierno con una fuerte disminución a finales de invierno. El fósforo soluble presentó su máxima concentración en el mes de febrero como también en primavera (octubre) (Fig.29).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato tienen un aumento en primavera como también en otoño y una disminución en el verano. El nitrógeno de nitrito tiene un aumento en verano así como también en invierno con una fuerte disminución en el otoño. Las concentraciones de nitrógeno de amoníaco fueron altas durante el invierno (junio) y bajas durante el resto del año. El nitrógeno orgánico por su parte, mostró concentraciones altas en los meses de primavera (octubre y diciembre) y bajas en los meses de verano (Fig.29).

TABLA 28: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Fundo Pesca, Lago Villarrica.

ARROYO FUNDO PESCA	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)			2.5	2.5	1.8	1.1	2.0
Area (m ²)			0.4	0.4	0.4	0.2	0.4
Velocidad (m/s)			1.5	0.7	1.2	1.0	1.1
Caudal (l/s)	15.0	10.0	581.0	280.0	414.0	220.0	253.3
Tº del agua (°C)	13.2	10.3	10.3	8.8	10.4	12.4	10.9
Color		20.0	20.0	29.0	29.0	42.5	28.1
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.1	7.4	7.4	6.9	6.9	7.2	7.2
Conductividad (uS)	80.0	74.5	59.1	64.8	70.5	80.0	71.5
DQO (mg/l)	4.1	31.7	1.7	9.5	2.6	23.3	12.2
PO4 - P (ug/l)	12.8	7.4	4.9	6.7	12.4	8.7	8.8
P total (ug/l)	39.2	30.0	35.8	6.7	20.6	29.9	27.0
NH3 - N (ug/l)	2.6	4.9	21.9	5.1	4.2	1.8	6.8
NH4 (ug/l)	3.4	6.3	28.3	6.6	5.4	2.3	8.7
NO3 (ug/l)	104.8	284.5	237.2	178.8	165.7	388.7	226.6
NO3 - N (ug/l)	23.7	63.5	53.5	40.4	37.4	87.8	51.1
NO2 - N (ug/l)	0.6	0.0	0.7	0.1	0.4	0.5	0.4
N orgánico (ug/l)	209.5	40.6	12.1	41.3	64.4	66.0	72.3
N total (ug/l)	233.8	104.1	66.3	81.8	102.2	154.3	123.8
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	I	I	B	I	I	I	P
DQO	B	A	B	B	B	A	P
PO4 - P	A	B	B	B	A	B	P
P total	A	A	A	B	B	B	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	B	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH4	B	B	B	B	B	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

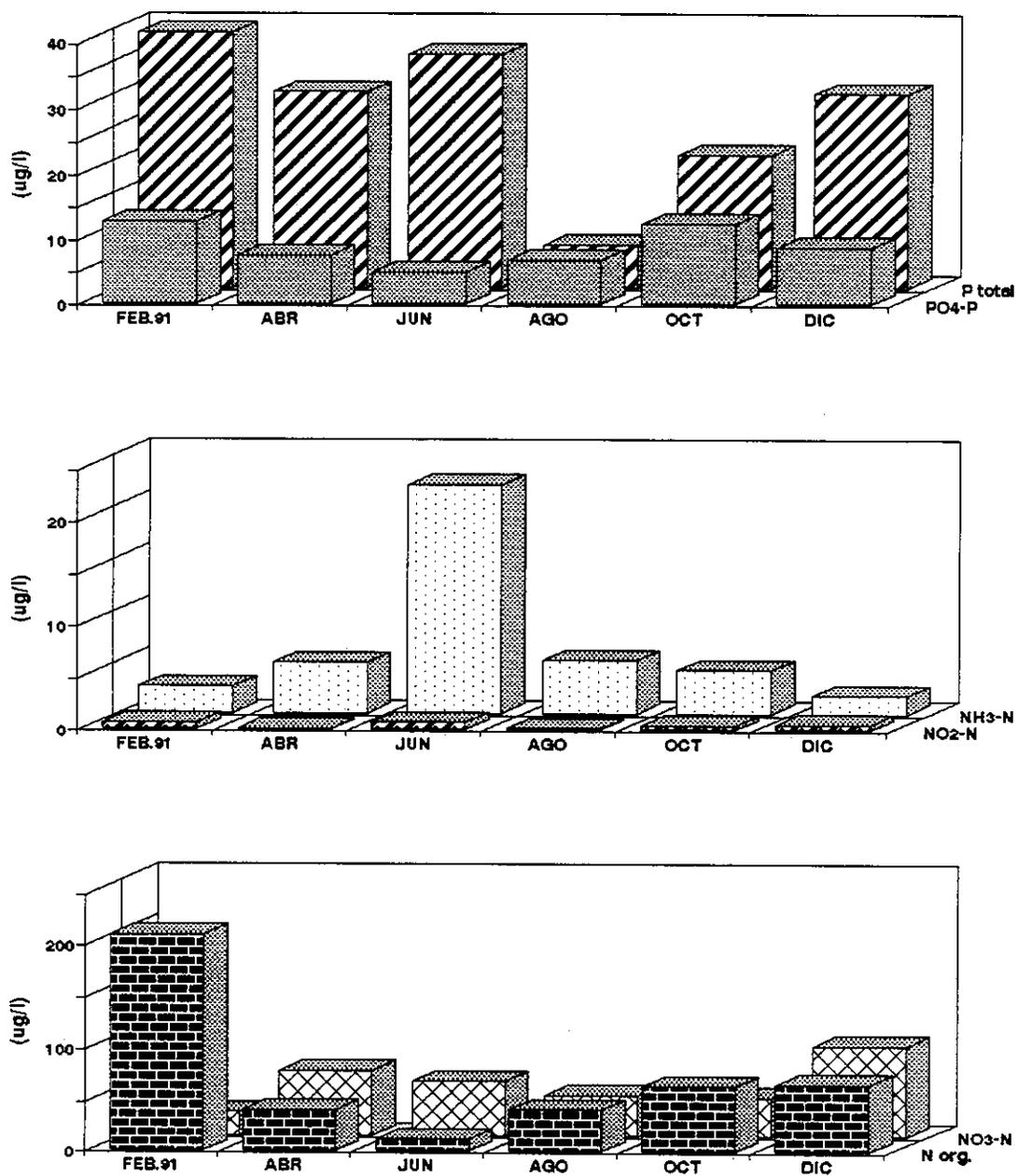


Figura 29: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Fundo Pesca, Lago Villarrica.

* **RIO EL CASTILLO.** Ubicación en Fig.5

Su caudal tiene un rango entre 0.02 a 1.4 m³/s (Tabla 29). De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos, este río presenta una condición positiva para la calidad de sus aguas (Tabla 29).

Las concentraciones de fósforo total presentaron un aumento en otoño (abril) y otro en primavera (diciembre) con una fuerte disminución en invierno en el mes de agosto. El fósforo soluble presentó en el otoño como también en primavera sus máximas concentraciones (Fig.30).

El nitrógeno de nitrato presentó un aumento en otoño sin mayores variaciones en el resto del año. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito aumentan en el verano y parte del invierno, el resto del año no se producen mayores variaciones. El nitrógeno de amoníaco tiene aumentos en el invierno (junio) con disminuciones en la primavera. El nitrógeno orgánico presentó su máxima concentración en el verano (febrero) con disminuciones en invierno (junio) (Fig.30).

TABLA 29: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Río El Castillo, Lago Villarrica.

RIO EL CASTILLO	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)		0.6	4.7	1.2	2.5	1.8	2.2
Area (m)		0.1	1.0	0.6	0.6	0.4	0.5
Velocidad (m/s)		0.5	1.4	1.4	0.8	0.4	0.9
Caudal (l/s)	20.0	58.0	1414.0	840.0	480.0	144.0	492.7
T° del agua (°C)	13.9	11.3	10.3	8.3	10.8	13.7	11.4
Color		14.0	14.0	37.5	20.0	14.0	19.9
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	7.4	7.4	7.4	6.9	7.0	7.4	7.3
Conductividad (uS)	93.0	78.8	47.4	45.0	60.0	89.4	68.9
DQO (mg/l)	12.4	46.9	0.4	8.6	1.3	3.0	12.1
PO4 - P (ug/l)	3.3	42.4	8.9	4.5	17.1	43.3	19.9
P total (ug/l)	64.9	146.5	57.8	5.3	47.4	110.4	72.1
NH3 - N (ug/l)	4.3	9.7	15.2	3.4	0.8	0.9	5.7
NH4 (ug/l)	5.5	12.5	19.6	4.4	1.0	1.2	7.4
NO3 (ug/l)	237.2	1086.2	357.7	336.3	362.5	638.0	503.0
NO3 - N (ug/l)	53.5	242.5	80.8	75.9	81.8	144.0	113.1
NO2 - N (ug/l)	0.8	0.4	0.6	0.4	0.3	0.5	0.5
N orgánico (ug/l)	178.9	57.3	12.1	23.5	39.3	0.0	51.9
N total (ug/l)	233.2	300.2	93.5	99.8	121.4	144.5	165.4
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	A	M	M	M	P
Conductividad	I	I	B	B	B	I	P
DQO	B	A	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	A	B	B	A	A	N
P total	A	A	A	B	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NO3	B	A	B	B	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	A	A	B	B	B	P
NH4	B	B	A	B	B	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

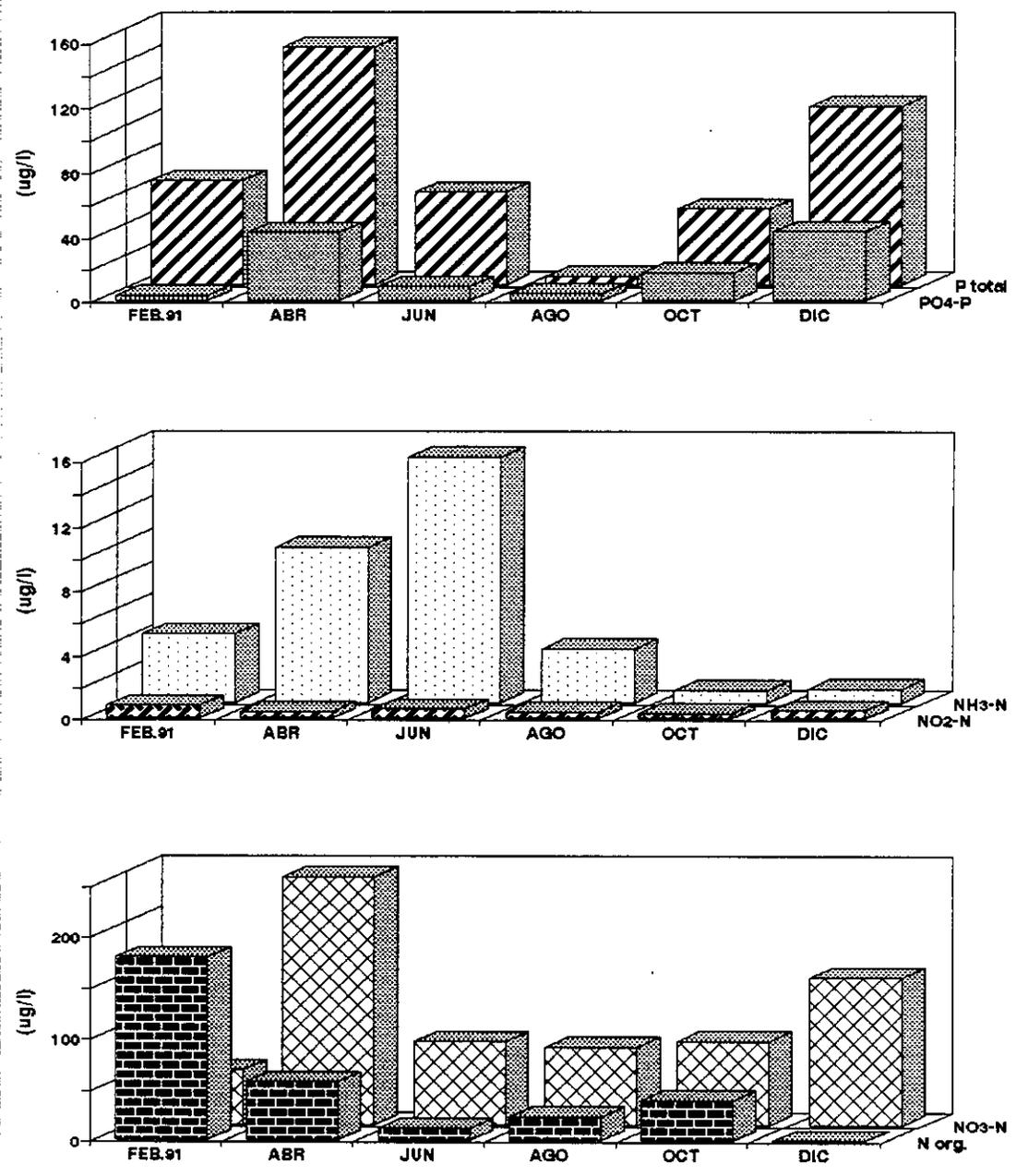


Figura 30: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río El Castillo, Lago Villarrica.

* **ARROYO LOS BOLDOS.** Ubicación en Fig.5

Su caudal presentó un rango entre 0.005 a 0.19 m³/s (Tabla 30). En general, sus aguas presentan factores positivos de acuerdo a los parámetros físicos y químicos medidos para este arroyo (Tabla 30).

Las concentraciones de fósforo total presentan un aumento en el verano (febrero) y un mínimo en el invierno (agosto). El fósforo soluble presentó también alta concentración en el verano (febrero) y también un aumento significativo en primavera (octubre) (Fig.31).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato presentan un máximo en el mes de agosto siendo bajas en el resto del año. El nitrógeno de nitrito presenta su concentración más alta en el invierno así como también en primavera y verano. El nitrógeno de amoníaco tiene un aumento en verano (febrero) sin mayores variaciones en el resto del año. El nitrógeno orgánico tiene una alta concentración en el mes de octubre así como también en el verano (febrero) disminuyendo hacia el invierno (Fig.31).

TABLA 30: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua del Arroyo Los Boldos, Lago Villarrica.

ARROYO LOS BOLDOS	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)			1.2	1.1	1.0	0.9	1.1
Area (m)			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Velocidad (m/s)			0.3	1.0	1.0	0.4	0.7
Caudal (l/s)	5.0	5.0	72.0	165.0	190.0	90.0	87.8
T° del agua (°C)	14.0	11.9	10.4	8.9	11.2	13.3	11.6
Color		29.0	29.0	20.0	29.0	29.0	27.2
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	6.9	7.4	7.2	6.9	6.9	7.3	7.1
Conductividad (uS)	68.0	72.4	58.5	52.3	63.7	71.8	64.5
DQO (mg/l)	20.7	60.7	3.0	6.9	1.7	34.5	21.3
PO4 - P (ug/l)	9.6	5.6	5.0	3.0	9.3	5.1	6.3
P total (ug/l)	113.8	25.0	62.6	3.1	21.0	26.3	42.0
NH3 - N (ug/l)	2.6	0.0	1.0	1.7	1.7	1.8	1.5
NH4 (ug/l)	3.4	0.0	1.2	2.2	2.2	2.3	1.9
NO3 (ug/l)	148.9	1109.1	292.0	1490.7	624.9	493.7	693.2
NO3 - N (ug/l)	33.6	247.6	65.9	336.5	141.1	111.4	156.0
NO2 - N (ug/l)	0.6	0.1	0.8	0.2	0.4	0.6	0.5
N orgánico (ug/l)	82.6	69.8	53.4	31.4	87.4	11.6	56.0
N total (ug/l)	116.8	317.5	120.1	368.1	228.9	123.6	212.5
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
T° del agua	M	M	M	M	M	M	N
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	M	M	M	M	M	M	P
Conductividad	M	M	B	B	B	B	P
DQO	B	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	B	B	P
P total	A	B	A	B	B	B	N
NO3 - N	B	B	B	A	B	B	P
NO3	B	B	B	A	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH4	B	B	B	B	B	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

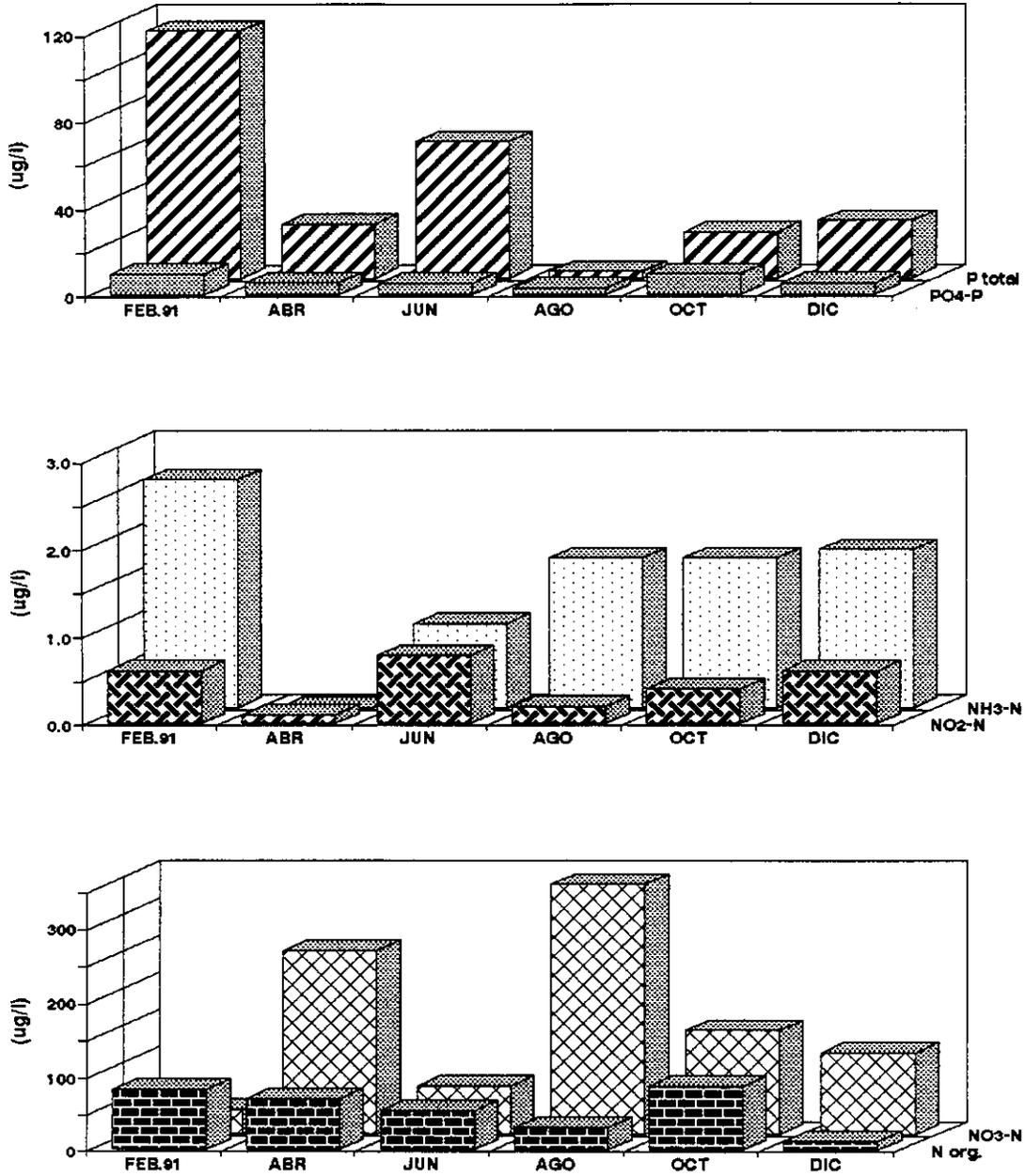


Figura 31: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Arroyo Los Boldos, Lago Villarrica.

3.2.- Efluente del lago Villarrica.

* RIO TOLTEN. Ubicación en Fig.5

El único efluente del lago Villarrica es el río Toltén. El caudal promedio fue de 236.9 m³/s a la salida del lago. Su caudal presentó un amplio rango entre 20 a 450 m³/s de acuerdo a datos proporcionados por la D.G.A. IX Región.

De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos, este río presenta una condición positiva para la calidad de sus aguas (Tabla 31).

La concentración de fósforo total aumenta en invierno (junio) pero disminuye también durante el invierno (agosto) manteniéndose bajo en la primavera. El fósforo soluble el aumento es en la primavera (octubre) siendo bajo en el resto del año (Fig.32).

Las concentraciones de nitrógeno de nitrato son altas en invierno (agosto y junio) pero disminuyen en los meses de verano. Las concentraciones de nitrógeno de nitrito tienen un aumento en la primavera (diciembre) siendo altas en el resto del año a excepción del mes de agosto en el cuál se produce la mínima. Las concentraciones de nitrógeno de amoniaco aumentan en el invierno siendo bajas hacia la primavera. El nitrógeno orgánico presenta un máximo en el mes de octubre y un mínimo en diciembre, observándose estos valores extremos en la misma estación de primavera (Fig.32).

TABLA 31: Factores morfométricos, hidrológicos, físicos, químicos y calidad del agua en el río Toltén, efluente del Lago Villarrica.

RIO TOLTEN	FEB.91	ABR.	JUN.	AGO.	OCT.	DIC.	Prom.
Ancho (m)							
Area (m)							
Velocidad (m/s)							
Caudal (l/s)							
Tº del agua (°C)	19.8	15.1	11.9	9.9	12.8	17.1	14.4
Color		7.0	7.0	14.0	2.5	5.0	7.1
Turbidez (mg/l)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH	8.1	7.6	7.3	6.9	7.3	7.5	7.5
Conductividad (uS)	63.4	62.9	60.2	63.8	66.6	69.8	64.5
DQO (mg/l)	12.4	31.7	0.4	3.9	5.6	1.3	9.2
PO4 - P (ug/l)	2.4	0.0	1.6	2.4	5.5	2.5	2.4
P total (ug/l)	36.6	34.2	46.2	3.9	10.3	8.6	23.3
NH3 - N (ug/l)	0.0	4.9	7.6	1.7	0.8	0.0	2.5
NH4 (ug/l)	0.0	6.3	9.8	2.2	1.0	0.0	3.2
NO3 (ug/l)	113.6	124.2	324.9	506.8	126.4	100.1	216.0
NO3 - N (ug/l)	25.7	27.7	73.3	114.4	28.5	22.6	48.7
NO2 - N (ug/l)	0.3	0.0	0.3	0.1	0.3	0.4	0.2
N orgánico (ug/l)	69.5	61.4	70.2	43.3	95.8	1.6	57.0
N total (ug/l)	95.5	89.1	143.8	157.8	124.6	24.6	105.9
CALIDAD DEL AGUA							CALIDAD
Tº del agua	B	B	B	B	B	B	P
Color		B	B	A	B	B	P
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	A	I	B	I	A	N
Conductividad	B	B	B	B	B	B	P
DQO	B	B	B	B	B	B	P
PO4 - P	B	B	B	B	A	B	P
P total	A	A	A	B	A	B	N
NO3 - N	B	B	B	A	B	B	P
NO3	B	B	B	A	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	A	A	B	B	B	P
NH4	B	A	A	B	B	B	P
N orgánico	B	B	B	B	B	B	P

A: Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B: Dentro de los rangos de agua limpia.

M: Desplazado a aguas limpias.

I: Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N: Calidad negativa del parámetro.

P: Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

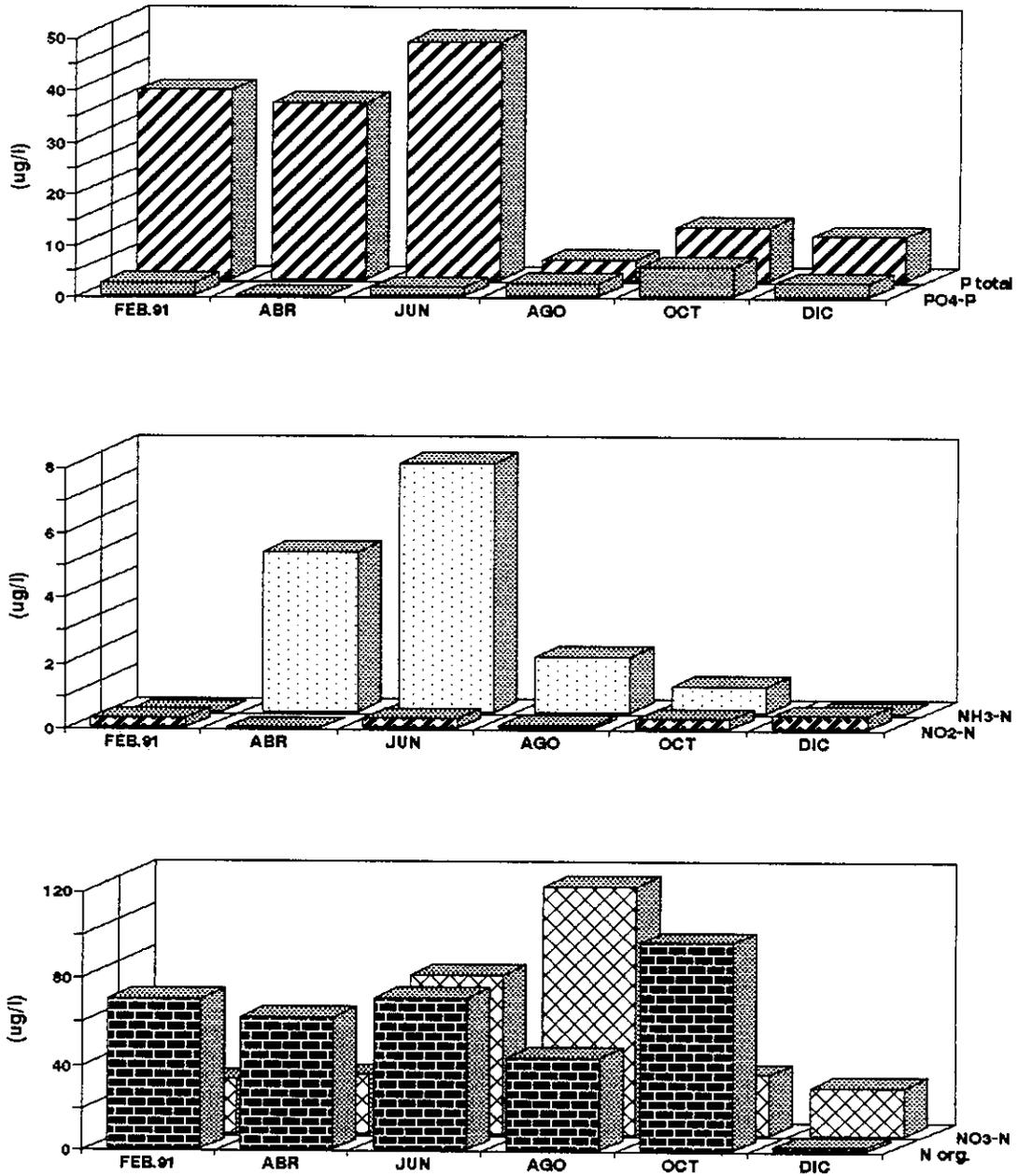


Figura 32: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en el Río Toltén, efluente del Lago Villarrica.

3.3.- Bahías del lago Villarrica.

Se estudiaron cuatro bahías y el centro del lago.

* Bahía Villarrica. Ubicación en Fig.5 :

Luz. La penetración de la luz fue medida comparativamente entre las bahías y centro del lago (Tabla 32). Se observó que el porcentaje de penetración de la luz no muestra marcadas variaciones dentro del lago. Lo mismo sucede con la transparencia. Al comparar el porcentaje de penetración de la luz y la transparencia estos valores son inferiores a las mediciones obtenidas en otros lagos del sur de Chile.

En esta bahía se realizaron análisis a 3 y 9 metros de profundidad.

La temperatura presenta las variaciones estacionales del lago. El color presenta valores altos especialmente en verano. La turbidez es baja. pH fue muy básico en verano y otoño. Conductividad fue normal. La demanda química de oxígeno en verano fue muy alta (Tabla 33).

Fósforo total fue en general alto especialmente en junio a nivel de eutroficación. El mes de junio, es el único mes donde la concentración superficial es superior a la de la profundidad. El fósforo soluble es bajo con un máximo en primavera. En la profundidad hay mayor concentración que en la superficie (Fig.33).

Nitrógeno de nitrato con bajas concentraciones entre 200 a 400 $\mu\text{g/l}$ en nivel de oligo - mesotrófico. Los máximos fueron en otoño en profundidad e invierno en superficie. Nitrógeno de nitrito con bajas concentraciones. Amonio y amoniaco fue alto en junio tanto en superficie como en profundidad. Nitrógeno orgánico fue bajo con máximo en marzo en profundidad y en junio en superficie (Fig.33).

De acuerdo a las concentraciones de Nitrógeno inorgánico la bahía se clasifica en oligo - mesotrófico. De acuerdo al fósforo total la bahía se clasifica como meso - eutrófico.

De acuerdo a sus parámetros físicos y químicos, esta bahía presenta un número importante de factores negativos en la calidad de sus aguas (Tabla 34).

TABLA 32: Luz y transparencia en bahías y centro del Lago Villarrica.

Estacion	ABRIL		JUNIO		AGOSTO		OCTUBRE		DICIEMBRE	
	Luz (uE/m ²)	Transp. (m)								
Bahía Villarrica										
0 m	420.0	10.0	300.0	6.8			550.0	8.0	180.0	12.0
5 m	100.0		35.0				120.0		57.0	
10 m	30.0		7.3				41.0		26.0	
15 m	9.3								17.5	
20 m										
25 m										
Centro del Lago										
0 m	100.0	11.0	160.0	6.5	64.0	17.0	400.0	9.0	120.0	15.0
5 m	27.5		18.5		12.5		68.0		45.0	
10 m	9.0		4.3		11.5		28.0		24.0	
15 m	3.5		0.8		3.1		17.5		20.0	
20 m	1.7		0.3		0.3		13.0		16.0	
25 m	1.0		0.0		0.0		8.5		13.0	
Bahía La Poza										
0 m	300.0	8.0	25.0	9.0	43.0	11.0	450.0		420.0	
5 m	60.0		5.7		15.0		115.0		120.0	
7 m	26.0		3.4		11.2		75.0		84.0	
Bahía Hotel Pucón										
0 m	135.0	10.0	9.5	8.0	4.0	11.0	400.0	9.0	550.0	12.0
5 m	38.0		2.4		2.2		80.0		120.0	
10 m	12.0		0.6		1.2		35.0		50.0	
15 m			0.3		0.7		20.5		22.0	
20 m			0.0		0.4		14.0		17.5	
25 m							13.0			

TABLA 33: Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 3 y 9 metros de la bahía Villarrica, Lago Villarrica.

BAHIA VILLARRICA	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	PROM.	MAX	MIN	TOTAL
T° agua (°C)										
(3 m)	19.4	15.2	11.9	9.9	11.7	17.2	14.2	19.4	9.9	13.6
(9 m)	18.6	14.2	11.9	9.9	11.6	12.1	13.1	18.6	9.9	
Color (unid.Pt-Co)										
(3 m)		17.5	7.0	14.0	5.0	7.0	10.1	17.5	5.0	15.4
(9 m)		50.0	14.0	20.0	5.0	14.0	20.6	50.0	5.0	
Turbidez (mg/l)										
(3 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
(9 m)		3.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	3.0	2.5	
pH										
(3 m)	8.0	7.5	7.3	7.2	6.8	7.4	7.4	8.0	6.8	7.4
(9 m)	8.0	7.6	7.4	7.2	7.1	7.4	7.5	8.0	7.1	
Conductividad (uS)										
(3 m)	66.0	62.3	60.6	64.7	67.8	72.2	65.6	72.2	60.6	64.9
(9 m)	65.5	61.7	60.3	64.4	67.4	66.4	64.3	67.4	60.3	
DQO (mg/l)										
(3 m)	30.3	33.1	0.0	3.5	2.6	4.7	12.4	33.1	0.0	22.1
(9 m)	16.6	143.5	0.0	19.4	3.0	8.2	31.8	143.5	0.0	
PO4-P (ug/l)										
(3 m)	0.0	0.0	1.6	2.4	4.4	1.7	1.7	4.4	0.0	2.1
(9 m)	1.4	2.1	1.6	3.1	4.6	2.0	2.5	4.6	1.4	
P total (ug/l)										
(3 m)	1.9	6.7	57.8	3.5	9.4	5.5	14.1	57.8	1.9	19.7
(9 m)	8.9	43.4	31.6	27.9	17.1	22.2	25.2	43.4	8.9	
NO3 - N (ug/l)										
(3 m)	0.0	45.6	41.2	108.5	13.7	19.6	38.1	108.5	0.0	48.3
(9 m)	0.0	135.1	53.5	108.5	16.7	37.4	58.5	135.1	0.0	
NO3 (ug/l)										
(3 m)	0.0	204.3	182.4	480.6	60.8	87.0	169.2	480.6	0.0	214.8
(9 m)	0.0	605.2	237.2	480.6	73.9	165.7	260.4	605.2	0.0	
NO2 - N (ug/l)										
(3 m)	0.2	0.0	0.3	0.2	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.2
(9 m)	0.3	0.0	0.4	0.1	0.0	0.4	0.2	0.4	0.0	
NH3 - N (ug/l)										
(3 m)	0.0	3.2	5.7	0.0	1.7	0.0	1.8	5.7	0.0	2.4
(9 m)	0.0	4.0	8.6	1.7	3.4	0.0	3.0	8.6	0.0	
NH4 (ug/l)										
(3 m)	0.0	4.1	7.4	0.0	2.2	0.0	2.3	7.4	0.0	3.1
(9 m)	0.0	5.2	11.1	2.2	4.4	0.0	3.8	11.1	0.0	
N organico (ug/l)										
(3 m)	78.2	32.3	82.7	0.0	14.2	0.0	34.6	82.7	0.0	40.9
(9 m)	122.0	44.8	20.0	0.0	51.8	45.1	47.3	122.0	0.0	
N total (ug/l)										
(3 m)	78.4	77.9	124.2	108.7	27.9	19.8	72.8	124.2	19.8	89.4
(9 m)	122.3	179.9	73.9	108.6	68.5	82.9	106.0	179.9	68.5	

TABLA 34: Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía Villarrica.

BAHIA VILLARRICA	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	CALIDAD
Tº agua	B	B	B	B	B	B	P
Color		A	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	A	B	B	B	A	N
Conductividad	M	M	M	M	M	M	P
DQO	I		B	B	B	B	N
PO4 - P	B	B	B	B	B	B	P
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N		B	B	A	B	B	P
NO3		B	B	A	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	A	A	B	A	B	N
NH4	B	A	A	B	A	B	N
N organico	B	B	B	B	B	B	P

A : Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B : Dentro de los rangos de agua limpia.

M : Desplazado a aguas limpias.

I : Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N : Calidad negativa del parámetro, es decir contaminante.

P : Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

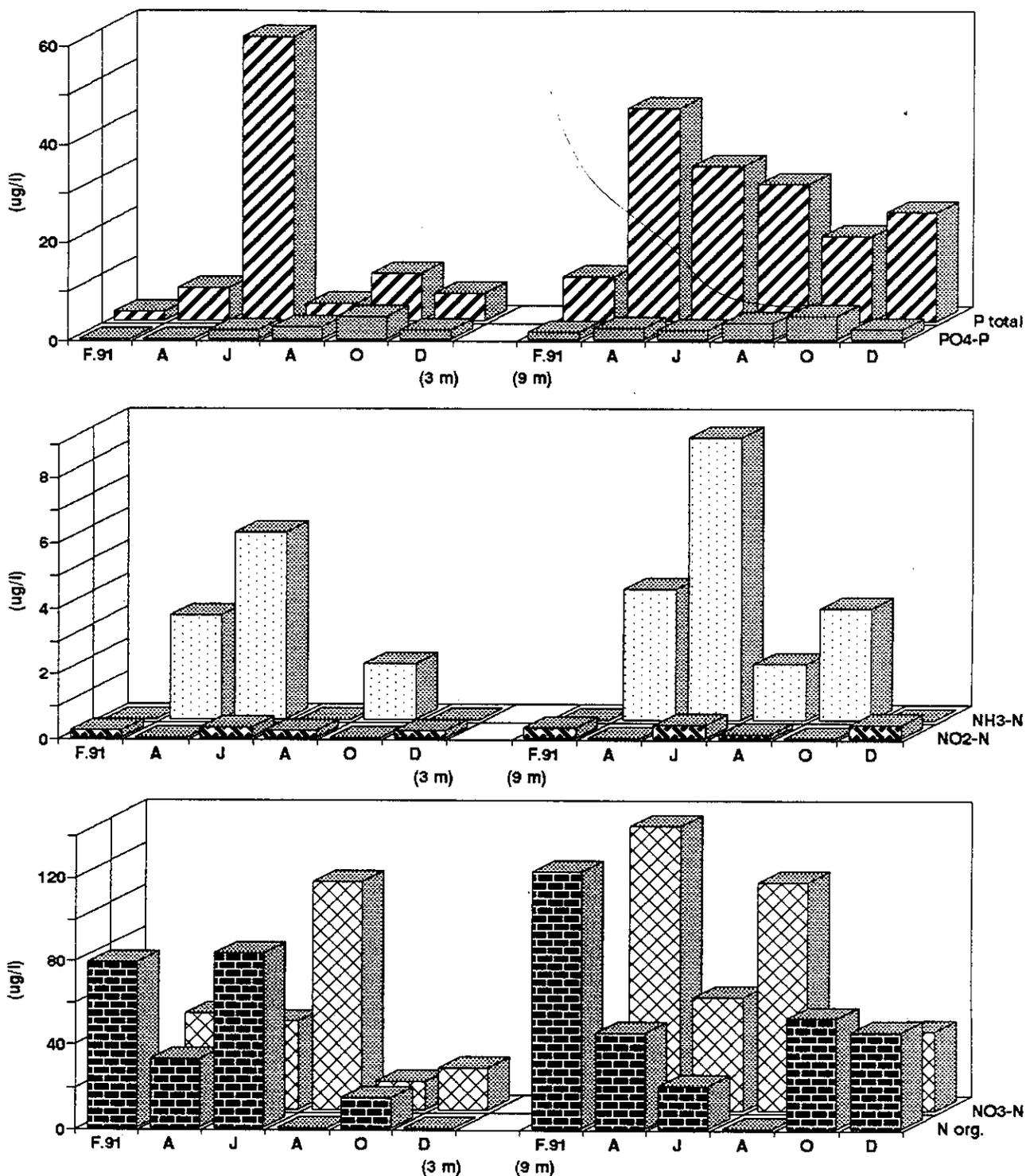


Figura 33: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía Villarrica, Lago Villarrica.

* **Bahía Marina Villarrica.** Ubicación en Fig.5

Las concentraciones medidas fueron obtenidas en muestras tomadas a nivel superficial. La temperatura de verano muy alta. El color es muy alto en la primavera. Turbidez casi sin variaciones estacionales. pH muy básico en verano y primavera. Conductividad intermedia aumenta en primavera. La demanda química de oxígeno fue intermedia aumentando en verano (Tabla 35).

Fósforo total fue alto especialmente en primavera alcanzando a un nivel de "eutrofia". Lo mismo sucede con el fósforo soluble (Fig.34).

Nitrato con concentraciones a nivel mesotrófico. El nitrito muy bajo, pero el amoniacado extraordinariamente alto en primavera. Lo mismo sucede con el nitrógeno orgánico (Fig.34).

De acuerdo a los factores físicos y químicos la mayoría de los parámetros presenta condiciones negativas para la calidad del agua (Tabla 36).

TABLA 36: Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la Bahía Marina Villarrica, Lago Villarrica.

BAHIA MARINA	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	CALIDAD
T° agua	A	A	B	B	B	A	N
Color		A	B	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	A	B	B	B	A	N
Conductividad	I	I	I	I	I	I	N
DQO	A	A	B	B	B	B	N
PO4 - P	A	B	B	A	A	A	N
P total	A	A	A	B	A	A	N
NO3 - N	B	B	B	A	A	B	P
NO3	B	B	A	A	B	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	B	A	A	A	A	A	N
NH4	B	A	A	A	A	A	N
N organico	A	B	B	B	B	A	N

A : Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B : Dentro de los rangos de agua limpia.

M : Desplazado a aguas limpias.

I : Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N : Calidad negativa del parametro, es decir contaminante.

P : Calidad positiva del parametro, es decir aguas limpias.

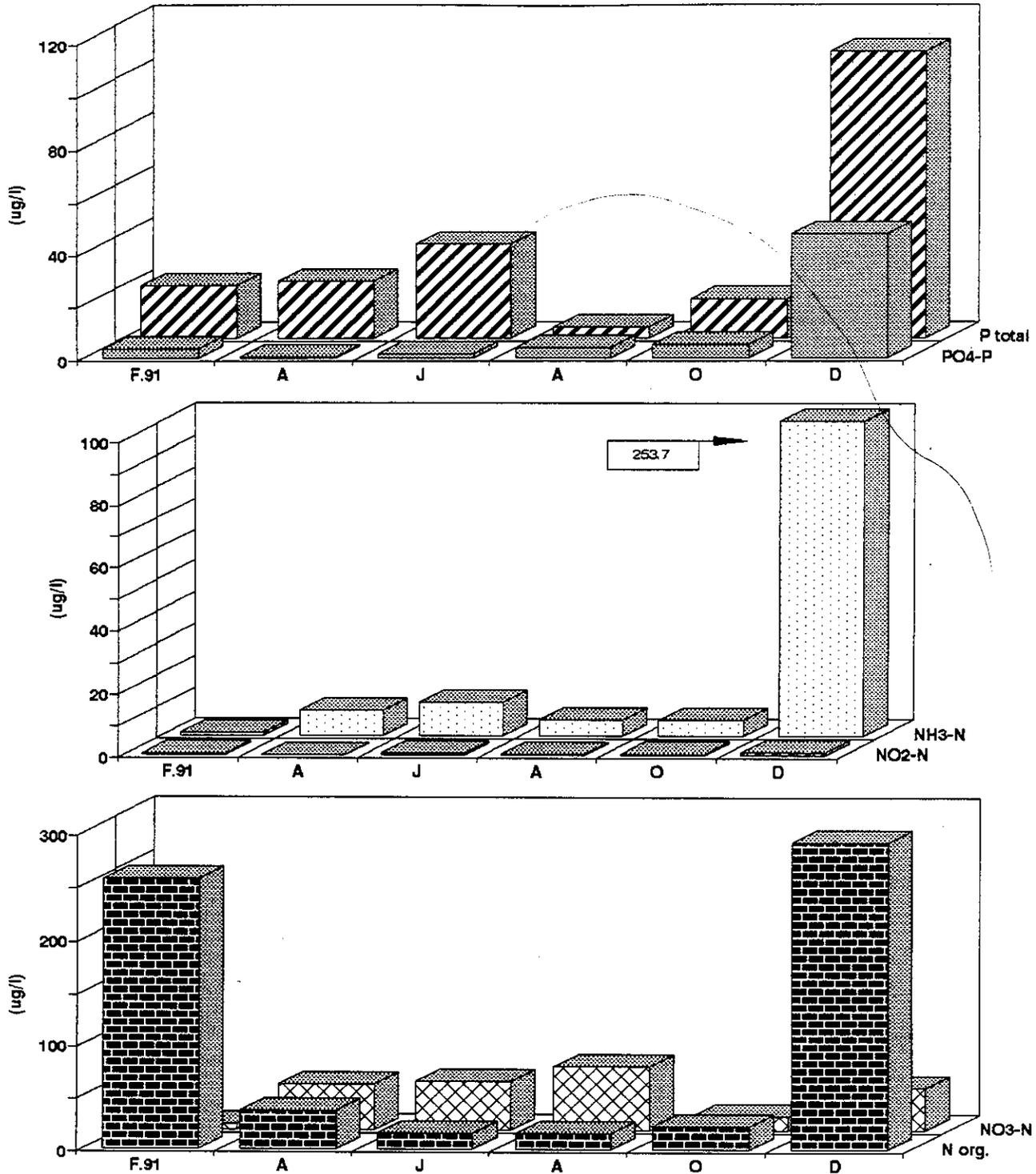


Figura 34: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la bahía Marina Villarrica, Lago Villarrica.

* **Bahía La Poza.** Ubicación en Fig.5

Las muestras fueron obtenidas a 1 y 8 metros de profundidad. Temperatura con variaciones estacionales. El color es alto en la profundidad con máximo en primavera. Turbidez baja y no varia. pH básico en verano y primavera. Conductividad alta en otoño. La demanda química de oxígeno en verano fue alta (Tabla 37).

Fósforo total fue muy alto a nivel de eutroficación y máxima concentración en verano en profundidad. Fósforo soluble alto y máximo en verano en profundidad (Fig.35)

Nitrato con concentraciones a nivel de la eutroficación con máximo en el fondo y en verano. Nitrito en baja concentración. Amoníaco muy alto en el verano en la profundidad. Amonio la misma situación. Nitrógeno orgánico alto en verano en la profundidad. En general hay mayor nitrógeno orgánico en la profundidad que en superficie (Fig.35).

De acuerdo a los factores físicos y químicos la mayoría de los parámetros presenta condiciones negativas para la calidad de las aguas en esta bahía (Tabla 38).

TABLA 37: Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 1 y 8 metros de la bahía La Poza, Lago Villarrica.

BAHIA LA POZA	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	PROM.	MAX	MIN	TOTAL
T° agua (°C)										
(1 m)	19.8	15.2	11.6	9.8	12.1	20.0	14.8	20.0	9.8	14.3
(8 m)	19.2	14.5	11.2	9.8	11.0	17.1	13.8	19.2	9.8	
Color (unid.Pt-Co)										
(1 m)		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	13.2
(8 m)		32.5	17.5	14.0	5.0	37.5	21.3	37.5	5.0	
Turbidez (mg/l)										
(1 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
(8 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
pH										
(1 m)	8.1	7.3	7.3	7.1	7.4	7.8	7.5	8.1	7.1	7.5
(8 m)	8.2	7.3	7.3	7.5	7.3	7.8	7.6	8.2	7.3	
Conductividad (uS)										
(1 m)	67.9	103.0	61.8	65.5	70.2	70.4	73.1	109.0	61.8	69.9
(8 m)	66.6	66.0	62.9	65.8	68.5	70.0	66.6	70.0	62.9	
DQO (mg/l)										
(1 m)	53.8	5.5	2.2	0.0	36.6	1.3	16.6	53.8	0.0	11.5
(8 m)	15.9	12.4	1.7	0.0	0.0	8.2	6.4	15.9	0.0	
PO4-P (ug/l)										
(1 m)	52.8	1.7	3.0	5.3	10.2	4.6	12.9	52.8	1.7	13.6
(8 m)	57.8	4.3	4.8	5.8	9.1	4.2	14.3	57.8	4.2	
P total (ug/l)										
(1 m)	104.4	43.4	14.2	23.0	22.3	18.8	37.7	104.4	14.2	44.6
(8 m)	194.5	32.4	20.7	13.8	19.8	27.3	51.4	194.5	13.8	
NO3 - N (ug/l)										
(1 m)	89.4	58.7	83.2	144.0	81.8	25.6	80.5	144.0	25.6	136.5
(8 m)	533.5	117.2	140.1	158.8	173.6	31.5	192.5	533.5	31.5	
NO3 (ug/l)										
(1 m)	0.0	204.3	182.4	480.6	60.8	87.0	169.2	480.6	0.0	214.8
(8 m)	0.0	605.2	237.2	480.6	73.9	165.7	260.4	605.2	0.0	
NO2 - N (ug/l)										
(1 m)	0.4	0.4	0.1	0.3	0.7	0.3	0.4	0.7	0.1	0.6
(8 m)	4.2	0.0	0.0	0.2	0.6	0.3	0.9	4.2	0.0	
NH3 - N (ug/l)										
(1 m)	9.4	11.9	0.0	17.0	0.0	1.8	6.7	17.0	0.0	11.0
(8 m)	51.6	33.3	0.0	5.1	0.8	0.9	15.3	51.6	0.0	
NH4 (ug/l)										
(1 m)	12.1	15.4	0.0	21.9	0.0	2.3	8.6	21.9	0.0	14.2
(8 m)	66.6	43.0	0.0	6.6	1.0	1.2	19.7	66.6	0.0	
N organico (ug/l)										
(1 m)	104.5	95.0	0.0	23.3	32.5	15.8	45.2	104.5	0.0	55.6
(8 m)	157.0	86.7	40.9	66.8	28.3	15.8	65.9	157.0	15.8	
N total (ug/l)										
(1 m)	194.3	154.1	83.3	167.6	115.0	41.7	126.0	194.3	41.7	192.6
(8 m)	694.7	203.9	181.0	225.8	202.5	47.6	259.3	694.7	47.6	

TABLA 38: Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía La Poza, Lago Villarrica.

BAHIA LA POZA	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	CALIDAD
T° agua	B	B	B	B	B	B	P
Color		A	A	A	B	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	I	I	I	A	A	N
Conductividad	I	A	I	I	I	I	N
DQO	A	B	B	B	A	B	N
PO4 - P	A	B	B	A	A	A	N
P total	A	A	A	B	A	A	N
NO3 - N	A	A	A	A	A	A	N
NO3	A	A	A	A	A	A	N
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	B	A	B	B	N
NH4	A	A	B	A	B	B	N
N organico	I	I	B	I	B	B	N

A : Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B : Dentro de los rangos de agua limpia.

M : Desplazado a aguas limpias.

I : Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N : Calidad negativa del parámetro, es decir contaminante.

P : Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

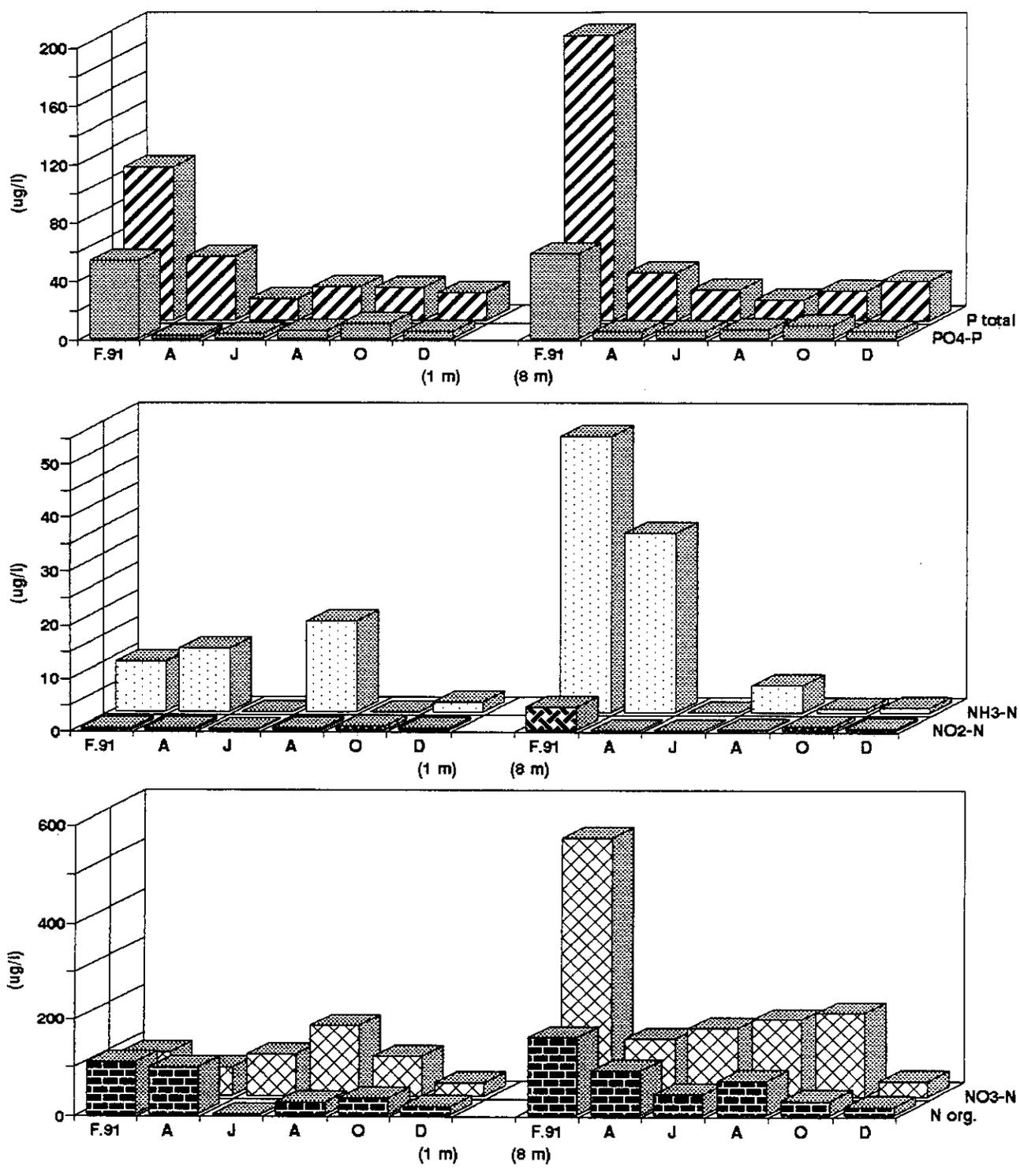


Figura 35: Concentración de nutrientes (P total, PO4-P, NH3-N, NO2-N, NO3-N y N orgánico) en la Bahía La Poza, Lago Villarrica.

* **Bahía Hotel Pucón.** Ubicación en Fig.5

Las mediciones fueron realizadas a 1 y 10 metros de profundidad. La temperatura fue alta para la bahía. El color fue alto en primavera. Turbidez normal. pH muy básico en verano. Conductividad intermedia que sube en primavera. La demanda química de oxígeno fue muy alta en el verano (Tabla 39).

Fósforo total se encuentra en mayor concentración en la profundidad que en la superficie. La concentración promedio está a nivel de "meso - eutrófico". El fósforo soluble tuvo un máximo en superficie en primavera superando al de profundidad (Fig.36).

Nitrato con una concentración promedio a nivel de "oligo - mesotrófico". Su mayor concentración fue en aguas superficiales de invierno. El nitrito fue bajo con un máximo en primavera. El amonio y amoniaco fueron muy altos en la profundidad en verano. Lo mismo sucedió con el nitrógeno orgánico (Fig.36).

De acuerdo a los parámetros físicos y químicos, la mayoría de los parámetros presentan condiciones negativas en la calidad de las aguas de esta bahía (Tabla 40).

TABLA 39: Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 1 y 10 metros de la bahía Hotel Pucón, Lago Villarrica.

BAHIA HOTEL PUCON	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	PROM.	MAX	MIN	TOTAL
T° agua (°C)										
(1 m)	20.0	15.7	11.6	9.9	12.6	19.8	14.9	20.0	9.9	14.6
(10 m)	20.0	15.0	11.6	10.1	12.0	17.1	14.3	20.0	10.1	
Color (unid.Pt-Co)										
(1 m)		7.0	5.0	5.0	20.0	5.0	8.4	20.0	5.0	6.9
(10 m)		2.5	5.0	5.0	7.0	7.0	5.3	7.0	2.5	
Turbidez (mg/l)										
(1 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
(10 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
pH										
(1 m)	8.1	7.5	7.1	7.5	7.2	7.6	7.5	8.1	7.1	7.5
(10 m)	8.1	7.6	7.2	7.4	7.3	7.7	7.6	8.1	7.2	
Conductividad (uS)										
(1 m)	66.9	63.7	61.6	63.5	67.9	72.6	66.0	72.6	61.6	67.6
(10 m)	63.2	63.3	61.3	63.4	67.2	96.2	69.1	96.2	61.3	
DQO (mg/l)										
(1 m)	17.9	5.5	26.7	5.2	5.6	4.3	10.9	26.7	4.3	42.0
(10 m)	365.5	17.9	25.0	25.0	0.9	4.3	73.1	365.5	0.9	
PO4-P (ug/l)										
(1 m)	4.3	0.3	2.5	4.2	6.9	3.0	3.5	6.9	0.3	3.4
(10 m)	1.5	0.8	3.1	4.2	6.1	4.1	3.3	6.1	0.8	
P total (ug/l)										
(1 m)	13.3	7.6	17.1	7.6	16.1	6.0	11.3	17.1	6.0	13.6
(10 m)	5.5	10.8	37.9	10.8	14.0	16.9	16.0	37.9	5.5	
NO3 - N (ug/l)										
(1 m)	5.7	40.5	88.2	155.9	40.4	22.6	58.9	155.9	5.7	58.9
(10 m)	3.7	35.4	80.8	129.2	81.8	22.6	58.9	129.2	3.7	
NO3 (ug/l)										
(1 m)	25.4	179.6	390.6	690.5	178.8	100.1	260.8	690.5	25.4	260.9
(10 m)	16.6	156.9	357.7	572.4	362.5	100.1	261.0	572.4	16.6	
NO2 - N (ug/l)										
(1 m)	0.3	0.0	0.1	0.4	0.6	0.0	0.2	0.6	0.0	0.2
(10 m)	0.3	0.0	0.2	0.1	0.6	0.0	0.2	0.6	0.0	
NH3 - N (ug/l)										
(1 m)	15.0	76.9	5.7	0.9	6.8	2.7	18.0	76.9	0.9	24.0
(10 m)	98.6	70.5	4.8	2.6	2.5	0.9	30.0	98.6	0.9	
NH4 (ug/l)										
(1 m)	19.4	99.2	7.4	1.2	8.8	3.5	23.3	99.2	1.2	31.0
(10 m)	127.2	90.9	6.2	3.4	3.2	1.2	38.7	127.2	1.2	
N organico (ug/l)										
(1 m)	65.1	86.7	0.0	15.3	49.3	40.9	42.9	86.7	0.0	45.1
(10 m)	25.7	99.1	66.0	7.4	36.7	49.3	47.4	99.1	7.4	
N total (ug/l)										
(1 m)	71.1	127.2	88.3	171.6	90.3	63.5	102.0	171.6	63.5	104.2
(10 m)	29.7	134.5	147.0	136.7	119.1	71.9	106.5	147.0	29.7	

TABLA 40: Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua de la bahía Hotel Pucón, Lago Villarrica.

BAHIA HOTEL PUCO	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	CALIDAD
T° agua	A	A	A	A	A	A	N
Color		B	B	B	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	A	B	A	B	A	N
Conductividad	I	I	I	I	I	I	N
DQO	A	B	I	I	B	I	N
PO4 - P	A	B	A	A	A	A	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	B	B	I	A	I	B	P
NO3	B	B	I	A	I	B	P
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	A	B	A	B	N
NH4	A	A	A	B	A	B	N
N organico	B	B	B	B	B	B	P

A : Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B : Dentro de los rangos de agua limpia.

M : Desplazado a aguas limpias.

I : Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N : Calidad negativa del parámetro, es decir contaminante.

P : Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

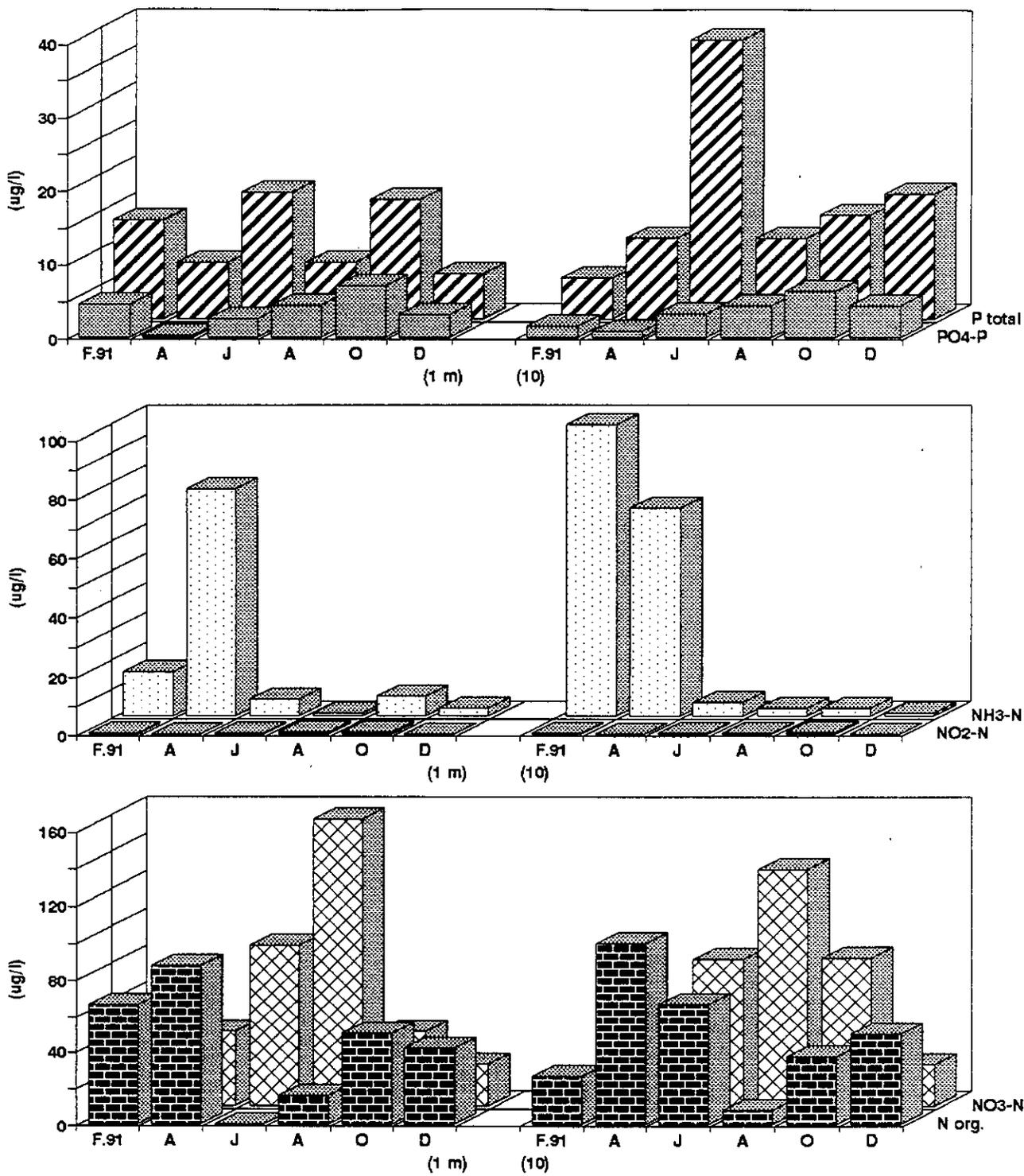


Figura 36: Concentración de nutrientes (P total, PO₄-P, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N y N orgánico) en la bahía Hotel Pucón, Lago Villarrica.

* **Centro del lago.** Ubicación en Fig.5

En el centro del lago se hicieron mediciones a los 3, 30 y 160 metros de profundidad. La temperatura presentó las variaciones estacionales y estratificación de verano. El color fue muy alto en invierno y primavera en superficie como en profundidad. La turbidez no muestra variaciones. pH muy básico en verano. Conductividad con valores intermedios y máximo en primavera. La demanda química de oxígeno fue muy alta en otoño (Tabla 41).

Fósforo total presentó el promedio de un lago "meso - eutrófico". Las máximas concentraciones fueron en junio en la profundidad. Sin embargo, el fósforo soluble aumenta en primavera (octubre) en la profundidad y seguido hasta la superficie (Fig.37).

Nitrato presentó una concentración a nivel de un lago "oligo - mesotrófico". Sus máximas concentraciones fueron en la profundidad en otoño. El nitrito fue muy bajo con un gran aumento en invierno a los 30 metros de profundidad. El amoniaco y amonio presentaron concentraciones en superficie casi todo el año con un fuerte aumento a los 30 metros de profundidad en febrero. Nitrógeno orgánico presentó máximos en profundidad en otoño y a los 30 metros en invierno (Fig.37).

De acuerdo a los parámetros físicos y químicos, las condiciones de la calidad del agua presentan en general condiciones negativas (Tabla 42).

TABLA 41: Factores físicos y químicos obtenidos en profundidades de 3, 30 y 160 metros de profundidad en el centro del lago Villarrica.

CENTRO DEL LAGO	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	PROM.	MAX	MIN	TOTAL
T° agua (°C)										
(3 m)	19.9	15.1	11.4	9.9	10.8	17.7	14.1	19.9	9.9	12.2
(30 m)	15.5	13.6	11.5	9.9	10.5	11.5	12.1	15.5	9.9	
(160 m)	10.4	10.6	10.3	9.9	10.0	10.4	10.3	10.6	9.9	
Color (unid.Pt-Co)										
(3 m)		2.5	14.0	20.0	14.0	7.0	11.5	20.0	2.5	10.7
(30 m)		2.5	14.0	7.0	5.0	14.0	8.5	14.0	2.5	
(160 m)		20.0	5.0	14.0	14.0	7.0	12.0	20.0	5.0	
Turbidez (mg/l)										
(3 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
(30 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
(160 m)		2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
pH										
(3 m)	8.0	7.0	7.9	7.1	6.5	7.0	7.3	8.0	6.5	7.1
(30 m)	7.6	6.8	7.9	7.2	6.5	7.2	7.2	7.9	6.5	
(160 m)	7.5	6.4	7.5	6.0	6.5	7.1	6.8	7.5	6.0	
Conductividad (uS)										
(3 m)	65.7	62.0	61.8	65.1	67.3	73.3	65.9	73.3	61.8	64.9
(30 m)	61.9	62.5	60.7	65.0	67.8	67.7	64.3	67.8	60.7	
(160 m)	61.0	61.7	61.7	63.3	70.4	69.2	64.6	70.4	61.0	
DQO (mg/l)										
(3 m)	2.8	35.9	0.4	4.3	2.2	3.9	8.3	35.9	0.4	7.6
(30 m)	9.7	20.7	0.4	2.6	2.6	2.6	6.4	20.7	0.4	
(160 m)	19.3	24.8	0.0	0.0	2.2	1.7	8.0	24.8	0.0	
PO4-P (ug/l)										
(3 m)	0.0	0.0	1.8	3.6	4.2	1.8	1.9	4.2	0.0	3.2
(30 m)	2.3	1.0	1.9	3.0	5.4	2.5	2.7	5.4	1.0	
(160 m)	8.0	2.9	3.7	3.2	7.7	4.8	5.1	8.0	2.9	
P total (ug/l)										
(3 m)	1.8	28.3	21.7	10.4	13.2	4.0	13.2	28.3	1.8	25.4
(30 m)	43.5	30.9	47.1	19.5	11.1	26.8	29.8	47.1	11.1	
(160 m)	34.3	7.6	130.9	5.3	12.3	7.9	33.1	130.9	5.3	
NO3 - N (ug/l)										
(3 m)	1.8	9.8	51.1	87.8	28.5	61.1	40.0	87.8	1.8	81.5
(30 m)	5.7	78.8	43.7	81.8	93.7	70.0	62.3	93.7	5.7	
(160 m)	103.3	278.2	125.3	75.9	102.6	167.7	142.2	278.2	75.9	
NO3 (ug/l)										
(3 m)	7.8	44.0	226.3	388.7	126.4	270.7	177.3	388.7	7.8	362.0
(30 m)	25.4	353.2	193.4	362.5	415.0	310.0	276.6	415.0	25.4	
(160 m)	457.7	1246.5	555.0	336.3	454.3	742.9	632.1	1246.5	336.3	
NO2 - N (ug/l)										
(3 m)	0.3	0.0	0.3	0.0	0.4	0.3	0.2	0.4	0.0	0.2
(30 m)	0.4	0.0	0.3	0.6	0.0	0.4	0.3	0.6	0.0	
(160 m)	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.3	0.1	0.3	0.0	
NH3 - N (ug/l)										
(3 m)	2.6	5.7	5.7	2.6	5.9	0.0	3.8	5.9	0.0	5.4
(30 m)	21.6	17.0	5.7	0.9	3.4	9.7	9.7	21.6	0.9	
(160 m)	0.0	4.9	11.4	0.0	0.0	0.0	2.7	11.4	0.0	
NH4 (ug/l)										
(3 m)	3.4	7.4	7.4	3.4	7.6	0.0	4.9	7.6	0.0	7.0
(30 m)	27.9	21.9	7.4	1.2	4.4	12.5	12.6	27.9	1.2	
(160 m)	0.0	6.3	14.7	0.0	0.0	0.0	3.5	14.7	0.0	
N organico (ug/l)										
(3 m)	139.5	69.8	12.1	17.6	51.8	49.3	56.7	139.5	12.1	53.5
(30 m)	152.6	24.0	103.7	1.7	56.0	49.3	64.6	152.6	1.7	
(160 m)	21.3	103.0	0.0	39.1	70.7	1.6	39.3	103.0	0.0	
N total (ug/l)										
(3 m)	141.6	79.6	63.5	105.4	80.7	110.7	96.9	141.6	63.5	135.2
(30 m)	158.7	102.8	147.7	84.1	149.7	119.7	127.1	158.7	84.1	
(160 m)	124.9	381.2	125.5	115.0	173.3	169.6	181.6	381.2	115.0	

TABLA 42: Clasificación de los parámetros físico-químicos para determinar la calidad del agua del centro del lago Villarrica.

CENTRO DEL LAGO	FEB.91	ABR	JUN	AGO	OCT	DIC.	CALIDAD
T° agua	B	B	B	B	B	B	P
Color		B	A	A	A	A	N
Turbidez		B	B	B	B	B	P
pH	A	B	A	B	A	B	N
Conductividad	I	I	I	I	I	I	P
DQO	B	I	B	B	B	B	P
PO4 - P	I	B	B	I	A	I	N
P total	A	A	A	A	A	A	N
NO3 - N	I	A	I	I	A	A	N
NO3	I	A	I	I	A	A	N
NO2 - N	B	B	B	B	B	B	P
NH3 - N	A	A	A	B	A	B	N
NH4	A	A	A	B	A	B	N
N organico	B	B	B	B	B	B	P

A : Por sobre los niveles de agua limpia, es decir contaminante.

B : Dentro de los rangos de agua limpia.

M : Desplazado a aguas limpias.

I : Valores entre el límite máximo de aguas limpias e inicio de contaminación.

N : Calidad negativa del parámetro, es decir contaminante.

P : Calidad positiva del parámetro, es decir aguas limpias.

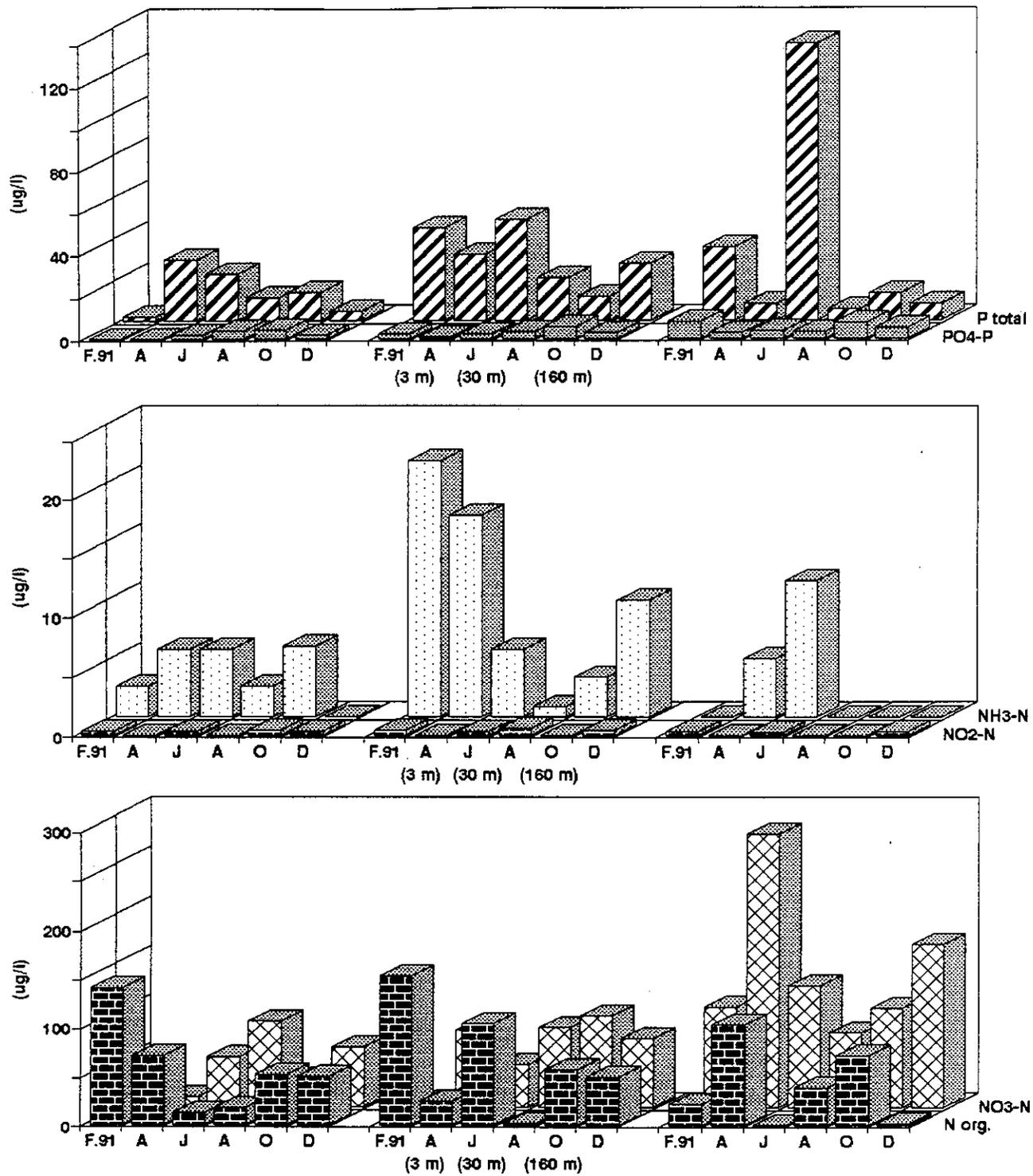


Figura 37: Concentración de nutrientes (P total, PO₄-P, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N y N orgánico) en el centro del lago Villarrica.

4.- BALANCE DE P total EN EL LAGO VILLARRICA

4.1.- Carga natural de Fósforo total de los afluentes del lago.

$$L_N = (Q_{\text{Feb}} * [P]_{\text{Feb}} + Q_{\text{Mar}} * [P]_{\text{Mar}} + \dots) / A_o = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

$$L_N = 541.1 \text{ mg/m}^2/\text{año (Tabla 43).}$$

Donde:

El cálculo de Q * P durante los meses se explican en página (129).-

Q = caudal mensual (m³/mes)

[P] = concentración de fósforo total del mes

Ao = Area del lago = 175.87 km²

4.2.- Concentración calculada de P_{total} del lago

$$P_{\text{total}} = (L_N * (1 - R) / (z * f) = \text{mg/m}^3$$

$$P_{\text{total}} = 4.2 \text{ mg/m}^3$$

donde:

L_N = 541.1 mg/m²/año (carga de fósforo total de los afluentes).

τ_w = 2.3 años

z = 120 m (profundidad media).

f = 0.43 (renovación anual = 1/τ_w = 1 / 2.3 = 0.43)

- Cálculo de R :

$$R = (1) / (1 + (1/\tau_w))$$

luego:

$$R = 0.60$$

- **Concentración de fósforo total calculada para todo el volumen (V) del lago de acuerdo al aporte de sus afluentes.**

donde:

V = 21 Km³ (Volumen del lago).

P_{total} = 4.2 mg/m³ = μg/l

V * P_{total} = 88.2 toneladas de Fósforo total.

Se registraron 88.2 toneladas de fósforo total que tendría el lago de acuerdo a la carga de sus afluentes en el año 1991.

- **Promedio de P_{total} .**

Se considera como promedio representativo del lago los valores obtenidos en el centro del lago. Este valor representa al gran volumen del lago. Los valores parciales de las bahías, especialmente La Poza (con alto valor de P_{total}) representan una mínima porción del volumen.

El promedio anual en el centro del lago en 1991 fue de $25.4 \mu\text{g/l}$.

- **Concentración de P_{total} de acuerdo a medición directa en el centro del lago y en el volumen del lago.**

donde:

$$x = 25.4 \mu\text{g/l}$$

$$V = 21 \text{ km}^3$$

luego:

$$x_{Pt} * V = 533.4 \text{ toneladas.}$$

El volumen del lago Villarrica de acuerdo al promedio de fósforo total considerado tendría 533.4 toneladas.

La diferencia de fósforo total calculado de los afluentes de 88.2 toneladas, con las 533.4 toneladas da una diferencia de 445.2 toneladas de fósforo total de concentración acumulada en el lago al inicio del período de estudio.

4.3.- Cálculo de la carga de fósforo total en el lago Villarrica según su área.

$$L_{Pt} = ([P \text{ lago}] * Z * f) / (1 - R) = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

$$L_{Pt} = \text{carga de fósforo total de acuerdo a su concentración de } P_{total}.$$

$$\bar{x}_{Pt} \text{ lago} = 25.4 \text{ mg/m}^3$$

$z = 120$ m (profundidad media)

$f = 0.43$ (renovación anual = $1 / 2.3$)

$R = 0.60$ (valor de sedimentación)

$(1 - R) = 0.40$

$A_o = 175.87$ km² (área del lago)

La carga en toda el área del lago se calcula como:

$L_{Pt} = 3276.6$ mg/m²/año, y

$A_o = 175.87$ km²,

luego:

$L_{Pt} * A_o = 576.2$ toneladas

- **Diferencia entre la carga de los afluentes y la carga del lago según su promedio en 1991.**

La carga en el área del lago por los afluentes fue de

$L_N = 541.4$ mg/m²/año.

La carga en toda el área del lago según su promedio:

$L_{Pt} = 3276.6$ mg/m²/año

La diferencia entre el valor calculado del área del lago de acuerdo a su promedio, por la carga aportada por los afluentes, entrega una concentración mayor:

$L_{Ptotal} - L_N = 3276.6 - 541.4 = 2735.2$ mg/m²/año

Este valor correspondería a la concentración de fósforo total acumulado en el lago al inicio del período de mediciones.

4.4.- Tiempo de residencia.

$$\tau_P / \tau_w = (P\alpha / P_i) / (V / Q)$$

donde:

$P\alpha = 25.4$ mg/m³ (promedio de P_{total} en el centro del lago).

$P_i = 4.2$ mg/m³ (carga de fósforo total en el lago por los afluentes).

$$\tau_w = V/Q = 2.3 \text{ años (renovación teórica total).}$$

luego:

$$\tau_p / \tau_w = (25.4 / 4.2) / (2.3) = 2.63 \text{ años,}$$

este valor equivale teóricamente al tiempo de residencia del fósforo total en el lago.

4.5.- Carga crítica.

$$L_c = 17 * (z / \tau_w)^{0.6} * (z)^{0.4} \text{ (Vollenweider, 1976)}$$

$$L_c = 1237.6 \text{ mgP/m}^2$$

donde:

$$z = 120 \text{ m (profundidad media del lago).}$$

$$\tau_w = 2.3 \text{ años (renovación teórica anual).}$$

Este valor es la "carga específica crítica" del lago para mantenerlo en condiciones de oligotrofia. Se considera que el lago alcanza la situación de eutrofia, con el doble de su carga crítica. El doble de la carga crítica (1237.6mgP/m²) es de 2475.2 mgP/m² al año.

La carga medida (L_{Ptotal}) de fósforo total del lago fue de 3276.6 mgP/m²/año. Esta concentración supera el mínimo en 1237.6 mgP/m²/año (L_c) en 2039 mg/m²/año.

La carga medida ($L_{\text{Ptotal}} = 3276.6 \text{ mg/m}^2/\text{año}$) dividida por z/τ_w nos muestra la carga en mg/m³ que recibiría el lago, es decir:

$$L_{\text{Ptotal}} / (z/\tau_w) = 62.8 \text{ mg/m}^3$$

donde:

$$L_{\text{Ptotal}} = 3276.6 \text{ mg/m}^2/\text{año}$$

$$z = 120 \text{ m (profundidad media)}$$

$$\tau_w = 2.3 \text{ años (renovación total)}$$

Esta concentración es muy superior a la que se midió en el centro del lago (25.4 mg/m³) en 37.7 mg/m³, (62.8 - 25.4).

4.6.- Efluente : Río Toltén.

El cálculo de salida de fósforo total del lago por el río Toltén, lo calculamos en forma aproximada de acuerdo a su caudal promedio anual de 236.9 m³/s en 1991, de

acuerdo a los antecedentes proporcionados por la DGA X Región.

000390

La concentración de fósforo total del río Toltén en el desagüe presentó un promedio de 23.3 mg/m³.

La cantidad de fósforo que sale en el caudal de un año es:

$P_{total} * Q * 1 \text{ año} = 174 \text{ toneladas de fósforo total al año.}$

4.7.- Balance anual de la carga natural de P_{total} .

El balance anual es el equivalente al "Balance másico" según Wollenweider (1976).

Los estudios de balance másico consisten principalmente en la cuantificación de los aportes de fósforo de:

- 1.- La cantidad de fósforo total en la columna de agua del lago.
- 2.- Todos los aportes de fósforo a la masa de agua.
- 3.- Todas las salidas de fósforo.

En este balance másico se trata de determinar la carga interna de fósforo total del lago. Esta carga interna se calcula como:

$$L_{int} = L_{out} - L_{ext} \pm TP$$

donde:

L_{int} = Carga interna de fósforo durante un intervalo de tiempo. El fósforo proviene de los sedimentos generados. Puede salir de los sedimentos hacia la masa de agua o liberación de fósforo dentro del lago. Lo contrario es una deposición neta de fósforo durante un lapso de tiempo. Esta deposición proviene de la masa de agua, a través de las algas.

L_{out} = Pérdida de fósforo (por salida) de la masa de agua durante un intervalo de tiempo. Esto se refiere al fósforo que sale por el desagüe.

L_{ext} = Carga externa de fósforo (por entrada) a la masa de agua durante el intervalo de tiempo. Esto se refiere especialmente a la carga por los afluentes.

TP = Diferencia en el contenido de fósforo total en la columna de agua durante un intervalo de tiempo.

Según nuestros antecedentes, en el análisis de un intervalo de tiempo anual, consideramos el balance de acuerdo al volumen de agua al área del lago.

- Balance másico volumétrico

- * Ingreso de P_{total} por los afluentes (L_{ext}) en todo el volumen del lago durante un año.....**88.2 toneladas**
- * Egreso de P_{total} por el efluente durante un año.....**174.0 toneladas**
- * Masa total de P en el volumen del lago, promedio en el año.....**533.4 toneladas**
- * Masa total de P en el volumen del lago al inicio del período.....**445.2 toneladas**
- * Diferencia entre la entrada y salida de P_{total}**- 85.8 toneladas.**

- Interpretación

El valor negativo se puede interpretar que el lago actúa como fuente de fósforo, esto es que hay una carga interna procedente de los sedimentos (L_{int}). En otras palabras significa una liberación de fósforo desde dentro del lago. Este valor disminuye a -77.2 toneladas.

Es probable que el valor de ingreso externo de fósforo (L_{ext}) pueda ser mayor, porque los intervalos medidos en los afluentes fueron largos, cada dos meses y por aportes no reales de aguas lluvias y de escorrentías.

- Balance másico en el área del lago

- * Ingreso de P_{total} por los afluentes (L_{ext}) en toda el área del lago (175.87 km²).....**95.2 toneladas**

- * Egreso de Ptotal por el efluente del lago.....174.0 toneladas
- * Masa total de P de acuerdo a su área (175.87 km²) y el promedio del centro del lago.....576.2 toneladas
- * Masa total de P en el área al inicio del período (576.2 - 95.2)481.0 toneladas
- * Diferencia entre la entrada de Ptotal al área del lago y su salida por el efluente-78.8 toneladas.

- Interpretación

Al igual que para el volumen, se mantiene la interpretación anterior. A este balance se agrega la carga artificial y de precipitación bajando a -69.96 toneladas.

- Carga crítica

- * Carga específica crítica del lago Villarrica para mantenerse en oligotrofia en el área del lago (1237.6 * 175.87).....217.7 toneladas
- * La masa total de Ptotal en el lago en su área y el promedio del centro del lago.....576.2 toneladas
- * Diferencia entre la carga crítica y carga de P en su área358.5 toneladas
- * Se considera un lago eutroficado con el doble del valor de la carga crítica.....435.4 toneladas
- * El lago Villarrica está sobrepasado del doble de su carga crítica en (435.4 - 358.5).....76.9 toneladas

TABLA 43: Carga anual (L_N) de Fósforo total de cada afluente al lago Villarrica. Cálculo de esta carga ver en pág. 126

N ° estación	Afluentes	L_N (mg/m ² /año)
1	Arroyo Alemán	3.8
2	Estero Lucas	11.3
3	Canal del medio	5.4
4	Estero Pucará	16.8
5	Arroyo Parque del lago	1.7
6	Arroyo Lorena	9.3
7	Río Huichatío	15.5
8	Alcantarillado Chalet Café	0.16
9	Río Molco	27.7
10	Estero Loncotraro	19.1
11	Río Los Chilcos	44.1
12	Río Correntoso	25.2
13	Estero Candelaria I	1.7
14	Estero Candelaria II	1.9
15	Estero La Poza	43.5
16	Arroyo Avenida Argentina	5.1
17	Arroyo Hotel Pucón	4.4
18	Río Claro	36.8
19	Río Trancura	225.7
20	Río Quilque	18.4
21	Arroyo Aserradero	0.8
22	Arroyo Montaña	3.8
23	Río El Suizo	11.7
24	Arroyo Montaña Suizo	2.3
25	Arroyo Fundo Pesca	1.1
26	Río El Castillo	3.8
27	Arroyo Los Boldos	0.3
Total		541.4

4.8.- Carga de fósforo total mensual de los afluentes del lago Villarrica.-

De acuerdo a las fórmulas indicadas para la carga de fósforo se ha calculado el ingreso de fósforo mensual de cada uno de los afluentes. Este cálculo se ha realizado a través de los seis meses de medición directa del fósforo en los afluentes como se indica en el capítulo 4.1, donde se detallan las concentraciones en cada uno de ellos. Se ha completado los 12 meses realizando una interpolación basado en un promedio entre los datos obtenidos del mes anterior y el posterior, obteniendo para el mes en el cual no se realizó la medición directa.

Esta carga de fósforo (L_N) fue estudiada de acuerdo al cálculo de los caudales mensuales multiplicados por la concentración de fósforo respectivo ($Q * P$). Este caudal mensual se calculó multiplicando el valor medido puntualmente en litros por segundo, por el total de segundos del mes respectivo. Por ejemplo para un caudal puntual de 20 l/s en febrero se consideró los 2419200 segundos de los 28 días de ese mes multiplicado por 20 litros lo que daría 48384000 litros/28 días. Estos se multiplican por la concentración de fósforo total (ej. 30 $\mu\text{g/l}$), para obtener la cantidad de fósforo que contenía el caudal mensual, que desagua en el lago. Esta concentración mensual de $Q_{\text{Feb}} * P_{\text{Feb}}$ se divide por el área del lago en m^2 . Se obtiene así el L_N mensual para el mes de Febrero. El L_N anual se obtiene por la suma de los L_N mensuales.

De acuerdo a las condiciones de cada uno de los afluentes se obtiene una carga distinta la que se presenta en la Tabla 43. Es interesante observar el detalle anual de como se manifiesta el ingreso de este fósforo en las diferentes estaciones del año.

En forma sucinta se expone un detalle de esta carga con la figura respectiva.

- * **Arroyo Alemán:** La mayor carga se observa en otoño y baja hacia la primavera, especialmente en los meses de octubre (Fig.38).
- * **Estero Lucas:** La mayor carga de fósforo se observa en invierno en el mes de agosto y disminuye en el verano (Fig.38).
- * **Canal del Medio:** Las mayores cargas se observan en primavera en el mes de diciembre, pero también en agosto disminuyendo en el verano (Fig.38).
- * **Estero Pucará :** En el mes de junio se presentó la mayor carga disminuyendo hacia el verano (Fig.39).
- * **Parque del Lago :** Su mayor carga la presenta en octubre, disminuyendo hacia el verano (Fig.39).

- * **Arroyo Lorena** : En el mes de junio presenta su mayor carga y disminuyen hacia la primavera y verano (Fig.39).
- * **Río Huichatío** : Su mayor carga la presenta en el mes de agosto, disminuyendo ésta hacia el verano (Fig.40).
- * **Alcantarilla chalet café**: Presentó una carga alta en el mes de abril.
- * **Río Molco**: La mayor concentración la presentó en agosto, pero curiosamente en este río se observa un aumento de carga en el verano disminuyendo hacia el otoño (Fig.40).
- * **Río Loncotraro**: Este río no presentó variaciones marcadas en su carga de fósforo a través del año, es decir desde el verano hasta el invierno donde son muy parejas y sólo con predominio en el mes de julio. Los mismo sucede desde agosto a diciembre donde las variaciones fueron muy pequeñas (Fig.40).
- * **Río Los Chilcos**: Se presentaron concentraciones altas en febrero y disminuciones durante el invierno. También se observa un aumento a finales de invierno y principios de primavera, agosto y septiembre y una disminución en diciembre (Fig.41).
- * **Río Correntoso**: La mayor carga se observa en otoño y la menor se produce en invierno (Fig.41).
- * **Estero Candelaria I**: La mayor carga se obtuvo en octubre y la menor en diciembre (Fig.41).
- * **Río Candelaria II**: Las mayores cargas se obtuvieron en invierno y las mayores en verano (Fig.42).
- * **Estero La Poza**: La mayor carga fue en primavera en octubre y la menor en invierno (Fig.42).
- * **Arroyo Avenida Argentina**: Mayores cargas en invierno en el mes de agosto y menores en verano y otoño (Fig.42).
- * **Arroyo Hotel Pucón**: La mayor carga fue en primavera en el mes de octubre y la menor en el verano en el mes de febrero (Fig.43).
- * **Río Claro**: En primavera en el mes de octubre se observó la mayor carga, y la menor se presentó hacia el verano en el mes de diciembre (Fig.43).
- * **Río Trancura**: Las mayores cargas se presentaron en el invierno en el mes de junio y la menor en diciembre (Fig.43).
- * **Río Quilque**: En invierno se presentaron las mayores cargas en el mes de junio y en otoño se encontraron las cargas menores (Fig.44).

- * **Arroyo Aserradero:** La mayor carga fue en agosto y las menores cargas se produjeron en el verano (Fig.44).
- * **Arroyo Montaña:** Las mayores concentraciones se encontraron durante otoño e invierno en varios meses consecutivos sin muchas variaciones, pero las mínimas se dieron en el verano como también en la primavera (Fig.44).
- * **Río El Suizo:** La mayor carga fue en invierno en el mes de junio, en el resto del año se presentó baja carga (Fig.45).
- * **Arroyo Montaña Suizo:** La mayor carga se presentó en invierno en el mes de agosto para ir disminuyendo hacia el verano (Fig.45).
- * **Arroyo Fundo Pesca:** Las mayores cargas fueron en invierno y las menores en verano (Fig.45).
- * **Río El Castillo:** Mayor carga fue en invierno y la menor la presentó en verano en el mes de febrero (Fig.46).
- * **Arroyo Los Boldos:** Mayores cargas en invierno como también en primavera y las menores fueron en otoño (Fig.46).

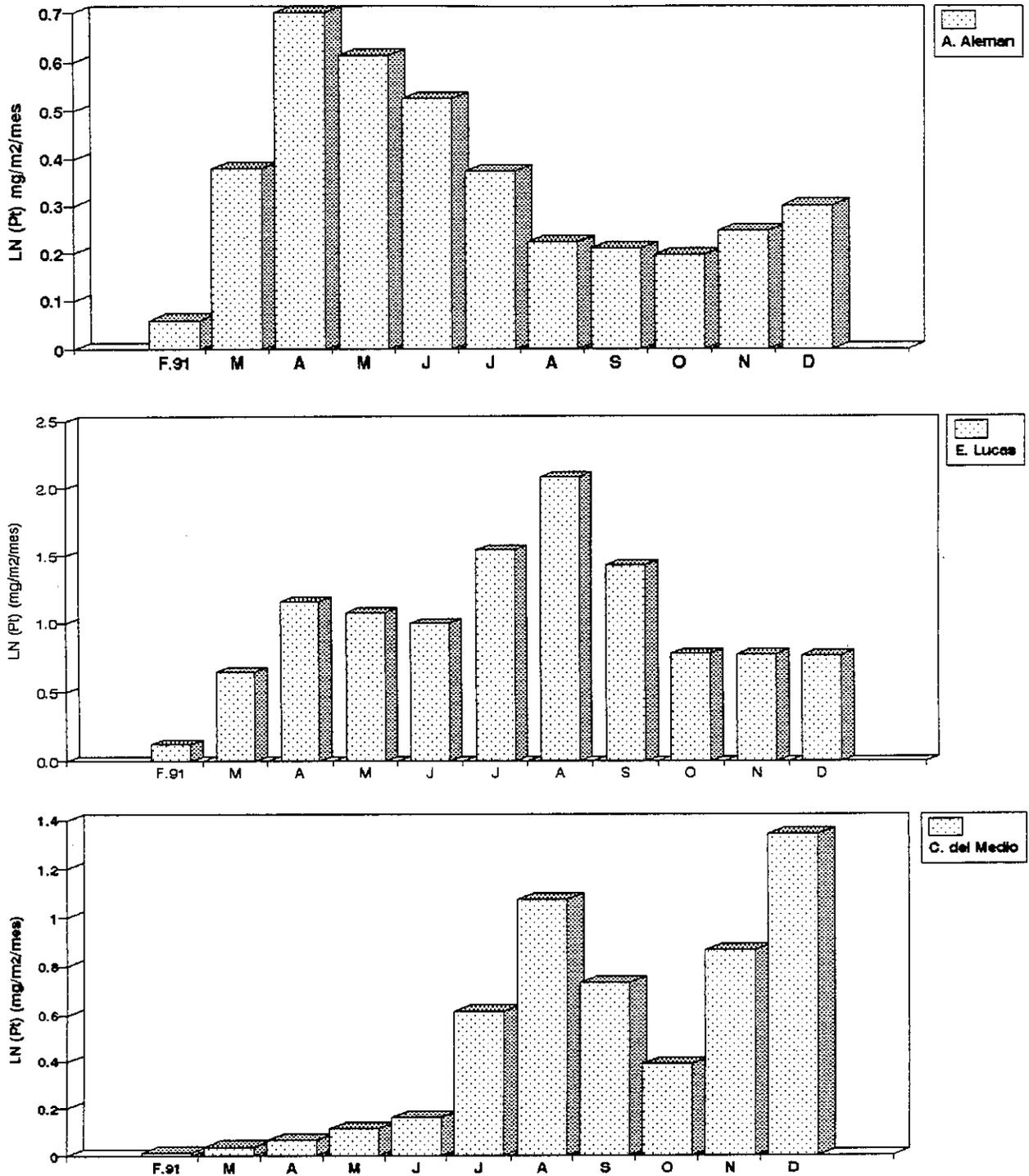


Figura 38: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: A. Alemán, E. Lucas y Canal del Medio. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

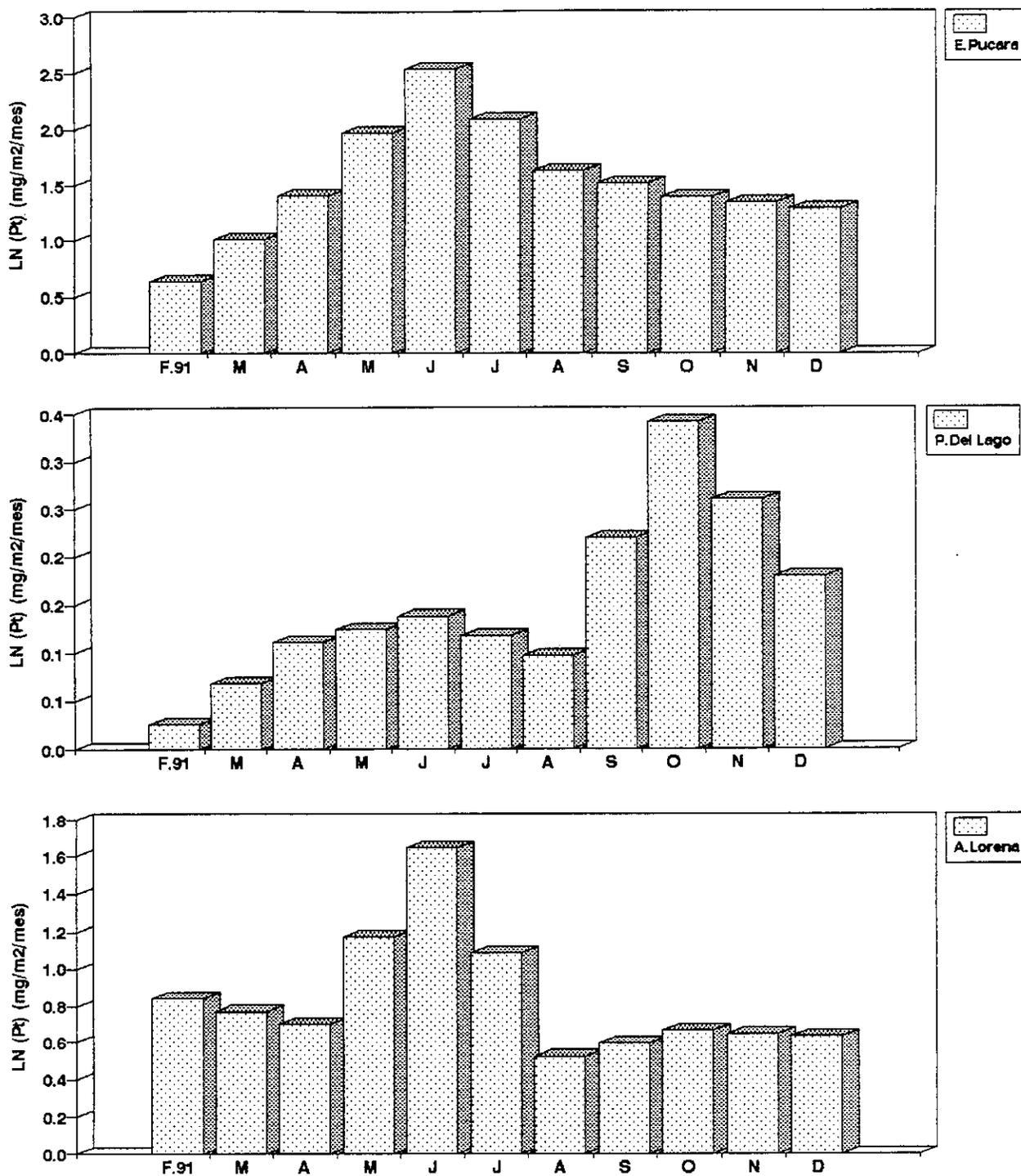


Figura 39: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: E. Pucará, Parque del Lago y A. Lorena. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

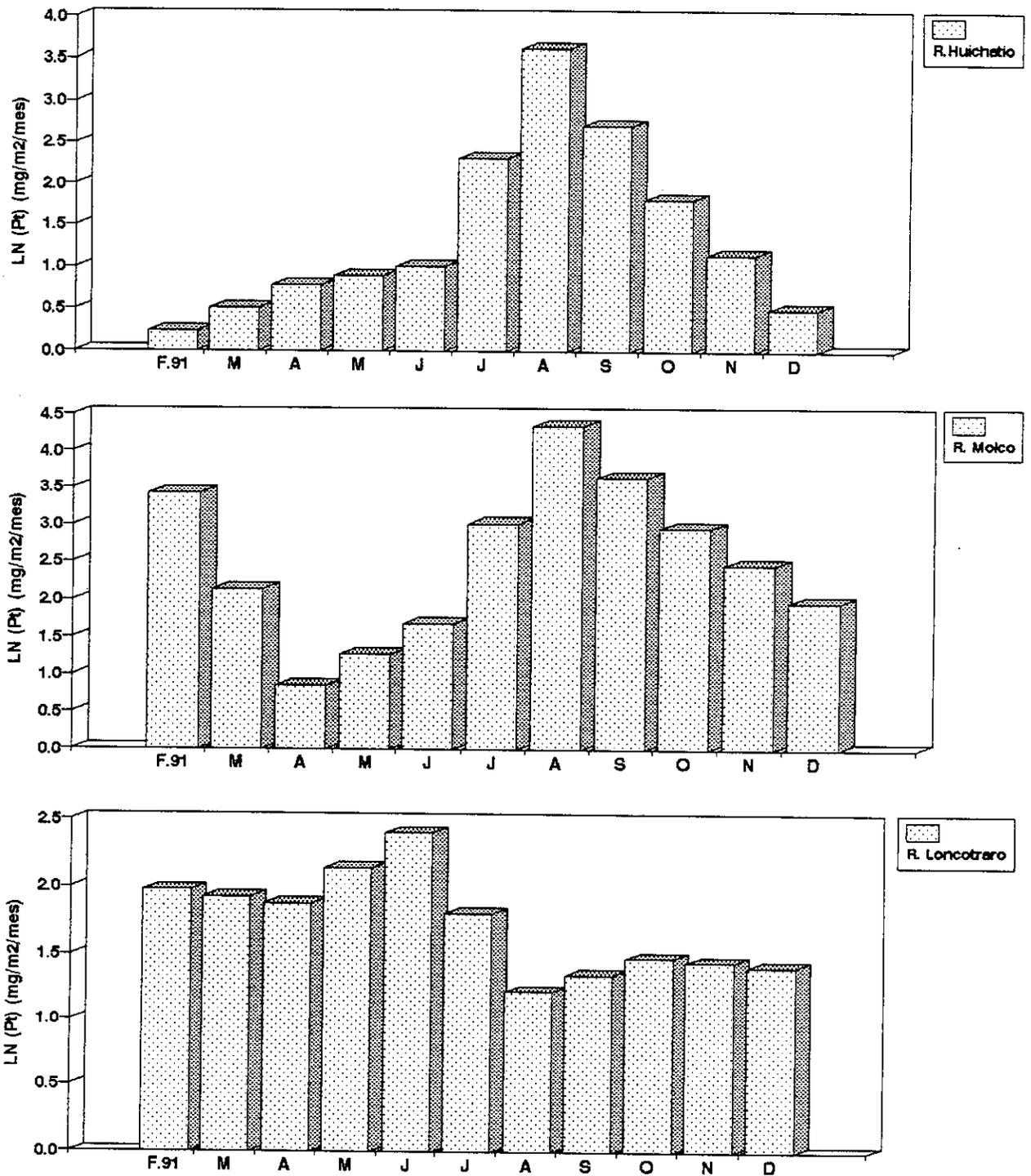


Figura 40: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Huichafío, R. Molco y E. Loncostraro. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

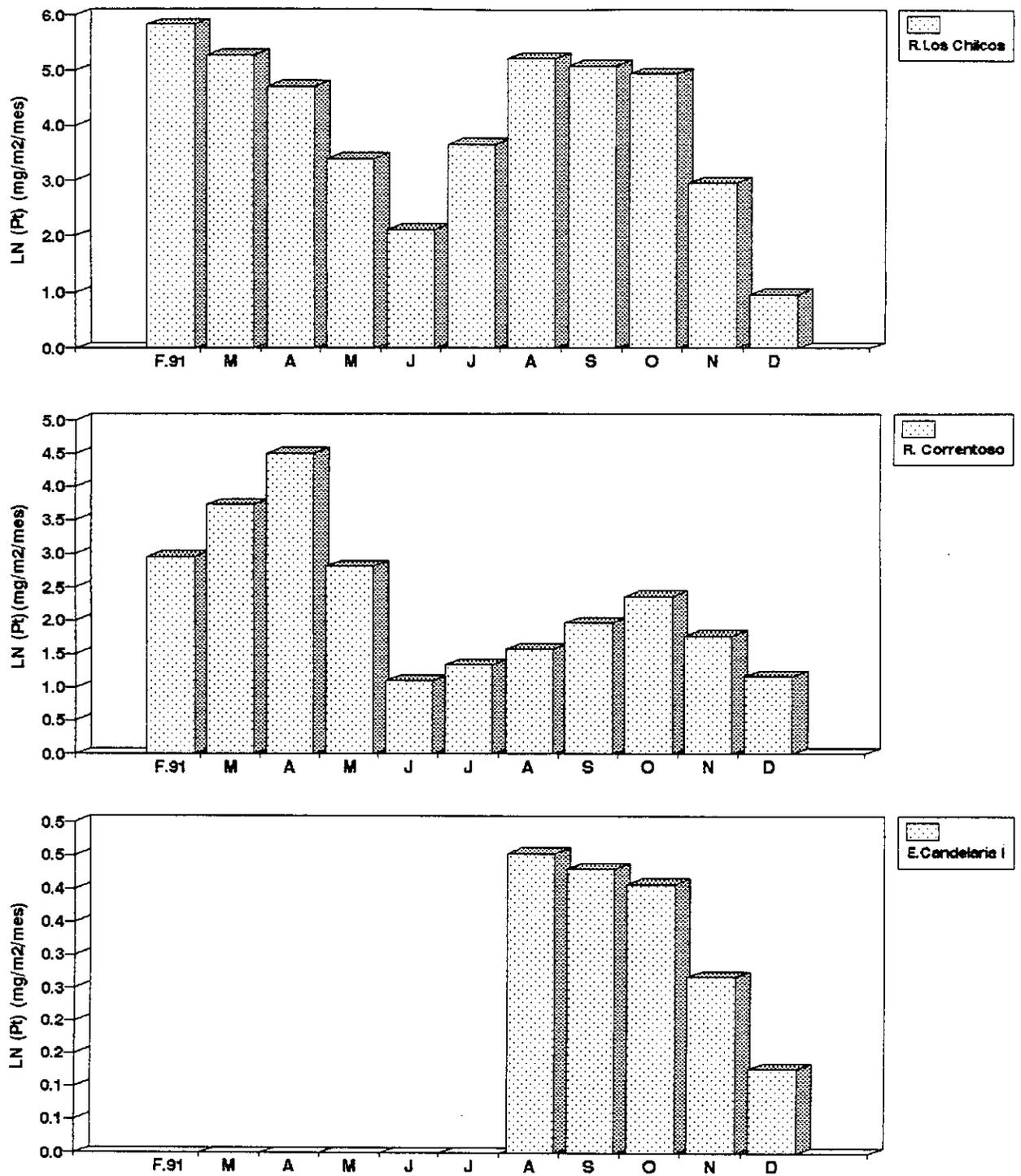


Figura 41: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Los Chillos, R. Correntoso y E. Candelaria I. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

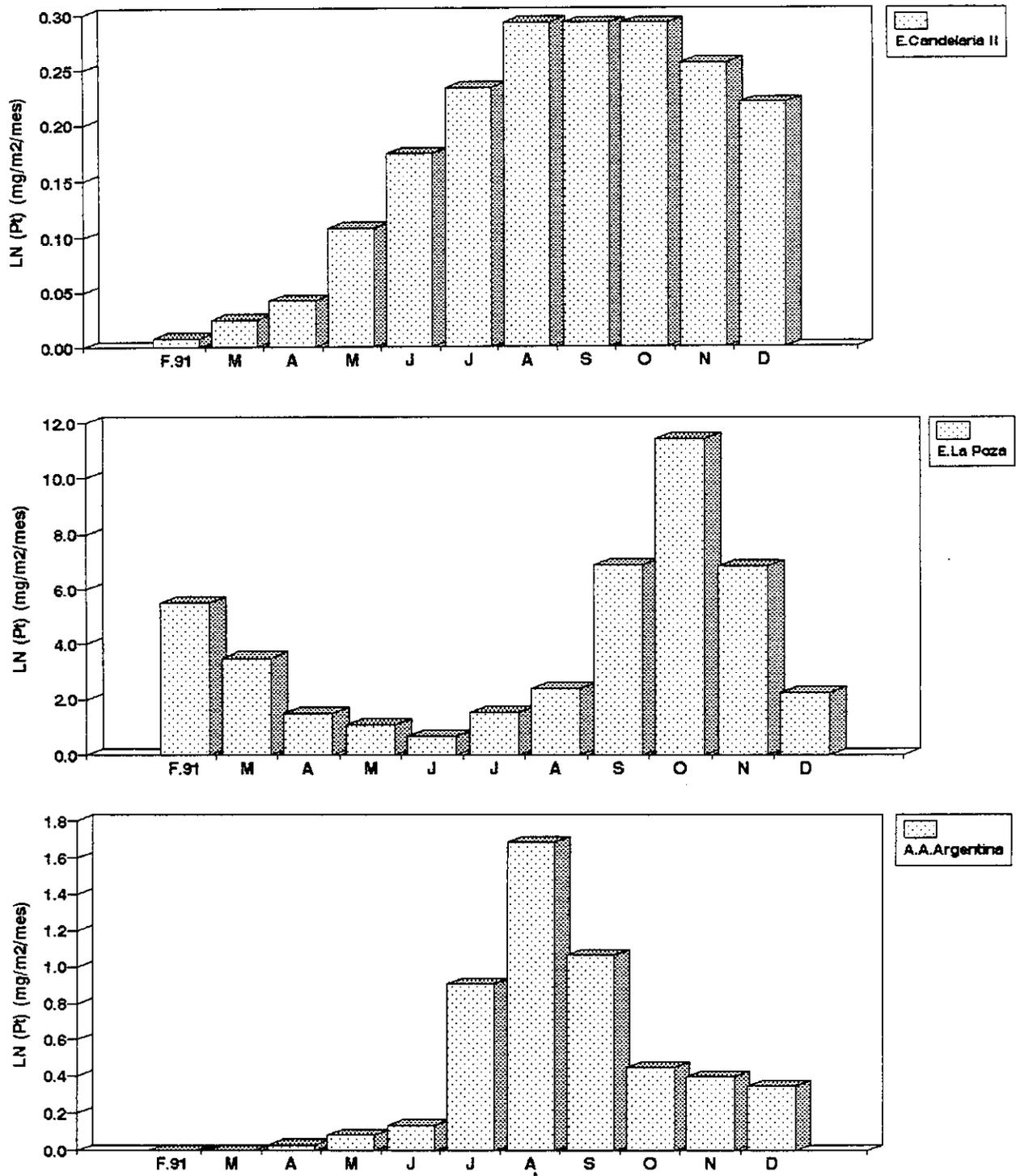


Figura 42: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: E. Candelaria II, E. La Poza y A. Avda Argentina. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

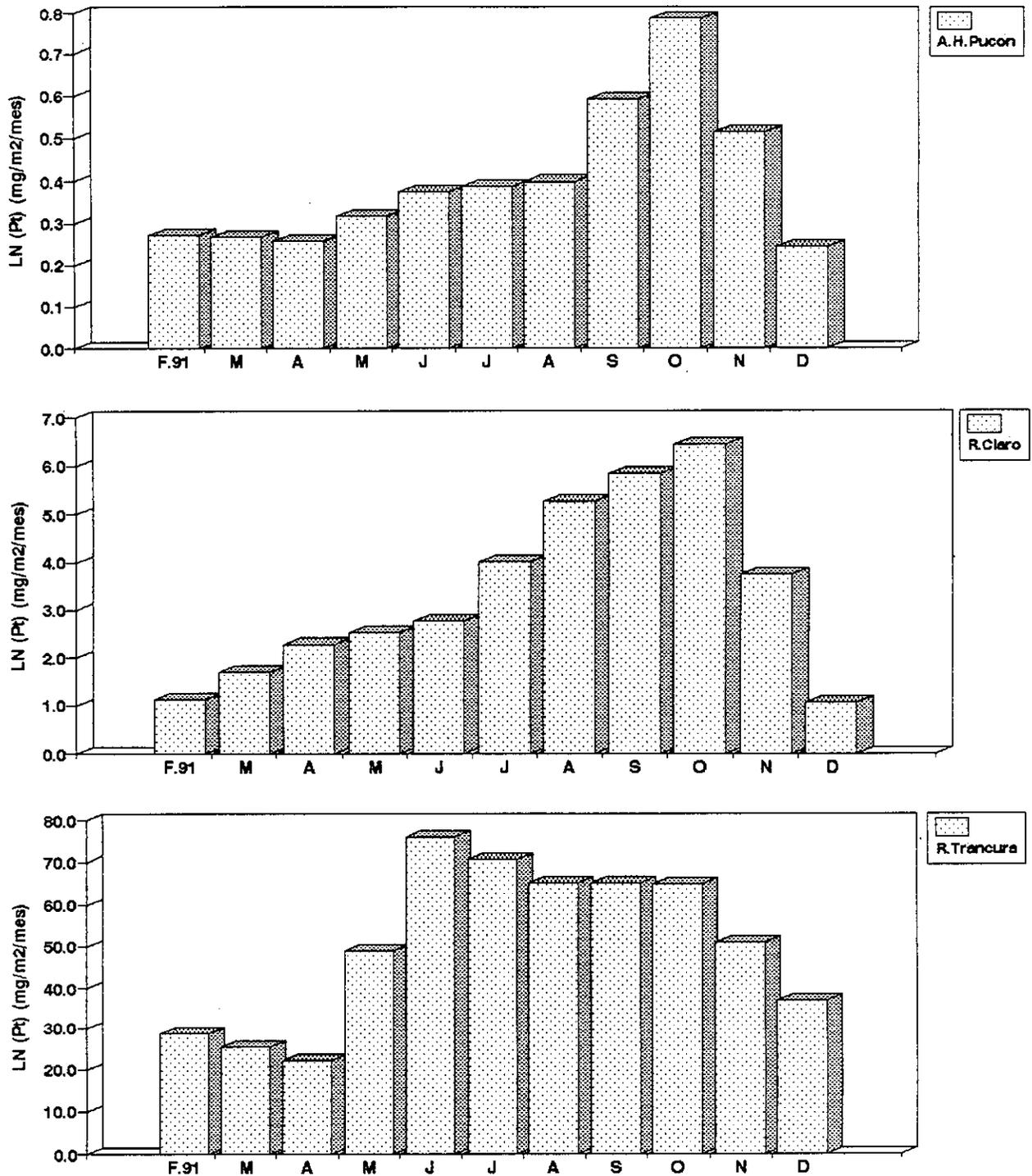


Figura 43: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: A. Hotel Pucón, R. Claro y R. Trancura. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

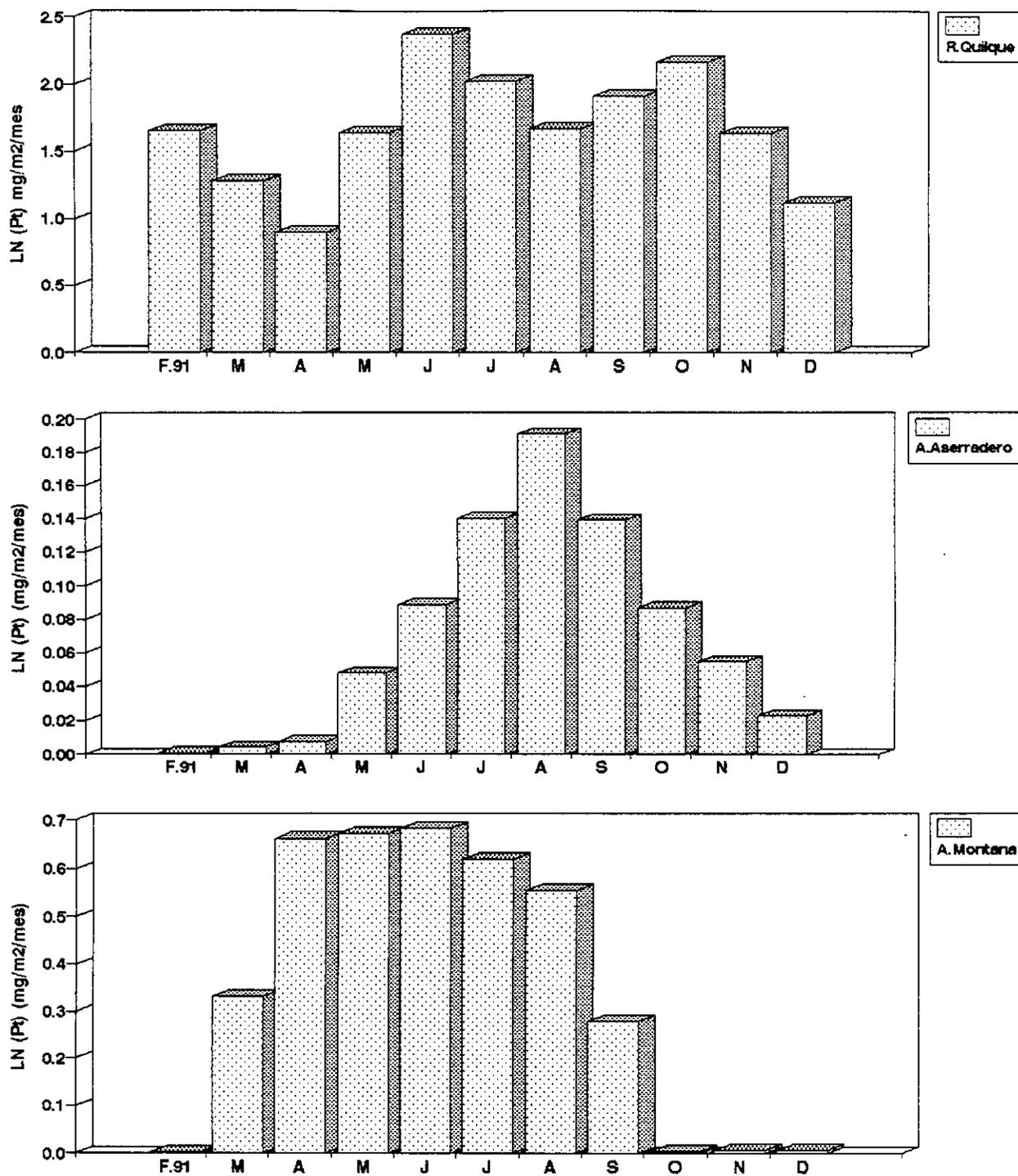


Figura 44: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. Quilque, A. Aserradero y A. Montaña. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

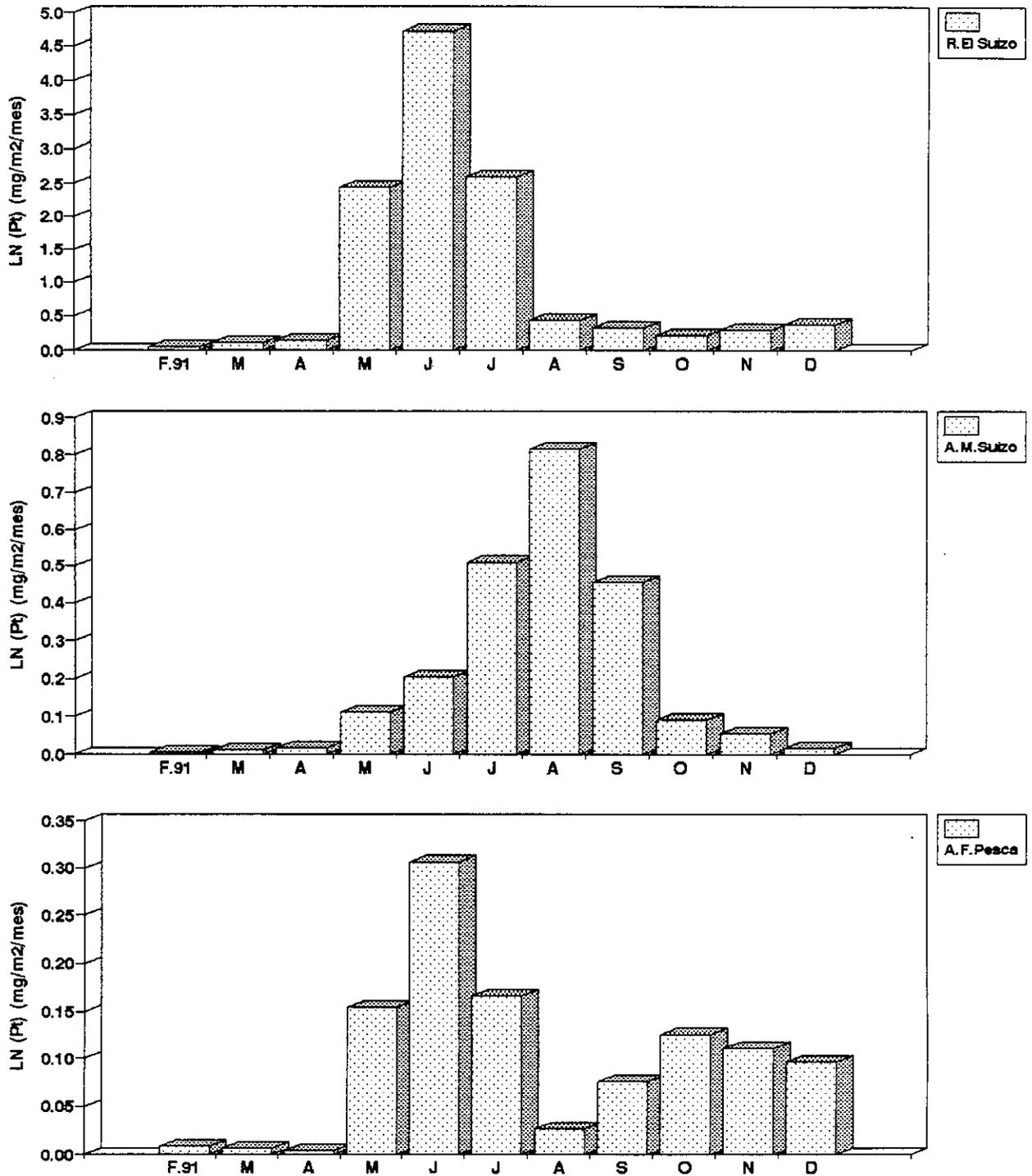


Figura 45: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. El Suizo, A. Montaña y A. Fdo. Pesca. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

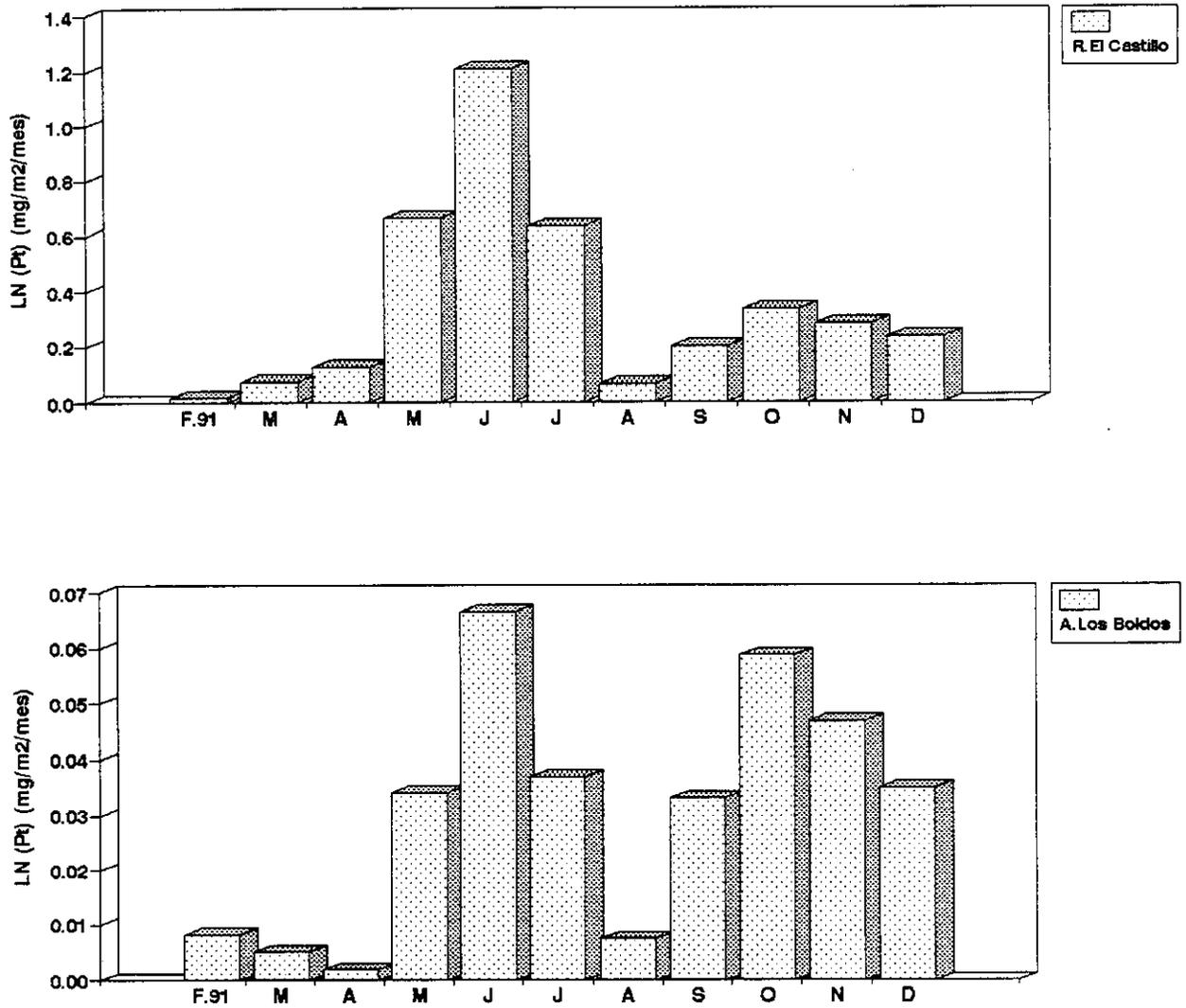


Figura 46: Carga de fósforo total mensual de los afluentes: R. El Castillo y A. Los Boldos. Las concentraciones de los meses marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

5.- BALANCE DE N total EN EL LAGO VILLARRICA.

Se realizó un balance aproximativo empleando las mismas fórmulas del Fósforo total para la carga natural de Nitrógeno total (N_{total}).

5.1- Carga de N_{total} de los afluentes del lago.

$$L_N = (Q_1 * [TN]_1 + Q_2 * [TN]_2 + \dots) / A_o = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

$$L_N = 2919.8 \text{ mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

Cálculo de $Q * TN$ durante los meses se explican en pág.126

Q = caudal mensual (m^3/mes)

$[TN]$ = concentración de Nitrógeno total del mes

A_o = área del lago = 175.87 km^2

5.2.- Concentración de N_{total} calculada en el lago.

$$TN = (L_N * (1 - R)) / (z * f) = \text{mg/m}^3$$

$$TN = 33.9 \text{ mg/m}^3$$

donde:

$$L_N = 2919.8 \text{ mg/m}^2/\text{año}$$

$$\tau_w = 2.3 \text{ años (renovación total)}$$

$$z = 120 \text{ m (profundidad media)}$$

$$f = 0.43 \text{ (renovación anual)}$$

$$R = 0.60$$

Concentración de TN calculada para todo el volumen (V) del lago, de acuerdo al aporte de sus afluentes.

donde:

$$V = 21 \text{ km}^3$$

$$TN = 33.9 \text{ mg/m}^3$$

$$V * TN = 711.9 \text{ toneladas}$$

Se registraron 711.9 toneladas de nitrógeno total que tendría el lago de acuerdo a la carga de sus afluentes en el año 1991.

- Promedio de Nitrógeno total

Se sigue el mismo criterio que para el fósforo, empleando el valor promedio en el centro del lago como representativo para la gran masa de agua.

Promedio anual de TN en el centro del lago en 1991 fue de 135.2 mg/m^3 La concentración de TN de acuerdo a la medición directa en el centro del lago y en el volumen:

donde:

$$x = 135.2 \text{ mg/m}^3 \text{ de TN}$$

$$V = 21 \text{ km}^3$$

$$x * V = 2839.2 \text{ toneladas.}$$

La diferencia de nitrógeno total calculada de los afluentes de 711.9 toneladas con las 2839.2 toneladas, da una diferencia de 2127.3 toneladas de nitrógeno total, de concentración acumulada al inicio del período.

5.3. Cálculo de la carga de nitrógeno total en el lago Villarrica según su concentración actual.

$$L_{TN} = ([TN \text{ lago}] * z * f) / (1 - R) = \text{mg/m}^2/\text{año}$$

donde:

$$L_{TN} = 17440.8 \text{ mg/m}^2/\text{año}$$

$$L_{TN} = \text{carga de } N_{\text{total}} \text{ en el lago.}$$

$$[TN] = 135.2 \text{ mg/m}^3$$

$$z = 120 \text{ m}$$

$$f = 0.43$$

$$1 - R = 0.40$$

luego:

$$L_{TN} = 17440.8 \text{ mg/m}^2/\text{año}$$

El área del lago es de $175.87 \text{ km}^2 = A_o$
 La carga en toda el área del lago se calculó como:

$$L_{TN} * A_o = 3067 \text{ toneladas}$$

La carga en el área del lago por los afluentes fue de:

$$L_N = 2919.8 \text{ mg/m}^2/\text{año} * A_o = 513.6 \text{ toneladas}$$

La diferencia entre el valor calculado del área del lago de acuerdo a su promedio, por la carga aportada por los afluentes es la siguiente:

$$L_{TN} - L_N = 3067 - 513.59 = 2553.4 \text{ toneladas}$$

Este valor correspondería a la concentración acumulada en el lago al inicio del período de medición.

5.4.- Tiempo relativo de residencia.

$$\tau_{TN} / \tau_w = (N_\alpha / N_i) / (V/Q)$$

donde:

$$N_\alpha = 135.2 \text{ mg/m}^3 \text{ (promedio de TN en el centro del lago)}$$

$$N_i = 33.9 \text{ mg/m}^2/\text{año} \text{ (carga de fósforo total de los afluentes).}$$

$$\tau_w = V/Q = 2.3 \text{ años (renovación teórica total)}$$

luego:

$$\tau_{TN} / \tau_w = 1.7 \text{ años}$$

Este valor equivale teóricamente al tiempo de residencia del nitrógeno total en el lago.

5.5.- Efluente : Río Toltén.

De acuerdo al caudal promedio de $236.9 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1991 y el promedio de 105.9 mg/m^3 , la concentración de nitrógeno total que sale por ésta vía del lago es de 791.2 toneladas.

5.6 Balance anual de la carga natural de Nitrógeno total del lago.

Este balance se realiza siguiendo las mismas indicaciones que para el balance másico de fósforo total.

- Balance másico volumétrico de la carga natural de Nitrógeno total.
- Ingreso de nitrógeno total (TN) por los afluentes (L_{ext}) en todo el volumen del lago.....**711.9 toneladas**
- Egreso de TN por el efluente durante 1991.....**791.2 toneladas**
- Masa de TN en el volumen del lago, de acuerdo al promedio del año**2839.2 toneladas**
- Masa de TN en el volumen del lago al inicio del período (2839.2 - 711.9)**2127.3 toneladas**
- Diferencia entre la entrada y salida de TN..... **- 79.1 toneladas**

- Interpretación

El valor negativo se interpreta como una carga interna del lago. Además es probable que esta diferencia pueda ser menor por el ingreso de otras fuentes, como la artificial bajando a -58 toneladas.

- Balance másico del área.
- Ingreso de nitrógeno total (TN) por los afluentes en todo el área del lago (L_N).....**513.6 toneladas**
- Egreso de TN por el efluente del lago.....**791.2 toneladas**
- Masa de TN en el área del lago, de acuerdo al promedio de concentración anual (L_{TN}).....**3067 toneladas**
- Masa de TN en el área al inicio del período ($L_{TN} - L_N$) (3067 - 513.6)**2553.4 toneladas**
- Diferencia entre la entrada de TN al área y su salida **-277.6 toneladas**

- Interpretación

A semejanza del fósforo ésta diferencia puede deberse al intervalo de las mediciones, fuentes de ingreso no calculadas y liberación interna de nitrógeno del lago. Con la carga artificial y agua de lluvia este valor baja a -238.9 toneladas.

TABLA 44: Carga anual (LN) de Nitrógeno total de cada afluente al lago Villarrica.-
Cálculos ver página 126.

N ° estación	Afluentes	L _N (mg/m ² /año)
1	Arroyo Alemán	32.5
2	Estero Lucas	64.9
3	Canal del medio	49.1
4	Estero Pucará	58.4
5	Arroyo Parque del lago	24.6
6	Arroyo Lorena	95.6
7	Río Huichatío	49.6
8	Alcantarillado Chalet Café	0.2
9	Río Molco	25.9
10	Estero Loncotraro	84.7
11	Río Los Chilcos	115.2
12	Río Correntoso	74.1
13	Estero Candelaria I	11.7
14	Estero Candelaria II	6.7
15	Estero La Poza	48.4
16	Arroyo Avenida Argentina	17.5
17	Arroyo Hotel Pucón	14.1
18	Río Claro	115.5
19	Río Trancura	1922.0
20	Río Quilque	65.2
21	Arroyo Aserradero	5.7
22	Arroyo Montaña	5.5
23	Río El Suizo	11.3
24	Arroyo Montaña Suizo	4.7
25	Arroyo Fundo Pesca	3.9
26	Río El Castillo	9.2
27	Arroyo Los Boldos	3.6
Total		2919.8

5.7.- Carga mensual de nitrógeno total de los afluentes del lago Villarrica.-

La carga de nitrógeno total obtenida para el presente balance está de acuerdo a las concentraciones de nitrógeno total de cada uno de los afluentes hacia el lago. El cálculo es semejante al indicado para la carga de fósforo y que está indicado en el capítulo respectivo.

El detalle de esta carga en forma mensual es el siguiente:

- * **Arroyo Alemán** : La mayor carga se observa en otoño en el mes de abril y es menor en el verano (Fig.47).
- * **Estero Lucas**: La mayor carga se observa en invierno en el mes de agosto y disminuye en el verano en el mes de febrero (Fig.47).
- * **Canal Del Medio** : Las mayores cargas se observan en agosto y la menor en el verano en el mes de febrero (Fig.47).
- * **Estero Pucará**: En el mes de junio se presentó la mayor carga disminuyendo hacia el verano (Fig.48).
- * **Parque del Lago**: Su mayor carga la presenta en primavera en el mes de octubre, y la menor en verano (Fig.48).
- * **Arroyo Lorena**: En el mes de junio presenta su mayor carga y disminuyen hacia la primavera y verano (Fig.48).
- * **Río Huichatío**: Su mayor carga la presenta en invierno en el mes de agosto, disminuyendo ésta hacia el verano (Fig.49).
- * **Alcantarilla chalet café**: En los tres meses analizados la mayor carga fue en el otoño.
- * **Río Molco**: La mayor concentración la presentó en primavera en el mes de agosto, y las menores fueron en el invierno (Fig.49).
- * **Río Loncotraro**: Las mayores cargas se presentaron en invierno y las menores en verano en el mes de febrero (Fig.49).
- * **Río Los Chilcos**: Se presentaron concentraciones altas en primavera y disminuciones durante el otoño (Fig.50).
- * **Río Correntoso**: La mayor carga se observa en invierno y la menor se produce a finales de la primavera en diciembre (Fig.50).
- * **Estero Candelaria I**: La mayor carga se obtuvo en invierno en agosto y disminuye hacia la primavera (Fig.50).
- * **Río Candelaria II**: Las mayores cargas se obtuvieron entre invierno y primavera las

menores en verano (Fig.51).

* **Estero La Poza:** La mayor carga fue en el verano y disminuyen hacia el invierno (Fig.51).

* **Arroyo Avenida Argentina:** Mayores cargas en invierno en el mes de agosto y menores en verano (Fig.51).

* **Arroyo Hotel Pucón:** La mayor carga fue en primavera en el mes de octubre y la menor en el verano en el mes de febrero (Fig.52).

* **Río Claro:** En invierno, en el mes de agosto se observó la mayor carga, y la menor se presentó hacia el verano en el mes de febrero (Fig.52).

* **Río Trancura:** Las mayores cargas se presentaron en el invierno en el mes de junio y la menor en verano en el mes de febrero (Fig.52).

* **Río Quilque:** En otoño se presentaron las mayores cargas, y en verano se encontraron las cargas menores (Fig.53).

* **Arroyo Aserradero:** La mayor carga fue en agosto y las menores-cargas se produjeron en el verano (Fig.53).

* **Arroyo Montaña:** La mayor concentración se obtuvo en invierno y la menor se produjo en verano (Fig.53).

* **Río El Suizo:** La mayor carga fue en invierno en el mes de junio, siendo la carga menor en el mes de febrero en el verano (Fig.54).

* **Arroyo Montaña Suizo:** La mayor carga se presentó en primavera en el mes de octubre para ir disminuyendo hacia el verano (Fig.54).

* **Arroyo Fundo Pesca:** Las mayores cargas fueron en invierno y primavera y las menores en verano - otoño (Fig.54).

* **Río El Castillo:** Mayor carga fue en invierno y la menor la presentó en verano en el mes de febrero (Fig.55).

* **Arroyo Los Boldos:** Mayores cargas en invierno y las menores fueron en verano (Fig.55).

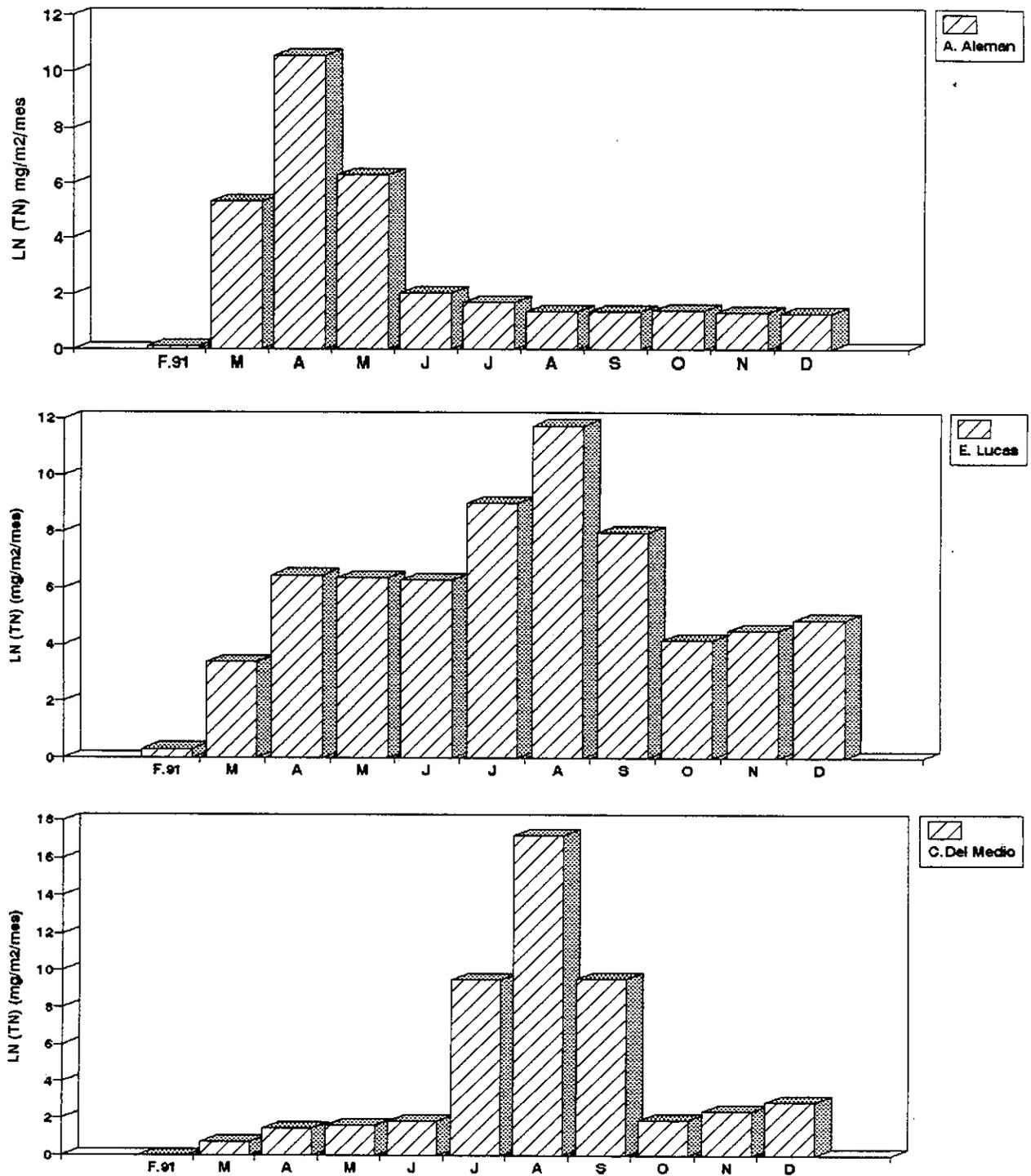


Figura 47: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: A. Alemán, E. Lucas y Canal del Medio. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

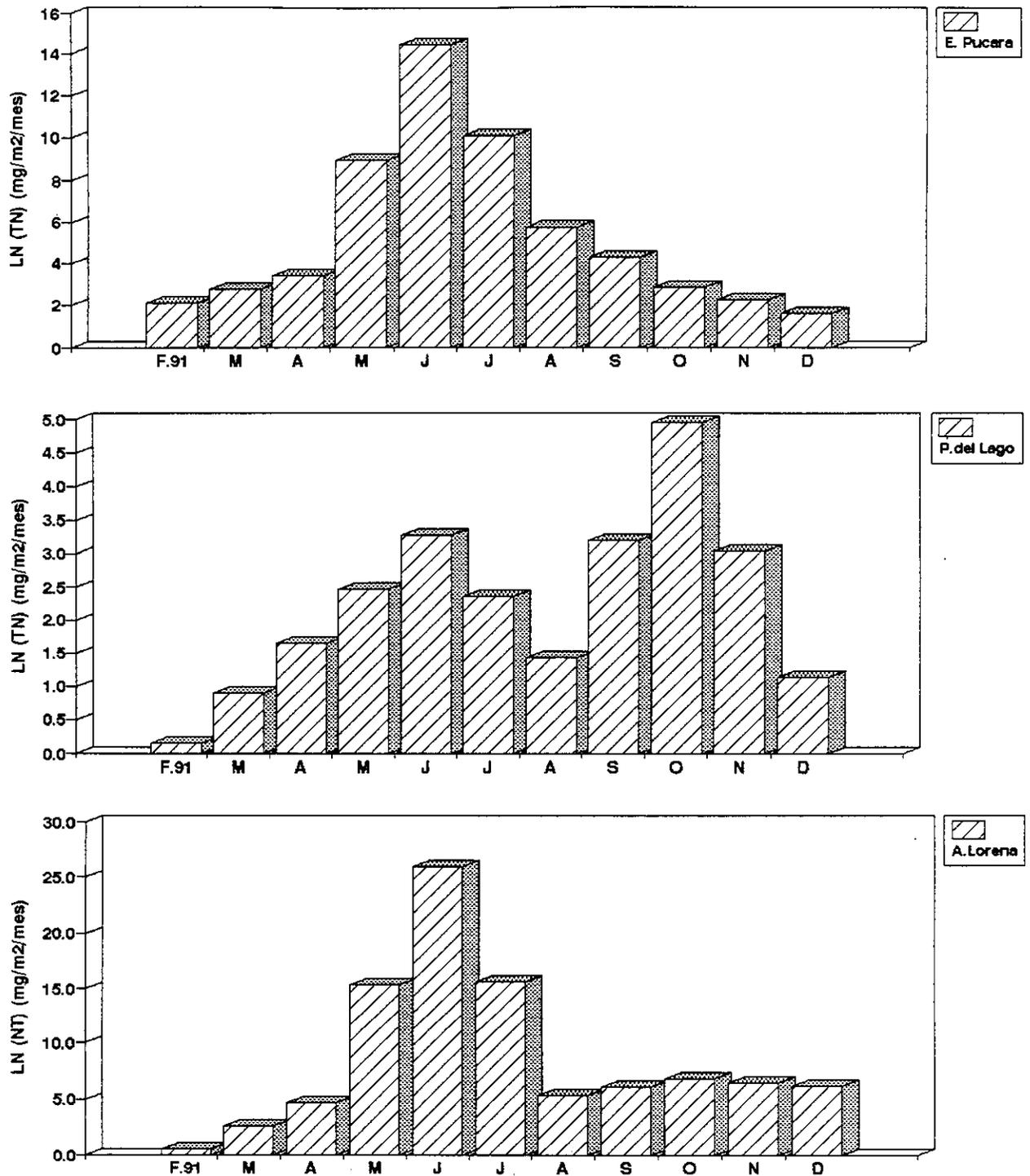


Figura 48: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: E. Pucará, Parque del Lago y A. Lorena. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

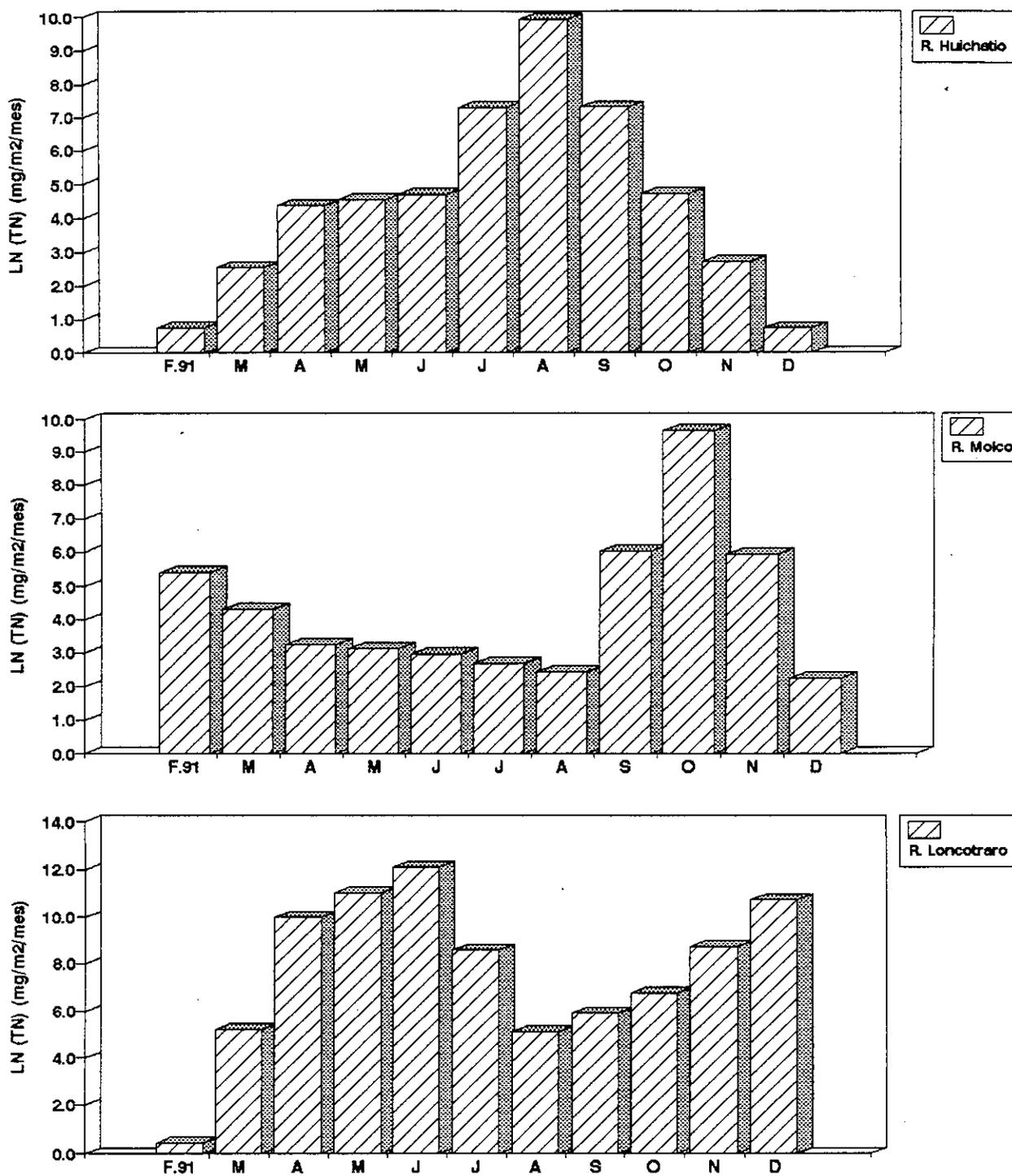


Figura 49: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Huichatío, R. Molco y E. Loncostraró. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

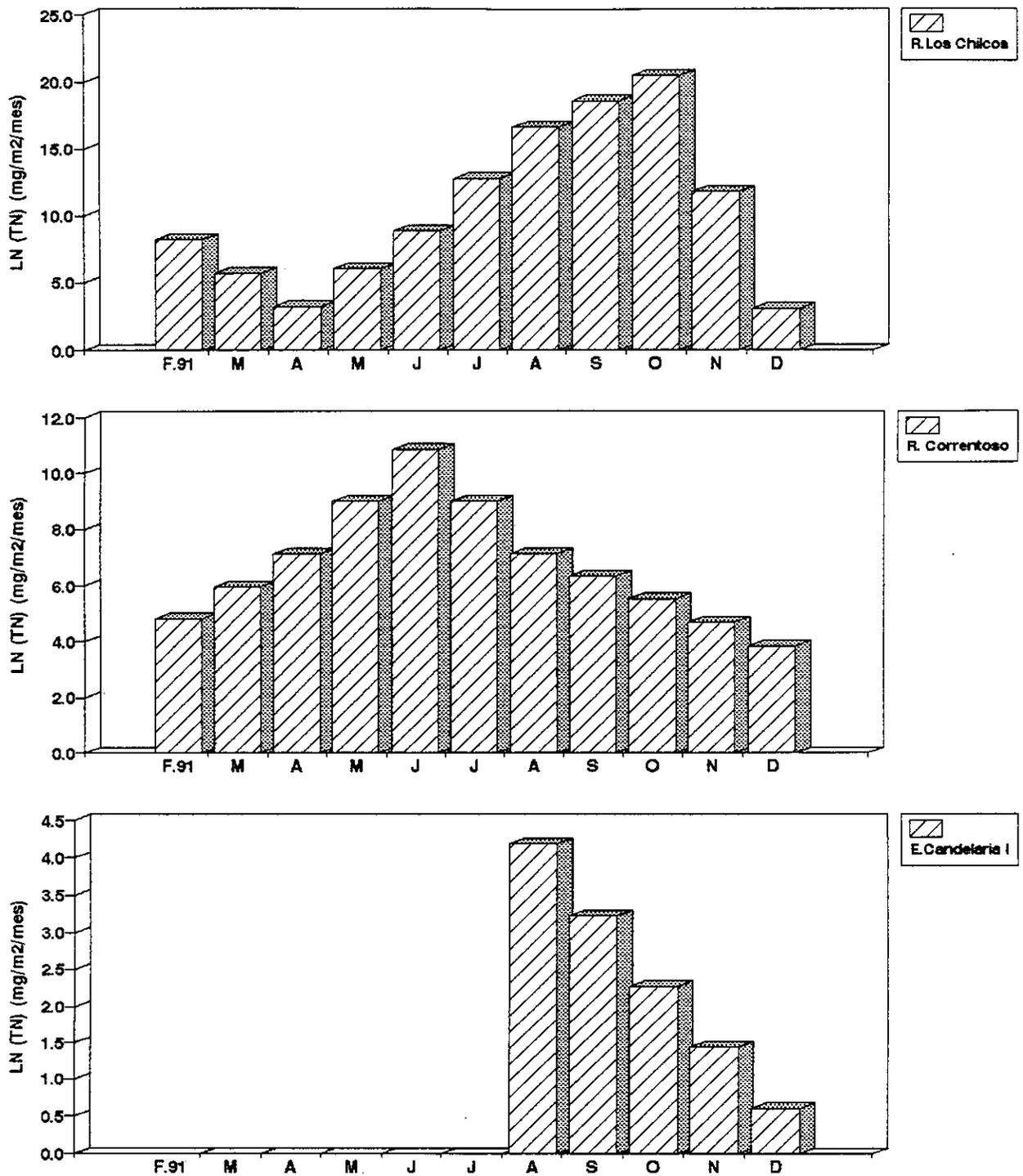


Figura 50: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Los Chilcos, R. Correntoso y E. Candelaria I. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

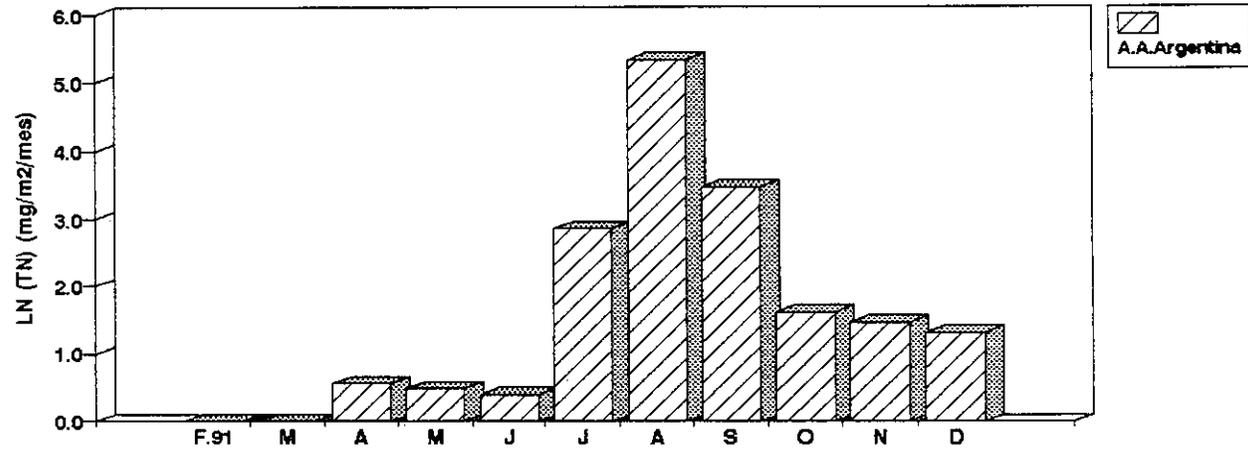
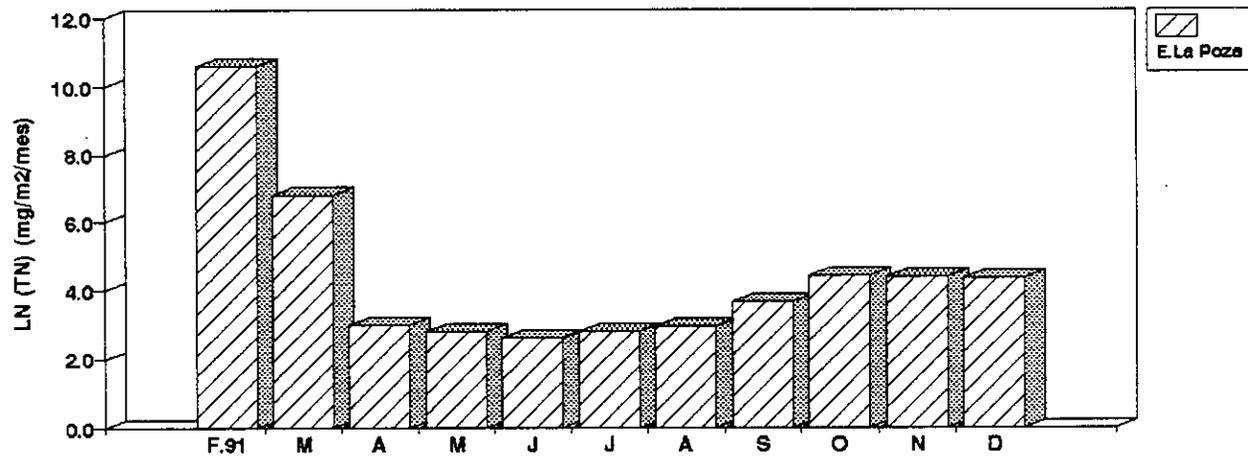
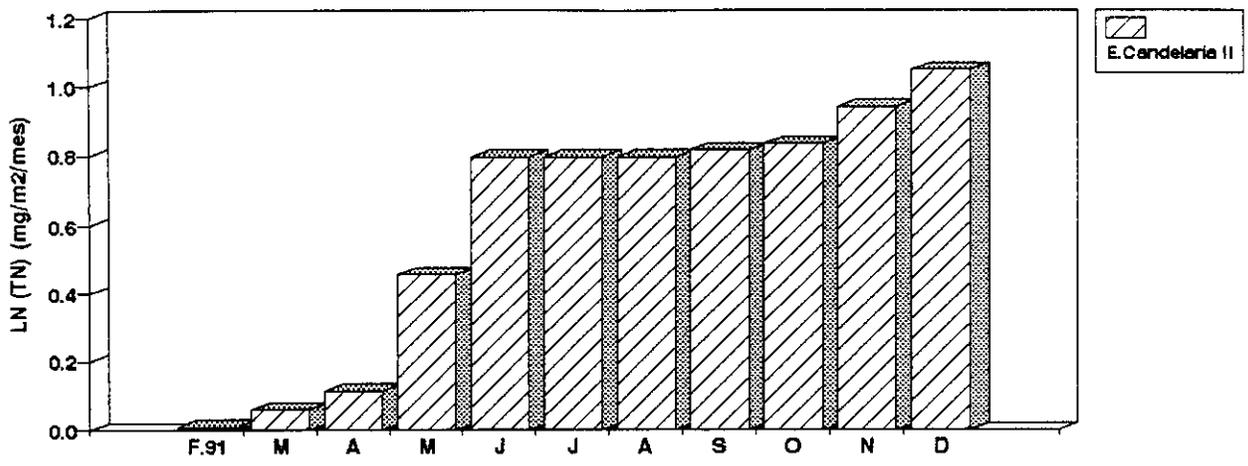


Figura 51: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: E. Candelaria II, E. La Poza y A. Avda. Argentina. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

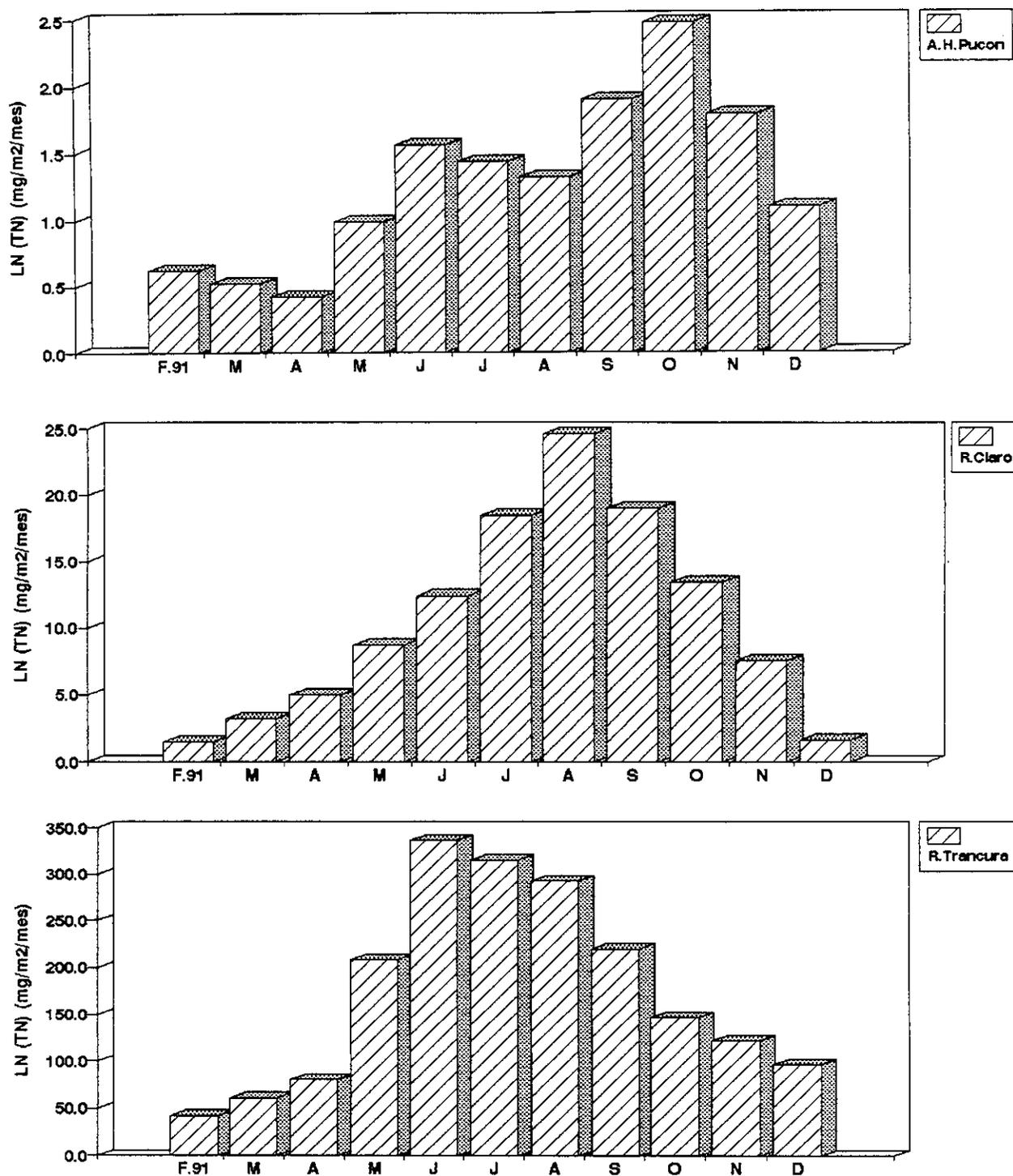


Figura 52: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: A. Hotel Pucón, R. Claro y R. Trancura. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

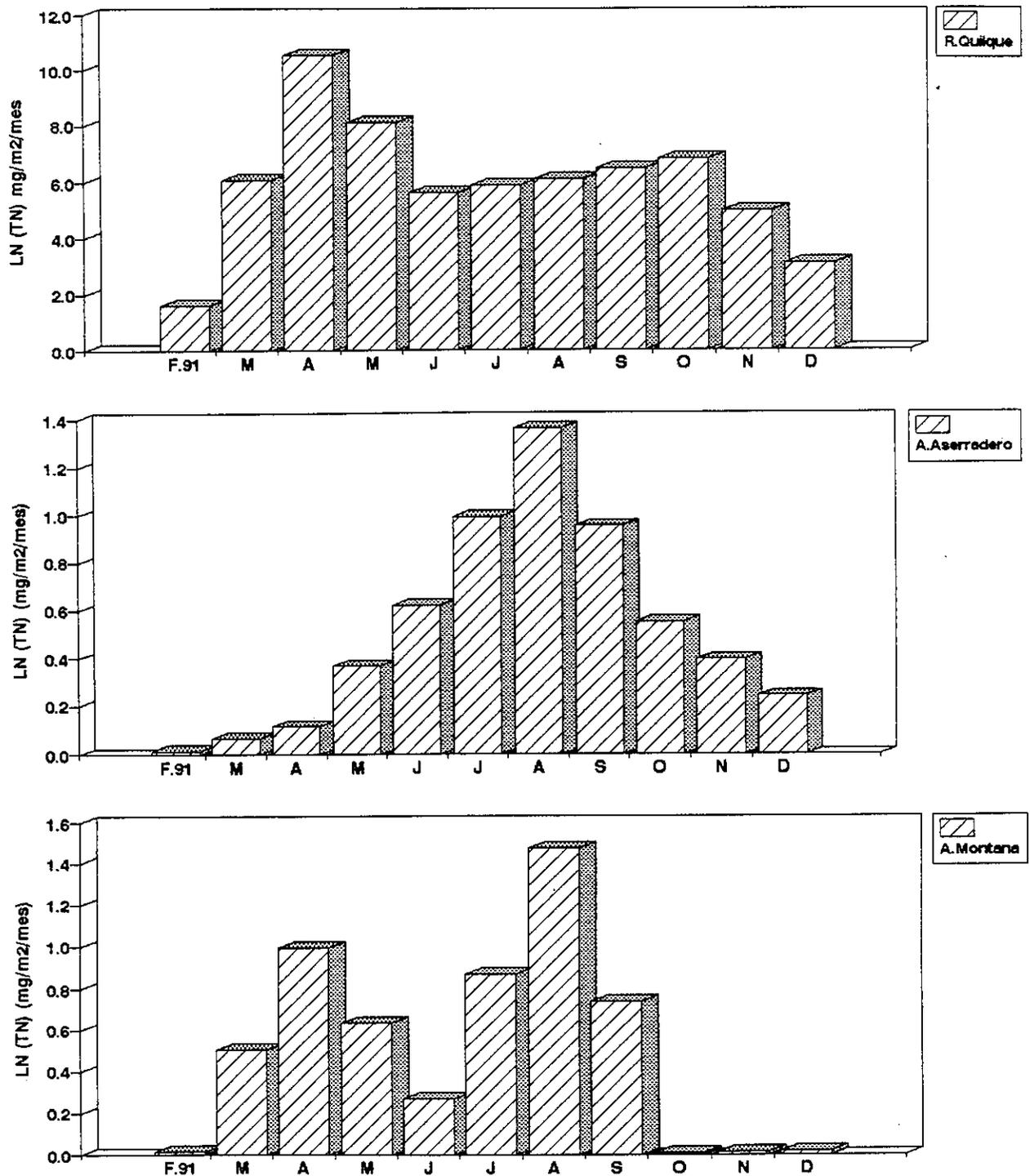


Figura 53: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. Quilque, A. Aserradero y A. Montaña. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

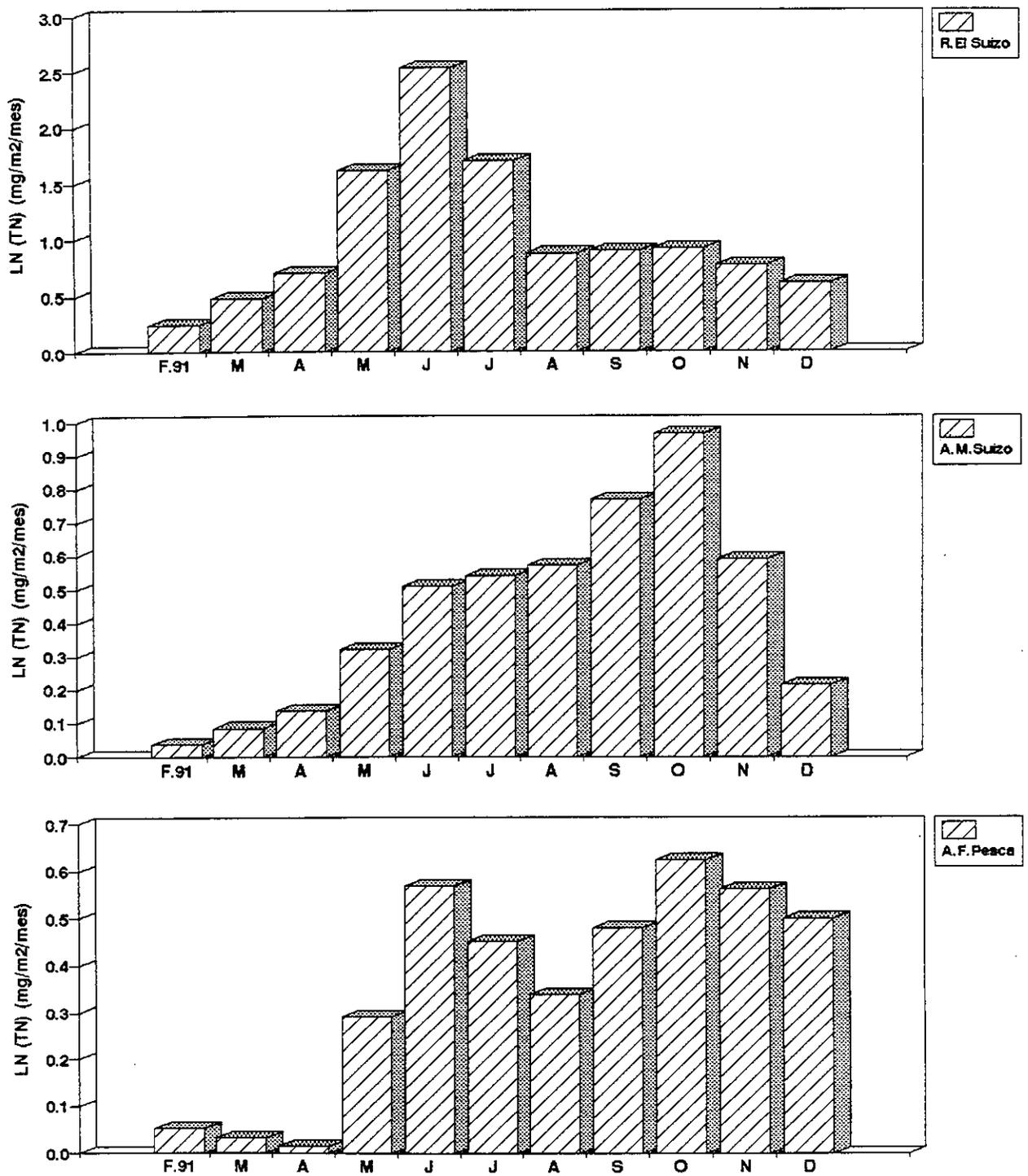


Figura 54: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. El Suizo, A. Montaña Suizo y A. Fdo. Pesca. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

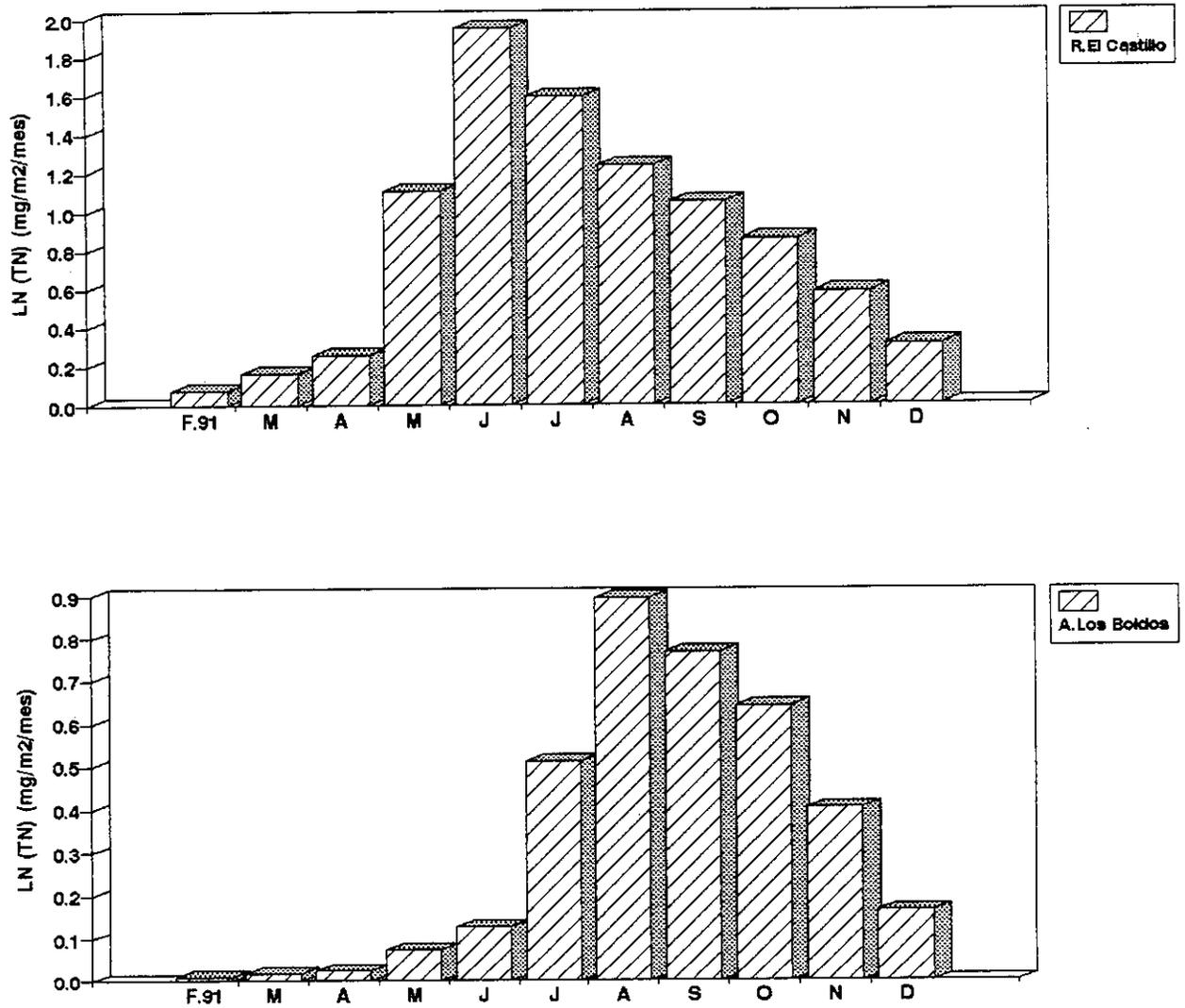


Figura 55: Carga de nitrógeno total mensual de los afluentes: R. El Castillo y A. Los Boldos. Las concentraciones de los meses de marzo, mayo, julio, septiembre y noviembre son extrapolados como promedio del mes anterior y posterior.

6.- CONDICIONES TROFICAS DEL LAGO VILLARRICA Y SU CONTAMINACION.

Los niveles tróficos están basados en características abióticas o bióticas que las determinan. En el presente trabajo están determinadas por los nutrientes de fósforo total y nitrógeno total (Fig. 58).

La contaminación la estamos considerando en este capítulo como un aumento de la trofia del lago. En el lago Villarrica se usó la siguiente calificación:

- * Ultraoligotrofia : aguas muy limpias.
- * Oligomesotrofia : aguas limpias pero con inicios de contaminación.
- * Meso-eutrofia : aguas con contaminación.
- * Eutrofia : aguas muy contaminadas.
- * Hipertrofia : aguas en estado crítico de contaminación.

a) Afluentes:

La trofia de los afluentes del lago Villarrica de acuerdo a su concentración de fósforo y nitrógeno fue alta (Fig. 56).

El rango de fósforo total de los afluentes estuvo entre 10.4 a 425.5 $\mu\text{g/l}$ con un promedio de 82.8 $\mu\text{g/l}$. Dentro de este rango se contabilizaron : 7 hipereutróficos, 2 meso-eutróficos y 18 eutróficos (Tabla 45).

Para el nitrógeno, los antecedentes se muestran en Tabla 46; Fig. 56.-

Las concentraciones de nitrógeno fueron entre 50.2 a 2946.1 $\mu\text{g/l}$ con un promedio de 375.6 $\mu\text{g/l}$. Según la carga de nitrógeno total se contabilizaron en los afluentes: 8 oligomesotróficos, 1 hiper-eutrófico, 3 eutróficos, 2 meso-eutróficos y 13 ultra-oligotróficos (Tabla 46; Fig. 56).

La evaluación de los parámetros físicos y químicos en 14 variables, se muestra en la Tabla 47 con el número de factores positivos y negativos. Se consideran factores positivos, aquellos parámetros que corresponden a aguas limpias, y negativos, a los de agua contaminada.

a) Efluente: Río Toltén.

El río Toltén presentó un promedio de 23.3 $\mu\text{g/l}$ de fósforo total siendo clasificado como meso-eutrófico. La concentración de nitrógeno total tuvo un promedio de 105.9 $\mu\text{g/l}$

siendo clasificado como oligotrófico. La mayoría de los parámetros físicos y químicos del río Toltén presenta condiciones positivas (Tabla 47; Fig. 57).

c) Bahías:

* **Bahía Villarrica:**

El promedio de fósforo total fue de 19.7 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como meso-eutrófico. El promedio de la concentración de nitrógeno fue de 89.6 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como ultra-oligotrófico. Los parámetros físicos y químicos muestran condiciones positivas para la bahía (Tabla 47; Fig. 57)..

* **Bahía Marina Villarrica:**

El promedio de fósforo total fue de 34.3 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como eutrófico. El promedio de la concentración de nitrógeno fue de 142.1 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como ultra-oligotrófico. Los parámetros físicos y químicos muestran condiciones negativas para la bahía (Tabla 47; Fig. 57).

* **Bahía La Poza:**

El promedio de fósforo total fue de 44.6 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como eutrófico. El promedio de la concentración de nitrógeno fue de 192.7 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como ultraoligotrófico. Los parámetros físicos y químicos muestran condiciones negativas para la bahía (Tabla 47; Fig. 57).

* **Bahía Hotel Pucón:**

El promedio de fósforo total fue de 13.6 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como meso-eutrófico. El promedio de la concentración de nitrógeno fue de 106.7 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como ultra-oligotrófico. Los parámetros físicos y químicos muestran condiciones desfavorables para esta bahía (Tabla 47; Fig. 57).

* **Centro del lago :**

El promedio de fósforo total fue de 25.4 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como meso-eutrófico. El promedio de la concentración de nitrógeno fue de 119.8 $\mu\text{g/l}$ siendo clasificado como ultra-oligotrófico. Los parámetros físicos y químicos muestran mayoría de condiciones negativas (Tabla 47; Fig. 57).

TABLA 45: Clasificación de los afluentes en niveles tróficos de eutrofización de acuerdo a su concentración media de fósforo total.-

N°est.	Afluentes	P _x (μg/l)	Nivel de trofia
1	Arroyo Alemán	270.9	Hipereutrófico
2	Estero Lucas	185.1	Hipereutrófico
3	Canal del medio	425.5	Hipereutrófico
4	Estero Pucará	88.2	Eutrófico
5	Arroyo Parque del lago	51.7	Eutrófico
6	Arroyo Lorena	86.9	Eutrófico
7	Río Huichatío	79.0	Eutrófico
8	Alcantarilla Chalet Café	154.4	Hipereutrófico
9	Río Molco	77.3	Eutrófico
10	Estero Loncostrarro	73.5	Eutrófico
11	Río Los Chilcos	86.9	Eutrófico
12	Río Correntoso	95.6	Eutrófico
13	Estero Candelaria I	35.0	Eutrófico
14	Estero Candelaria II	91.9	Eutrófico
15	Estero La Poza	112.9	Hipereutrófico
16	Arroyo Avenida Argentina	147.7	Hipereutrófico
17	Arroyo Hotel Pucón	115.0	Hipereutrófico
18	Río Claro	86.3	Eutrófico
19	Río Trancura	42.3	Eutrófico
20	Río Quilque	37.2	Eutrófico
21	Arroyo Aserradero	10.5	Mesoeutrófico
22	Arroyo Montaña	56.9	Eutrófico
23	Río El Suizo	39.9	Eutrófico
24	Arroyo Montaña Suizo	36.2	Eutrófico
25	Arroyo Fundo Pesca	27.0	Mesoeutrófico
26	Río El Castillo	72.1	Eutrófico
27	Arroyo Los Boldos	42.0	Eutrófico
28	Río Toltén	23.3	Mesoeutrófico
29	Bahía Villarrica	19.7	Mesoeutrófico
30	Bahía Marina Villarrica	34.3	Eutrófico
31	Bahía La Poza	44.6	Eutrófico
32	Bahía Hotel Pucón	13.7	Mesoeutrófico
33	Centro del lago	25.4	Mesoeutrófico

TABLA 46: Clasificación de los afluentes en niveles tróficos de eutroficación, de acuerdo a su concentración media de Nitrógeno total.-

N°est.	Afluentes	N _x (µg/l)	Nivel de trofia
1	Arroyo Alemán	1550.0	Mesoeutrófico
2	Estero Lucas	1067.0	Eutrófico
3	Canal del medio	2303.9	Hipereutrófico
4	Estero Pucará	264.6	Oligomesotrófico
5	Arroyo Parque del lago	457.9	Mesoeutrófico
6	Arroyo Lorena	577.6	Eutrófico
7	Río Huichatío	250.0	Ultraoligotrófico
8	Alcantarilla Chalet Café	298.0	Oligomesotrófico
9	Río Molco	135.3	Ultraoligotrófico
10	Estero Loncotraro	241.2	Oligomesotrófico
11	Río Los Chilcos	166.3	Ultraoligotrófico
12	Río Correntoso	256.1	Oligomesotrófico
13	Estero Candelaria I	228.1	Oligomesotrófico
14	Estero Candelaria II	293.6	Oligomesotrófico
15	Estero La Poza	204.4	Ultraoligotrófico
16	Arroyo Avenida Argentina	869.6	Eutrófico
17	Arroyo Hotel Pucón	358.6	Oligomesotrófico
18	Río Claro	195.9	Ultraoligotrófico
19	Río Trancura	122.7	Ultraoligotrófico
20	Río Quilque	127.3	Ultraoligotrófico
21	Arroyo Aserradero	100.5	Ultraoligotrófico
22	Arroyo Montaña	75.3	Ultraoligotrófico
23	Río El Suizo	48.0	Ultraoligotrófico
24	Arroyo Montaña Suizo	123.6	Ultraoligotrófico
25	Arroyo Fundo Pesca	123.8	Ultraoligotrófico
26	Río El Castillo	165.4	Ultraoligotrófico
27	Arroyo Los Boldos	212.5	Oligomesotrófico
28	Río Toltén	105.9	Oligotrófico
29	Bahía Villarrica	89.4	Ultraoligotrófico
30	Bahía Marina Villarrica	142.1	Ultraoligotrófico
31	Bahía La Poza	192.7	Ultraoligotrófico
32	Bahía Hotel Pucón	105.4	Ultraoligotrófico
33	Centro del lago	135.2	Ultraoligotrófico

TABLA 47: Número de parámetros positivos (no contaminantes) y negativos (contaminantes) de los afluentes del lago Villarrica.-

N° est.	Afluentes	Factores	
		Positivo	Negativo
1	Arroyo Alemán	1	13
2	Estero Lucas	2	12
3	Canal del medio	1	13
4	Estero Pucará	6	8
5	Arroyo Parque del lago	11	3
6	Arroyo Lorena	4	10
7	Río Huichatío	8	6
8	Alcantarilla Chalet Café	5	9
9	Río Molco	10	4
10	Estero Loncotraro	7	7
11	Río Los Chilcos	10	4
12	Río Correntoso	9	5
13	Estero Candelaria I	8	6
14	Estero Candelaria II	3	11
15	Estero La Poza	6	8
16	Arroyo Avenida Argentina	4	9
17	Arroyo Hotel Pucón	6	8
18	Río Claro	6	8
19	Río Trancura	9	5
20	Río Quilque	8	6
21	Arroyo Aserradero	11	3
22	Arroyo Montaña	12	2
23	Río El Suizo	13	1
24	Arroyo Montaña Suizo	10	4
25	Arroyo Fundo Pesca	12	2
26	Río El Castillo	11	3
27	Arroyo Los Boldos	11	3
28	Río Toltén	12	2
29	Bahía Villarrica	8	6
30	Bahía Marina Villarrica	4	10
31	Bahía La Poza	3	11
32	Bahía Hotel Pucón	5	9
33	Centro del lago	6	8

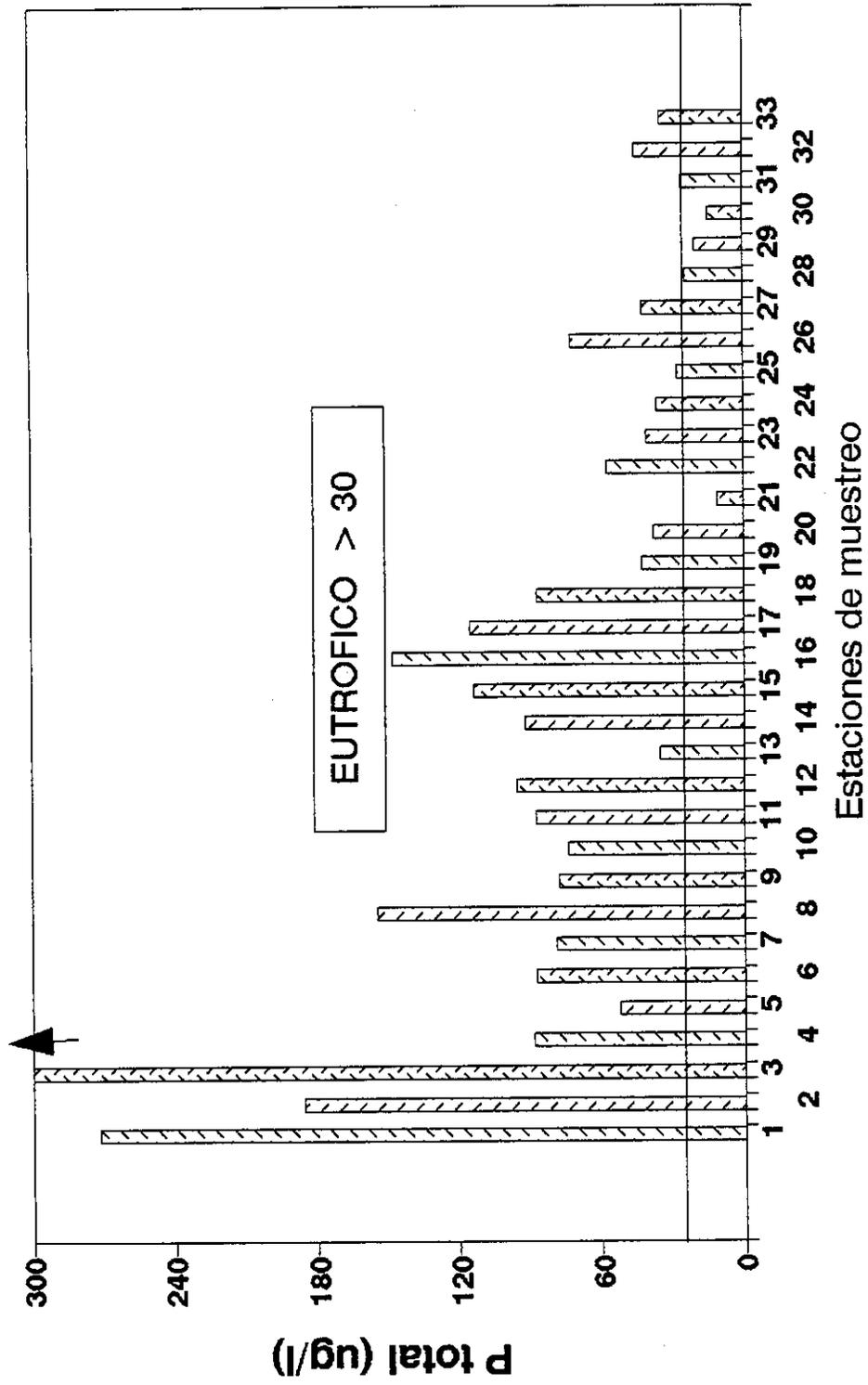


Figura 56 : Niveles de trofía de los afluentes del Lago Villarrica, de acuerdo a su concentración de Fósforo total.-

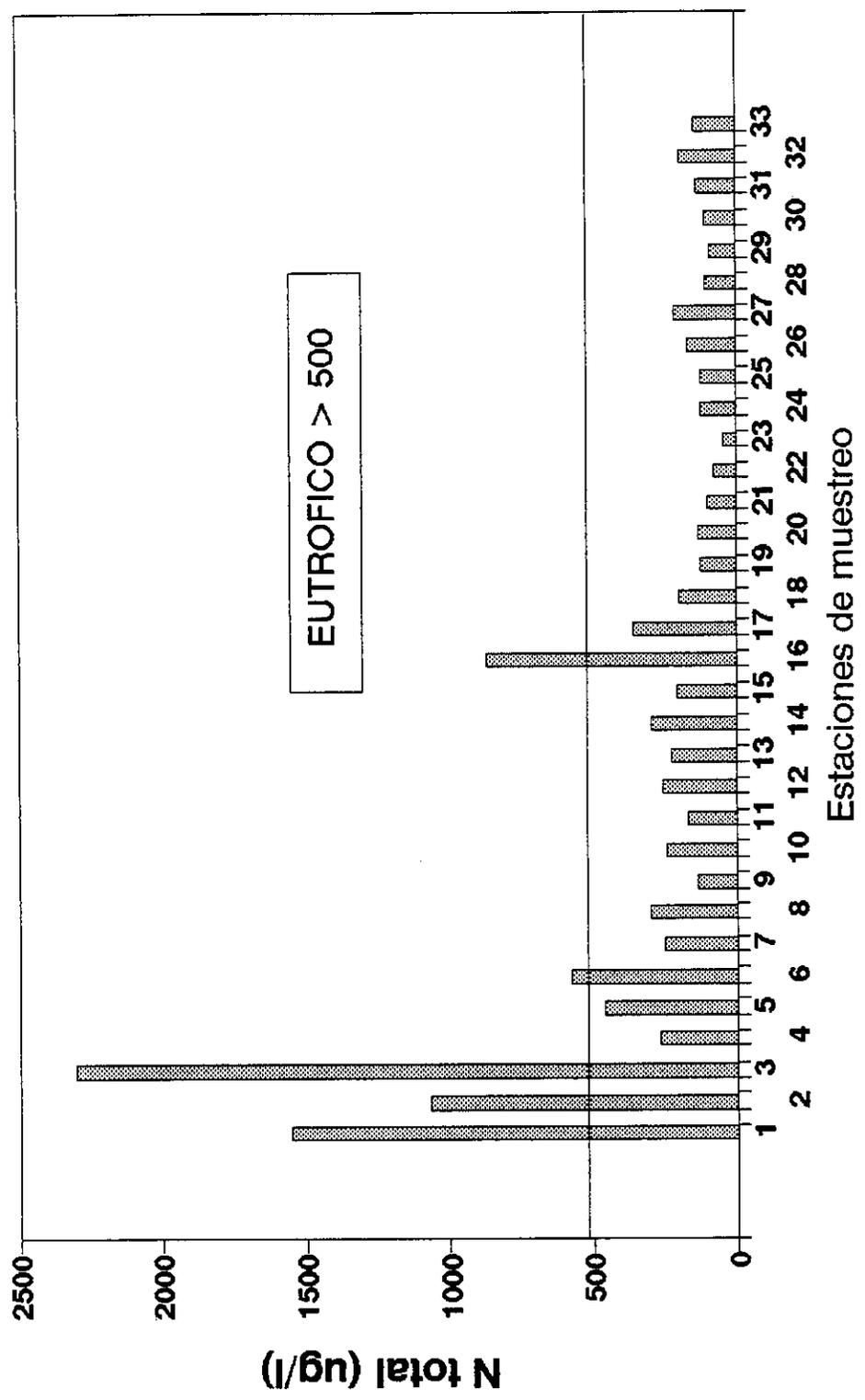


Figura 56b : Niveles de troffa de los afluentes del Lago Villarrica, de acuerdo a su concentración de Nitrogeno total.-

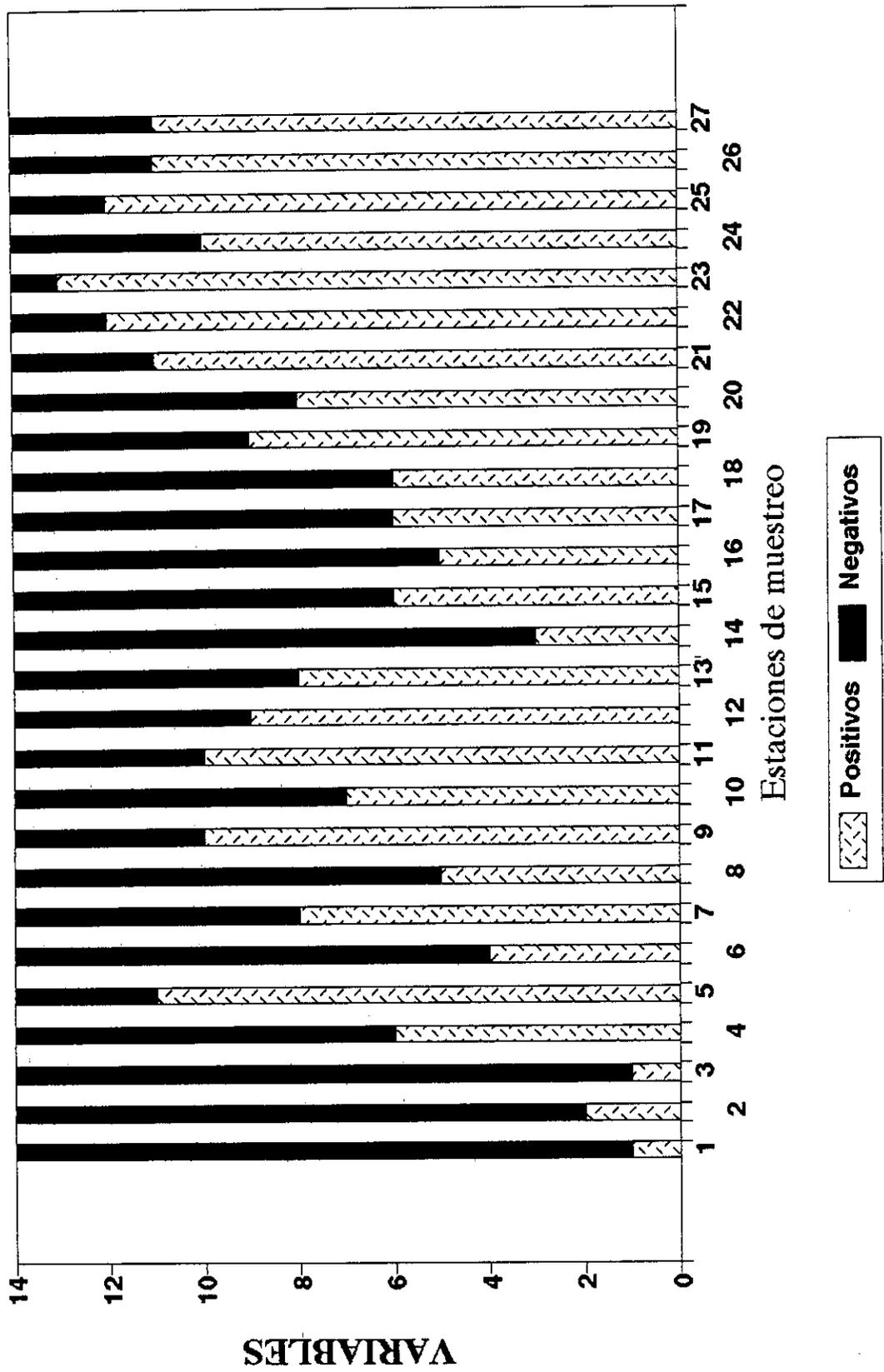


Figura 57 : Evaluación de la calidad del agua de los afluentes del lago Villarrica, de acuerdo a sus factores físico-químicos. Positivo: parámetro favorable para aguas naturales descontaminadas. Negativo: parámetro indicador de contaminación. Se analizaron 14 parámetros en cada estación de muestreo.-

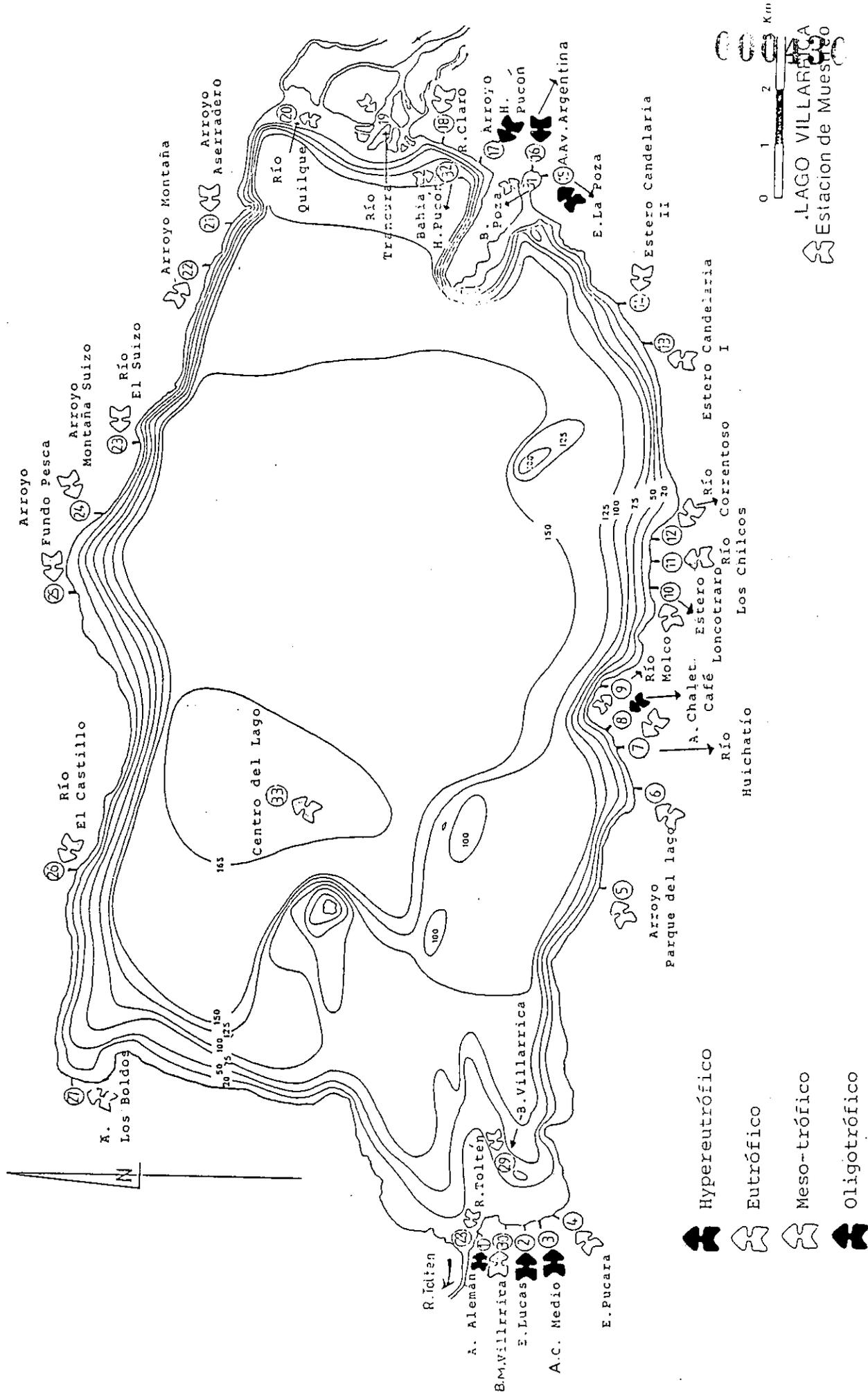


Figura 58 : Representación en colores de los grados de eutroficación de los afluentes, bahías y efluente del lago Villarrica.-

7.- USO DEL SUELO Y DEMOGRAFIA

El perímetro del lago Villarrica tiene 71,2 km. En este perímetro, en una franja desde el litoral hasta la orilla del camino entre Villarrica y Pucón, se calcula un promedio de 1000 metros. Esta franja fue estudiada a través de una encuesta efectuada entre el 2 al 20 de febrero de 1991. Los resultados indican que de los 71.2 km² están ocupados, en edificaciones 0.123 km² ó 123.124 m² (0.17%), y en camping 0.056 km² ó 56.420 m² (0.08%). Por lo tanto, el área libre de edificaciones corresponde a 71.02 km². Aunque la cifra edificada en área es baja con respecto al perímetro, se debe considerar que cada edificio tiene un área ocupada con uso del suelo, con jardines, terrazas, muelles, canchas de tenis, etc. Esta área circundante es muy variable entre más o menos 5 a 10 veces el área construída.

El número total de edificaciones y campings fue 985, de los cuales 679 son casas o cabañas con un 68.9 %. Son importante los campings, hoteles y edificios de departamentos. La superficie edificada y campings es más o menos 18 hectáreas.

Los habitantes encuestados que permanecen durante todo el año y durante vacaciones alcanza a 7324 personas. En esta cifra no están incluídos los habitantes fuera del perímetro, como las ciudades de Pucón y Villarrica. Pucón tiene un sistema de alcantarillado que va a una laguna de estabilización que desagua en el río Claro.

Los días ocupados por estos habitantes fue de 1.319.000. Esto se calculó por los habitantes residentes (2884 personas), con una permanencia anual de 350 días en días-habitantes/año (1.052.660). Los veraneantes (4440 personas) con una permanencia temporal de 60 días al año en días-habitante/año (266.400).

El sistema de desague es mayoritariamente por pozo séptico con un 81.9 % de los desagües, los pozos negros o letrinas con un 13.1 %, alcantarillado directo a riachuelos con un 0.36%.

Esta postulación está basada en que el desecho de aguas residuales de viviendas que usan tanques sépticos, pueden o no ser eficaces para atrapar e impedir que los nutrientes entren en un tributario o lago, a través de las aguas subterráneas. El éxito de un tanque séptico para impedir la pérdida de nutrientes depende básicamente del coeficiente de retención del suelo (R.S.), que proporciona una estimación de la calidad de inmovilización en un sistema de tanque séptico del nitrógeno o fósforo en el suelo. Este coeficiente de R.S. puede oscilar entre 0 a 1.0 La máxima retención del suelo de N y P de un tanque

séptico es 1.0 (ó 100% del nutriente que ingresa al tanque) y la salida de todo el N y P es 0.0.

El tipo de suelo es decisivo para estos cálculos. Los suelos porosos y de arenas son los que mejor permiten el paso del P y N y los que retienen los nutrientes son los suelos de arcilla. La capacidad de trasladarse (C.T.) del nutriente a través del suelo se calcula como $C.T. = 1 - R.S.$ Como regla general, en los tanques sépticos los valores de R.S. para nitrógeno estan entre 0.20 a 0.55 y entre 0.25 a 0.40 para el fósforo. Este valor es 0 en pozos negros o letrinas.

En el lago Villarrica, en su periferia, los suelos generalmente son de arena volcánica o de trumao que se caracterizan por su alta porosidad. Este tipo de terreno pone un mínimo de obstáculo al paso de los nutrientes. Consideramos que un R.S. de los pozos sépticos está en más o menos 0.20, es decir probablemente cerca de un 80% de los nutrientes podría llegar al lago proveniente de los tanques sépticos. Los pozos negros tendrían un valor de $R.S. = 0.0$

Una forma general de calcular la carga de nutrientes proveniente de tanques sépticos se puede basar en la carga per-cápita (kg/cápita/año) multiplicado por el factor $1 - R.S.$ Una aproximación del traslado por el suelo de nutrientes al lago Villarrica desde los tanques sépticos sería 0.8 ($1 - R.S. = 1 - 0.20$). Si consideramos un aporte per cápita de 2.8 gr de fósforo al día por habitante, éste se multiplica por 0.8, estimándose que 2.2 gr de fósforo total que podrían llegar al lago.

Los principales resultados de la encuesta se encuentran en Tabla 48. Se adjunta en Anexo 1 las planillas originales de la encuesta realizada en terreno.

TABLA 48: Resumen de la encuesta sobre uso del suelo alrededor del lago Villarrica.-

1.- TIPO DE EDIFICACION:

a) CASA HABITACION:		
	estable:	221
	veraneo:	268
b) HOTEL:		6
c) ESCUELA:		1
d) RESTAURANT:		6
e) NEGOCIOS:		2
f) EDIFICIOS DEPARTAMENTOS:		4
g) CAMPINGS (N° sitios):		284
h) CABAÑAS:		190
i) OTROS (Estadio, Condominio, Iglesia):		3
	TOTAL :	985

2.- OCUPACION EN m²:

a) edificación:	123124
b) campings :	56420
TOTAL:	179524 m² = 17.9 Ha.

3.- NÚMERO DE HABITANTES:

a) todo el año :	2884
b) veraneo:	4440
TOTAL:	7324

4.- DIAS OCUPADOS (en días/habitante/año):

a) por veraneo:	266.400
b) por todo el año:	1.052.660
TOTAL :	1.319.060

5.- SISTEMA DE DESAGUE:

a) alcantarillado:	25
b) pozo negro:	72
c) pozo séptico:	448
d) directo a riachuelo:	2
TOTAL :	547

8.- CAPACIDAD DE SOPORTE DEL LAGO EN CONDICIONES ACTUALES (1991).

El lago Villarrica recibe dos tipos de carga de P y N que son natural y artificial. Se considera que la carga natural es aquella que proviene del área de drenaje, por escorrentías, afluentes y aguas de lluvia. La carga artificial es aquella generada directamente por la actividad humana, especialmente, por desagües domésticos, agricultura, desagües de las ciudades e industrias. Esto se manifiesta en la siguiente fórmula:

$$J_T = J_N + J_A$$

donde:

J_T = carga total de nutriente al lago.

J_N = carga natural de nutrientes.

J_A = carga artificial de nutrientes.

$$L_T = J_T / A_o$$

donde:

L_T = carga total del lago por unidad de superficie.

J_T = carga natural + carga artificial.

A_o = área del lago.

El análisis de esta carga del lago permite considerar la capacidad de soporte de nutrientes del lago.

8.1.- Carga natural

* Afluentes

En los capítulos sobre balance de fósforo y nitrógeno se considera la carga desde los afluentes al lago. De acuerdo a la clasificación trófica estos afluentes traen una carga extra a la natural. Es probable que gran parte de este aumento provenga de actividades agrícolas, aguas servidas, desechos sólidos (basura) y otros. Es muy difícil diferenciar estas fuentes de ingreso a los afluentes.

De acuerdo al balance másico con la carga de los afluentes había un déficit de -78.8 toneladas de fósforo total con respecto a la salida de fósforo por el efluente (río Toltén) en 1991. En el caso de nitrógeno total este déficit sería de -277.6 toneladas.

* Precipitaciones

El agua de lluvia contiene concentraciones de fósforo y nitrógeno. Análisis de aguas

de lluvia realizados en el laboratorio de Riñihue revela concentraciones de $14 \mu\text{g/l}$ durante el año. Es probable que por las condiciones precordilleranas, esta concentración podría ser extrapolada al lago Villarrica. No se sabe si esto es válido para las precipitaciones sobre el lago Villarrica. Sin embargo sabemos que la precipitaciones sobre esos lagos fue en 1991 más o menos de 2000 mm. Teniendo presente que 1 mm de precipitación equivale a 1 litro/m², se estima que en el área del lago ($1 \text{ km}^2 = 10^6 \text{ m}^2$) la precipitación fue de $175.9 * 10^6 * 200$ litros. Considerando teóricamente la concentración de 14 mg/m^3 de fósforo total, se podría proponer que las lluvias aportarían más o menos con 4.9 toneladas de fósforo total al año.

Las mediciones de nitrógeno total se calcularon en 50 mg/m^3 . Siguiendo el razonamiento anterior el aporte de nitrógeno total al lago proveniente de las lluvias sería teóricamente de 17.6 toneladas al año.

* Aguas subterráneas

Otra fuente de nutriente es el agua subterránea. Hemos realizado algunos análisis en el litoral del lago Villarrica en agosto de 1991. Se midió fósforo soluble con $39.7 \mu\text{g/l}$ y amoniaco en una alta concentración de $519.8 \mu\text{g/l}$. En todo caso no conocemos el desplazamiento de aguas subterráneas y su origen .

8.2.- Carga artificial

8.2.1.- Cálculo del fósforo de origen artificial:

$$J_A = (\text{kg/cápita/año}) * (1 - R.S.) * N * T$$

donde:

J_A = carga artificial de nutrientes

P total: Es el aporte de fósforo total que elimina un habitante por año. Estas cifras son aproximadas y varía entre los países de acuerdo a los tipos de alimentación. Esta cifra varía desde 0.55 kg/hab/año (en Alemania) hasta 1.5 kg/hab/año (según Owen, 1971). En U.S.A. se calcula un valor de 0.80 kg/hab/año . Hemos considerado según nuestra realidad un valor de 1.5 kg/hab/año . Este valor equivale a 4.1 gramos por día de una persona.

(1 - R.S.): Coeficiente de retención del suelo de la salida de un tanque séptico. En otras palabras la capacidad del nutriente para trasladarse a través del suelo.

N : Es el número de cabañas, casas u otras construcciones que habita el

hombre alrededor del lago.

T : Es el número promedio de días por habitantes al año que usó las edificaciones o terreno de N. Valores aproximados (ver capítulo 7).

En el lago Villarrica, de acuerdo a la encuesta realizada, los valores son los siguientes para la fórmula:

$$J_A = (\text{kg/cápita/año}) * (1 - \text{R.S.}) * N * T$$

donde:

P total = 1.5 kg/cápita/año ó 4.1 gramos/cápita/día

(1 - R.S) = R.S. con un valor de 0.20, luego (1-R.S) = 0.80

N = según Tabla 48, tenemos 7324 habitantes de los cuales 2884 están todo el año y 440 sólo en el verano.

T = Se calcula en 365 días habitantes todo el año y 60 días habitantes en verano.

N * T = 1.319.000 días/habitante/año (Tabla 48)

luego:

$$J_A = 4.1 * 0.8 * 1.319.000$$

$$J_A = 4.3 \text{ toneladas de P total en el año 1991.}$$

8.2.2.- Cálculo del Nitrógeno de origen artificial.

Se siguió la misma metodología que usó para el fósforo.

La fórmula:

$$J_A = (\text{kg/cápita/año}) * (1 - \text{R.S.}) * N * T$$

donde:

N total: (kg/cápita/año). Es el aporte de nitrógeno total que elimina un habitante por año. La variación es entre 13 a 20 gramos por persona al día. Esto equivale a 4.7 a 7.3 (kg/cápita/año). Consideramos para este trabajo 20 gramos/día por habitante.

(1 - R.S): 0.80

N : según Tabla 48 = 7324 habitantes.

T : 365 días habitantes todo el año y 60 días habitantes de verano.

N * T: 1.319.000 días/habitantes/año (ver Tabla 48).

luego:

$$J_A = 20 * 0.8 * 1.319.000$$

$$J_A = 21.1 \text{ toneladas de nitrógeno total en el año 1991.}$$

8.2.3.- Relación carga natural y artificial

De acuerdo a la fórmula:

$$J_T = J_N + J_A$$

donde:

J_T = carga total de nutrientes del lago

J_N = carga natural de nutrientes

J_A = carga artificial de nutrientes

$$L_T = J_T/A_o$$

donde:

L_T = carga total del lago

A_o = Area total del lago

8.2.4.- Cálculo para la carga natural más la artificial de fósforo total al lago.

J_N = 95.2 toneladas en el área del lago.

J_A = 4.3 toneladas.

J_T = 95.2 + 4.3 = 99.5 toneladas.

8.2.5.- Cálculo para la carga natural más la artificial de nitrógeno total

J_N = 513.6 toneladas en el área del lago.

J_A = 21.1 toneladas

J_T = 513.6 + 21.6 = 535.2 toneladas en el área del lago.

8.2.6.- Capacidad de carga de habitaciones

Un cálculo interesante es la capacidad de casas de recreo o edificios que se pueden

construir alrededor de un lago hasta 100 metros de la orilla.

Según la fórmula de Seppanen (1972):

$$C = (A_o \sqrt{D_L}) / (10 h)$$

donde:

A_o = Area del lago en hectáreas

D_L = desarrollo de línea de costa

10 = área mínima en hectárea para una casa ubicada alrededor del lago

Para el lago Villarrica esta fórmula da el siguiente resultado:

$$A_o = 17.587 \text{ hectáreas}$$

$$D_L = 1,5$$

$$C = 2153,9 \text{ casas}$$

Este número de 2153,9 habitaciones alrededor del lago Villarrica, como posibles, abarcaría un área de 21539 hectáreas.

La encuesta realizada nos entrega un total de edificaciones diferentes de 985 que se puede proyectar a 9850 hectáreas. Esto equivaldría a estar ocupando un 45,7 % del valor predictivo de construcción. Sin embargo, en este valor está considerado 4 edificios de departamento que contiene un número de habitaciones no determinadas.

Un ejercicio lo podemos hacer con la superficie edificada u ocupada que fue de 179.524 m² (17.9 Ha). Si consideramos un promedio de 60 m² por habitación, tendríamos un valor teórico de 2992 casas, superando el valor calculado de 2153.9. Es posible que este último cálculo sea mas realista que el basado en el número de las edificaciones.

9.- COMPARACION DE P_{total} Y N_{total} ENTRE 1986 - 1987 Y 1991.-

Los análisis de fósforo total y nitrógeno total realizados en 1986 - 1987 son comparables con los obtenidos en 1991. En ambos ciclos se realizó análisis en las mismas bahías y centro del lago. Además, se puede comparar las concentraciones en algunos ríos.

* Fósforo total (Tabla 49; Fig. 59).

- * **Bahía Villarrica:** el fósforo total aumentó desde 1986 - 1987 a 1991 en 5.5 veces en promedio. El valor máximo aumento 6.1 veces. El fósforo soluble no tuvo aumentos significativos de 2.0 $\mu\text{g/l}$ a 2.5 $\mu\text{g/l}$.
- * **Bahía La Poza:** el aumento entre ambos ciclos fue de 8.9 veces en el fósforo total. El valor máximo subió en 22 veces. El aumento del fósforo soluble fue de 4.7 veces, siendo el aumento del valor máximo de 8.1 veces.
- * **Bahía Hotel Pucón:** el aumento entre ambos ciclos fue de 3.8 veces. El valor máximo subió en 5.8 veces. El fósforo soluble subió en 1.6 veces.
- * **Bahía Molco:** sólo se realizó análisis en 1986 - 1987. Sus concentraciones son parecidas a las otras bahías.
- * **Centro del lago:** la comparación entre 1986 - 1987 y 1991 reveló un aumento de 7 veces en fósforo total. En fósforo soluble se registró un aumento de 2.8 veces. Datos históricos de 1978 - 1979 son dudosos por no representar todas las estaciones del año.

Antecedentes de 1984 - 1985 revelan un aumento mayor que los obtenidos en 1986 - 1987. Esto se debe probablemente por que la estación de muestreo de 1984 - 1985 se ubicó frente a la salida de la bahía de La Poza. En todo caso desde 1984 - 1985 el fósforo total aumentó 3.6 veces y el fósforo soluble 2.1 vez.

Los ríos comparables fueron Huichatío, Molco, Claro, Lucas, Alemán y Pucón. Todos estos ríos experimentaron aumentos en fósforo total. Los mayores aumentos fueron en los esteros Lucas (5.3 veces) y Alemán (4.6 veces).

* Nitrógeno (Tabla 50; Fig. 60).

El nitrógeno total aumentó de 1986 - 1987 a 1991 en 10 veces en la bahía Villarrica, 11 veces en la Poza, 11.4 veces en Hotel Pucón. En el centro del lago se registró una disminución en relación a 1986 - 1987 y especialmente 1984 - 1985, pero un aumento en comparación a 1978 - 1979.

Los ríos comparables fueron Huichatío, Molco, Claro, Lucas, Alemán y

Hotel Pucón. Los mayores aumentos se registraron en el estero Lucas y río Huichatío.

*** Comentario**

El aumento, en bahías, afluentes y centro del lago, del fósforo total en cuatro años, equivale a un aumento de 100% por cada año en promedio. En La Poza el aumento es de un 200% por año. Una situación parecida se da en el centro del lago. En los ríos los aumentos son importantes. Esta situación es preocupante si esta tendencia continúa.

En el caso del nitrógeno los aumentos son mayores que en el fósforo. El promedio en cuatro años en las bahías es de 10.8 veces, es decir, 270% por año. En los ríos los aumentos son altos, especialmente en Estero Lucas.

TABLA 49: Concentración de Fósforo total y Ortofosfato en bahías, afluentes y lago Villarrica entre 1984 a 1991.

Lugar	Año	Prof.	Ptotal (ug/l)			PO4-P (ug/l)		
			Promedio	Rango	Aumento	Promedio	Rango	Aumento
Bahia Villarrica	1986-87	0.1-60	3.6	2.0 - 9.4	5.5	2.0	0.8 - 7.2	0.35
	1991	0.1-9	19.6	1.9 - 57.8		2.5	0.0 - 4.6	
Rio Huichatio	1986-87		27.9		2.8	30.2		0.95
	1991		79.0	48.7 - 143.6		28.8	12.0 - 39.6	
Molco	1986-87	0.1-60	3.3	1.8 - 6.3		1.8	0.6 - 3.3	
Rio Molco	1986-87		24.2		3.2	26.0		1.1
	1991		77.3	41.6 - 134.3		27.6	21.3 - 36.5	
Bahia La Poza	1986-87	0.1-60	5.0	2.1 - 8.7	8.9	2.9	0.9 - 7.1	4.7
	1991	0.1-9	44.5	13.8 - 194.5		13.6	1.7 - 57.8	
Rio Claro	1986-87		29.5		2.9	28.8		1.3
	1991		86.3	47.1 - 161.5		38.7	11.5 - 80.3	
Bahia Hotel Pucon	1986-87	0.1-60	3.6	1.9 - 6.5	3.8	2.1	0.9 - 4.2	1.6
	1991	0.1-9	13.6	5.5 - 37.9		3.4	0.3 - 6.9	
Arroyo H. Pucon	1986-87		31.2		3.7	32.9		1.4
	1991		114.9	81.3 - 179.7		45.6	40.0 - 56.3	
Estero Lucas	1986-87		34.7		5.3	32.9		1.6
	1991		185.1	22.4 - 282.5		52.8	1.8 - 84.8	
Arroyo Aleman	1986-87		59.1		4.6	40.3		1.7
	1991		270.9	138.0 - 508.3		69.9	19.0 - 86.6	
Centro del Lago	1978-79	0.1-60	13.6			5.6	4.8 - 6.3	
	1984-85	0.1-40	7.1			3.7	2.8 - 4.5	
	1991	0.1-160	25.4			3.2	0.0 - 8.0	
Lago	1978-79		13.6			4.8		
	1984-85		7.1			2.8		
	1986-87		3.7			2.1		
	1991		25.9			5.8		

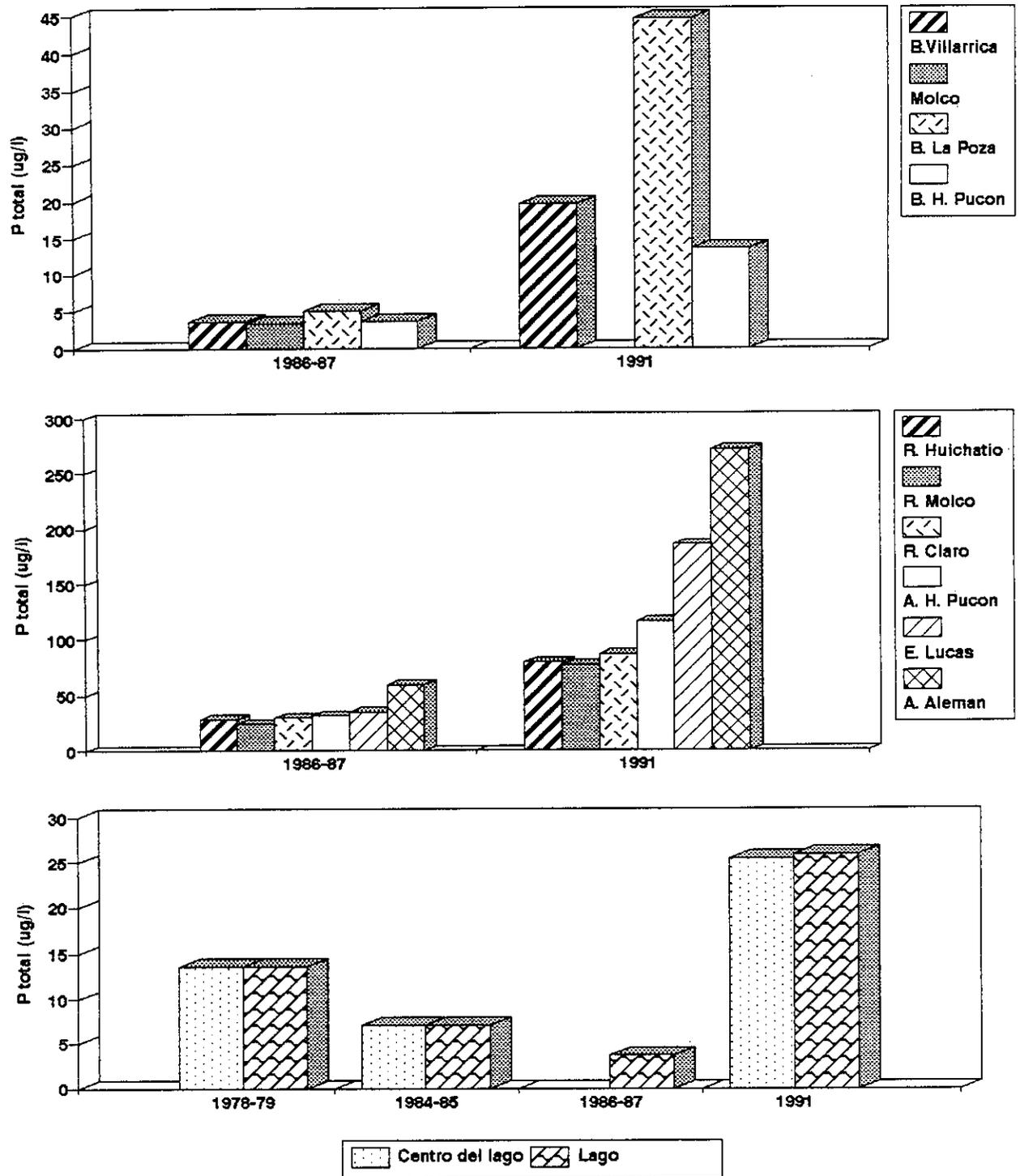


Figura 59: Comparación de las fluctuaciones del Fósforo total en bahías, afluentes y centro del lago Villarrica.

TABLA 50: Concentración de Nitrógeno total en bahías, afluentes y lago Villarrica entre 1984 a 1991.

Lugar	Año	Prof.	Ntotal (ug/l)		
			Promedio	Rango	Aumento
Bahia Villarrica	1986-87	0.1-25	8.9	0.7 - 46.0	10.0
	1991	0.1-9	89.6	0.2 - 48.3	
Rio Huichatio	1986-87		39.4	0.4 - 190.7	6.7
	1991		262.3		
Molco	1986-87		10	0.7 - 51.0	
Rio Molco	1986-87		45.3	0.3 - 82.3	2.9
	1991		135.4		
Bahia La Poza	1986-87	0.1-25	17.5	1.2 - 47.0	11.0
	1991	0.1-9	192.7	0.6 - 55.6	
Rio Claro	1986-87		58.2	1.7 - 105.0	2.9
	1991		166.7		
Bahia Hotel Pucon	1986-87	0.1-25	9.4	0.73 - 46.0	11.4
	1991	0.1-9	106.7	0.2 - 58.9	
Arroyo H.Pucon	1986-87		119.0	0.7 - 289.1	2.9
	1991		344		
Estero Lucas	1986-87		73.5	12.3 - 762.0	14.5
	1991		1069		
Arroyo Aleman	1986-87		1131.3	15.7 - 1374.0	1.3
	1991		1555		
Centro del Lago	1978-79	0.1-60	87.3	1.8 - 522.0	
	1984-85	0.1-40	261.0	10.0 - 790.0	
	1991	0.1-20	119.8	0.2 - 81.5	
Lago	1978-79		87.3		
	1984-85		261.0		
	1986-87		154.0		
	1991		127.2		

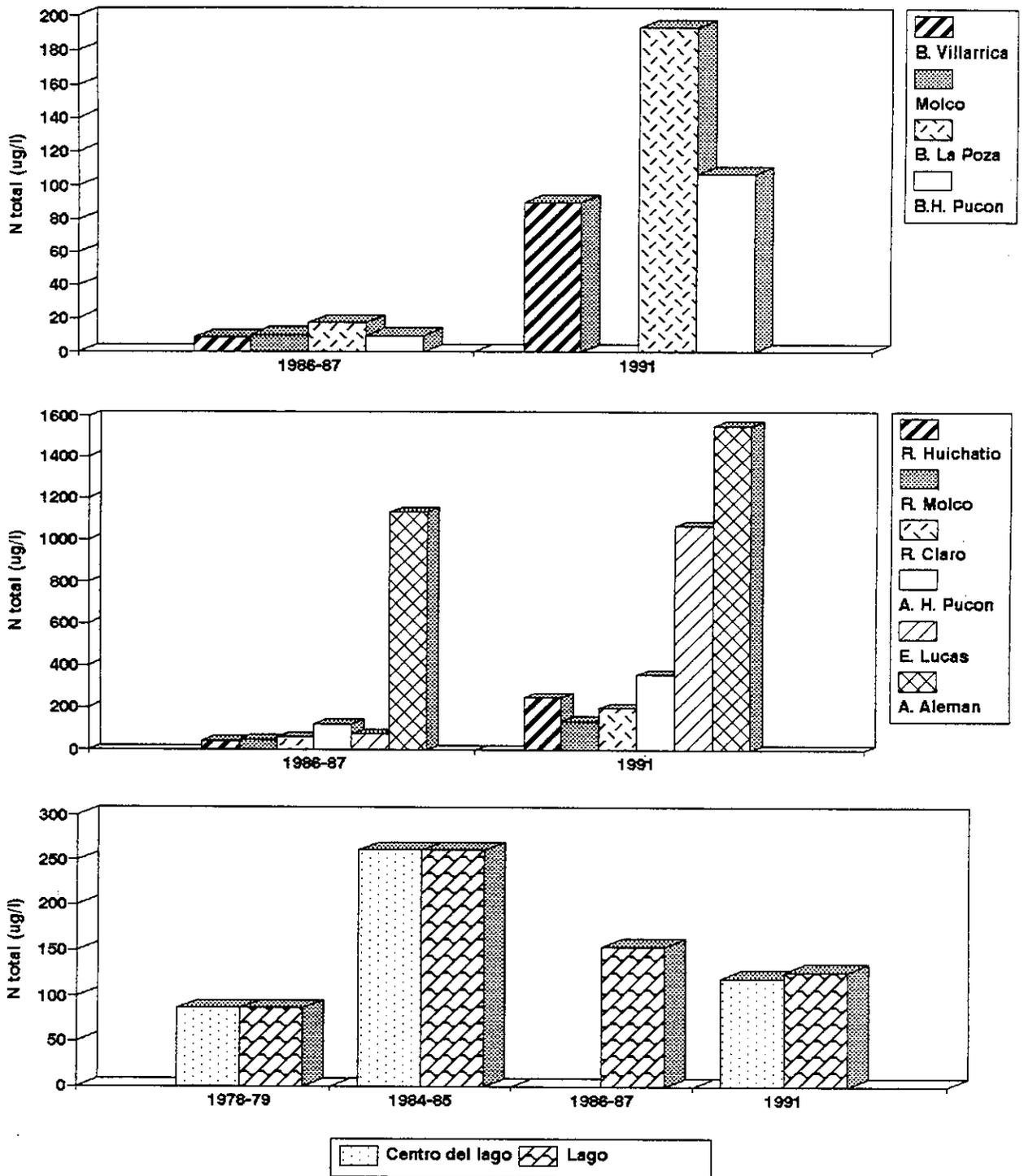


Figura 60: Comparación de las fluctuaciones del Nitrógeno total en bahías, afluentes y centro del lago Villarrica.

10.- PROGRAMA DE MONITOREO

El lago Villarrica se encuentra en un proceso de eutroficación, el cual hace necesario mantener un Plan de Monitoreo para saber si sus concentraciones de nutrientes siguen aumentando y cuál es su efecto en la productividad biológica.

- 1.- Realizar, por una vez, un estudio aereofotogramétrico para definir cartas temáticas de toda la hoya del lago Villarrica. Con ello se obtendría la siguiente información:
 - a) Uso de la hoya por diferentes actividades (tales como: agricultura, bosque, construcciones, etc.).
 - b) Definir aportes de nutrientes de estas actividades.
- 2.- De acuerdo a las cartas temáticas determinar, por una vez, el aporte de nutrientes directamente en el terreno de un muestreo de microcuencas.
 - a) Hacer un muestreo bimensual en:
 - * Arroyo Alemán, en superficie
 - * Estero Lucas, en superficie
 - * Arroyo Canal del medio, en superficie
 - * Río Huichatío, en superficie
 - * Río Molco, en superficie
 - * Río Claro, en superficie
 - * Estero La Poza, en superficie
 - * Río Trancura, en superficie
 - * Río Toltén, en superficie
 - * Bahía La Poza, en 1 y 8 metros de profundidad.
 - * Bahía frente Hotel Pucón, en 1 y 10 metros de profundidad.
 - * Centro del lago, a 3, 30 y 160 metros de profundidad.
 - b) Se determinará:

Temperatura, color, pH, conductividad, fósforo total, ortofosfato, nitrógeno de nitrato, nitrógeno de nitrito, nitrógeno de amonio y nitrógeno orgánico.
 - c) En el centro del lago, bahías Villarrica, La Poza y Hotel Pucón; se tomarán los siguientes componentes biológicos en muestra integrada:

Clorofila, fitoplancton (cuali y cuantitativo) y Productividad primaria.

Además los parámetros físicos y químicos propuestos para los ríos.
- 3.- Calcular el aumento anual de fósforo y nitrógeno del lago.
- 4.- Calcular el efecto biológico de este aumento cada año.
- 5.- Realizar muestreo especial en el lago, cuando se detecte un "bloom" de algas, midiendo también los parámetros físicos, químicos y biológicos mencionados en el punto anterior.

11.- CONCLUSIONES

- 1.- Los objetivos establecidos en el convenio en su artículo quinto se cumplieron en su totalidad, de acuerdo a los resultados precedentes. El estudio acordado contempla los siguientes aspectos básicos:
 - a) Proponer una metodología adaptativa a los lagos de la zona sur del país en relación a la carga de nutrientes sobre un lago.
 - b) Identificar la carga de fósforo desde fuentes de origen natural.
 - c) Identificar la carga de fósforo de fuentes artificiales.
 - d) Determinar el balance de fósforo en el lago.
 - e) Determinar el grado de contaminación del lago Villarrica, en relación a la carga de fósforo.
 - f) Cuantificar el balance de nitrógeno en forma preliminar.
- 2.- Se realizaron la mayoría de las mediciones presupuestadas en el convenio que se resumen en: Mediciones morfométricas en los afluentes para medir caudal; Mediciones físicas como temperatura, turbidez, color, transparencia y penetración de la luz (bahías y centro del lago); Mediciones químicas tales como: pH, conductividad, ortofosfato, fósforo total, nitrato, nitrito, amonio, demanda química de oxígeno.
- 3.- Se realizaron mediciones en el lago Villarrica en el año durante las siguientes fechas:
 - * febrero, 1991
 - * abril, 1991
 - * junio, 1991
 - * agosto, 1991
 - * octubre, 1991
 - * diciembre, 1991
- 4.- Los afluentes elegidos en el lago Villarrica para los análisis fueron los siguientes:
 - 1.- Arroyo Alemán
 - 2.- Estero Lucas
 - 3.- Canal del Medio
 - 4.- Estero Pucará
 - 5.- Arroyo Parque del lago
 - 6.- Arroyo Lorena
 - 7.- Río Huichatío
 - 8.- Alcantarilla chalet café

- 9.- Río Molco
- 10.- Estero Loncostraro
- 11.- Río Los Chilcos
- 12.- Río Correntoso
- 13.- Estero Candelaria I
- 14.- Estero Candelaria II
- 15.- Estero La Poza
- 16.- Arroyo Avenida Argentina
- 17.- Arroyo Hotel Pucón
- 18.- Río Claro
- 19.- Río Trancura
- 20.- Río Quilque
- 21.- Arroyo Aserradero
- 22.- Arroyo Montaña
- 23.- Río El Suizo
- 24.- Arroyo Montaña Suizo
- 25.- Arroyo Fundo Pesca
- 26.- Río El Castillo
- 27.- Arroyo Los Boldos

El número de mediciones morfométricas fue de 648. El de análisis físicos y químicos de 2248.

5.- Se muestrearon las bahías de:

- * Villarrica: 3 y 9 m de profundidad (Est. N°29).
- * La Marina de Villarrica: sólo en superficie (Est. N°30).
- * La Poza : 1 y 8 m de profundidad (Est. N°31).
- * Hotel Pucón: 1 y 10 m de profundidad (Est. N°32).
- * Centro del lago: 3, 30 y 160 m de profundidad (Est. N°33).

El número de mediciones fueron 240 y de análisis físicos y químicos de 933.

6.- Se fijó una estación en el afluente del lago Villarrica, río Toltén (Est. N°28) con 24 mediciones morfométricas y 84 físico-químicas.

7.- El número total de mediciones y análisis realizado fue de 4210. Las mediciones y análisis prometidos en los términos de referencia del convenio fue de sólo 1543. Se realizaron 2669 análisis por sobre lo prometido.

8.- De acuerdo al balance másico de fósforo realizado en el lago Villarrica se consideraron los ingresos naturales y artificiales, egreso por el efluente y concentración en el volumen y área del lago.

- **En el área del lago:**

* Ingreso natural de los afluentes en toda el área del lago**95.2 toneladas**

*	Ingreso teórico del agua de lluvia.....	4.9 toneladas
*	Ingreso artificial.....	3.97 toneladas
*	Egreso por el efluente.....	174.0 toneladas
*	Diferencia Ingreso - Egreso (carga teórica interna)	- 69.6 toneladas
*	Concentración del lago al inicio del período	481.0 toneladas
*	Concentración del lago al final del período	576.2 toneladas

El valor negativo puede explicarse como una carga interna.

- **En el volumen del lago:**

*	Ingreso natural de los afluentes en todo el volumen del lago.....	88.2 toneladas
*	Ingreso teórico del agua de lluvia	4.6 toneladas
*	Ingreso artificial	3.97 toneladas
*	Egreso por el efluente.....	174.0 toneladas
*	Relación ingreso - egreso (carga teórica interna)	- 77.2 toneladas
*	Concentración al inicio del período.....	436.4 toneladas
*	Concentración al final del período.....	533.4 toneladas

Valor negativo es carga interna del lago.

9.- De acuerdo al balance másico de nitrógeno total:

- **En el área del lago:**

*	Ingreso natural de los afluentes en toda el área del lago	513.6 toneladas
*	Ingreso teórico del agua de lluvia	17.6 toneladas
*	Ingreso artificial	21.1 toneladas
*	Egreso por el efluente.....	791.2 toneladas
*	Diferencia ingreso total (552.3) - egreso (791.2)	-238.9 toneladas
*	Concentración del lago al inicio del período	2553 toneladas
*	Concentración del lago al final del período	3067 toneladas

- **En el volumen del lago:**

*	Ingreso natural de los afluentes en todo el volumen del lago	711.9 toneladas
*	Ingreso teórico del agua lluvia	16.4 toneladas
*	Ingreso artificial	19.5 toneladas
*	Egreso por el efluente	791.2 toneladas
*	Diferencia entre ingreso (747.8) - egreso (791.2)	-43.4 toneladas

- * Concentración al inicio del período **2091.4 toneladas**
 - * Concentración al final del período **2839.2 toneladas**
- Valor negativo es carga interna del lago.
- 10.- La carga específica crítica del lago Villarrica para mantenerse en oligotrofia es de
..... **217.7 toneladas**
- * La carga del lago en su área total en 1991 fue de..... **576.2 toneladas**
 - * Diferencia entre la carga crítica. Este es el exceso de carga de fósforo total del lago.....**358.5 toneladas**
 - * El doble de la carga crítica se considera un lago eutroficado. Ese valor en el lago Villarrica sería.....**435.4 toneladas**
 - * El lago Villarrica tiene un valor superior al doble de su carga crítica, e incluso supera el margen de eutroficación en**76.9 toneladas**
- 11.- Según los antecedentes físicos y químicos, sólo 10 ríos superan condiciones positivas sobre las negativas en 14 parámetros medidos. El río Toltén registró 12 factores positivos y dos negativos. La bahía La Poza tuvo 3 positivos y 11 parámetros negativos. La bahía Hotel Pucón presentó cinco factores positivos y 9 negativos. La bahía Villarrica presentó 8 positivos y 6 negativos. La bahía Marina Pucón presentó 4 positivos y 10 negativos. En el centro del lago se registró 6 factores positivos y 8 negativos.
- 12.- Se recopilan los antecedentes morfológicos, morfométricos, niveles del lago de 1989 a 1991; caudales del río Toltén de 1929 a 1991 (antecedentes D.G.A.) y comparación caudales del río Trancura con el Toltén para 1990 a 1991.
- 13.- Se recopiló antecedentes físicos y químicos. Se compararon antecedentes de nitrógeno y fósforo obtenidos en estudios realizados en los años 1978 - 1979, 1984 - 1985, 1986 - 1987 con el presente en 1991.
- 14.- Se estudió el uso del suelo a través de una encuesta alrededor de todo el lago. Se define un perímetro alrededor de 1 kilómetro desde la orilla, como sector de directa influencia en el lago.

Se determinaron 985 edificaciones de las cuales 679 son casas o cabañas. El resto son campings, hotel, escuela, negocios, edificios de departamentos. Estas edificaciones ocupan un área de 17.9 há. El número de habitantes anual fue de 7324. No se consideró la población total de la ciudad de Villarrica y Pucón con sus

habitantes estables y veraneantes. El sistema de desague sumo 547 de los cuales 82% son pozos sépticos y 13.6% pozos negros.

- 15.- Se calculó la carga artificial proveniente de habitantes y edificaciones alrededor del lago. Se calculó una carga de 41 gramos de fósforo por persona al día.
- 16.- Se calculó la carga artificial del nitrógeno total proveniente de las edificaciones. Ingresaría al lago 21.1 toneladas en el año 1991.
- 17.- La carga total de fósforo total del lago que suma la carga natural con la artificial en el área del lago se calculó en 99.5 toneladas.
- 18.- La carga total del nitrógeno en el lago que suma la carga natural con la artificial fue de 535.2 toneladas.
- 19.- De acuerdo a una fórmula se calculó que alrededor del lago podrían haber 2153.9 casas con un promedio de 10 hectáreas cada una, es decir 21539 hectáreas. La encuesta entregó un valor muy inferior de 985 edificaciones con 9850 hectáreas. Sin embargo, se concluye que si se considera una habitación por 60m², de acuerdo a los m² censados equivaldría a 2992 casas sobrepasando el valor predictivo de carga máxima de habitaciones en el perímetro.
- 20.- Se concluye finalmente, que el lago está sobre cargado de fósforo y nitrógeno siendo su origen explicado por afluentes y edificaciones y carga interna de nutriente acumulada de fósforo total, está sobrecargado en un 62.2% de su carga crítica.

12.- RECOMENDACIONES

Todos los resultados obtenidos en este estudio, así como también los de años anteriores, nos entregan información suficiente para avalar las siguientes recomendaciones:

- 1.- Solicitar los estudios técnicos para determinar el origen de la hipereutrofia. Estos estudios deben estar dirigidos a diagnosticar las fuentes contaminantes y su magnitud. Estas fuentes pueden ser desagües de aguas servidas, letrinas sobre el río, desagües de plantas lecheras, etc.
- 2.- Existen canales a "tajo abierto" que pasan por las ciudades de Pucón y Villarrica, donde la intervención humana los contamina. Se recomienda que estos canales puedan ser desviados a piscinas de estabilización, cuyos desagües vayan a ríos más grandes cuya capacidad de dilución es mayor.
- 3.- Especial estudio, debe realizarse sobre la agricultura en la hoya del lago, y su efecto en el ingreso de nutrientes. Estos estudios deben ser realizados con fotografías satelitales, que permita desarrollar cartas temáticas. Así se tendría un cálculo del aporte agrícola a la contaminación del lago.
- 4.- Se recomienda un control estricto, por parte de la autoridad respectiva, sobre la autorización para los desagües de aguas servidas en los ríos. Habiéndose detectado el origen, según recomendación N° 1, se requiere implementar un sistema de control por la autoridad respectiva. Se debe contar con personal calificado para que haga cumplir estos reglamentos.
- 5.- Se recomienda la eliminación de pozos negros o letrinas.
- 6.- Se recomienda dimensionar, la capacidad de sólidos y líquidos de los pozos sépticos. El líquido, por rebalse o filtración, llega con su aporte de nutrientes a los ríos y lago. El aporte de este líquido, en cuanto a nutrientes, DBO y DQO, permitirá dimensionar la capacidad de plantas de tratamiento.
- 7.- Se recomienda que se haga un estudio para evitar el ingreso de aguas servidas al lago y ríos. Estas soluciones deben ser dadas por los expertos en Ingeniería sanitaria y en Tratamientos de aguas. Para tal efecto se debe llamar a licitación, por parte de las Municipalidades, a Empresas que venden plantas de tratamiento de aguas servidas. (Esto lo está haciendo, en parte, la Municipalidad de Villarrica).
- 8.- Investigar el origen de la carga de nitrógeno y fósforo.
- 9.- Realización de un Plan Regulador del lago, para controlar el uso de los suelos

alrededor del lago.

- 10.- Se recomienda un Plan de Monitoreo el cual se explica y adjunta (Capítulo 10).
- 11.- Se recomienda a la D.G.A. que informe al Gobierno que este lago está en serio peligro y que se tomen urgente las medidas de saneamiento como las aquí propuestas o lo que otros expertos puedan proponer.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CAMPOS, H.; W. STEFFEN; C. ROMAN and G. AGUERO. 1983. Limnological studies in lake Villarrica. Morphometrical, physical, chemical, planktonic factors and primary productivity. Arch. fur Hydrobiologie, 5(4):371-406.-
- CAMPOS, H. y col. 1985. Investigación de la capacidad de carga para el cultivo de salmonídeos de la hoya hidrográfica del lago Villarrica. IFOP-UACH.
- CAMPOS, H. 1986. Alteraciones en lagos Araucanos por aumento del ingreso de nutrientes. CIPMA.
- DILLON, P.J. and F.RIGLER. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. Journal of the Fisheries Research Borad of Canadá. 32:1519 - 1531.
- DGA - UACH. 1988. Operación parcial de la red mínima de control de lagos. Estudio de los lagos Villarrica y Llanquihue.
- GOLTERMANN, H.L. and F.A. KOUWE. 1980. Chemical budgets and nutrient parthways. In. Ed. LeCren and Lowe - Mc Connell: The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge University Press.
- PRAIRIE, Y.T. and J.KELFF. 1988. Dissolved phosphorus dynamics in headwater streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 45(2):200 - 205.
- SEPPANEN, P. 1972. Determination of summer cottaging capacity of lake. Aqua Fennice. p. 104-107.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1968. The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factor. Technical Report to O.E.C.D., Paris, DAS/CSI/68(27): 1 - 182.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1976. Advances indefining critical loadings levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Inst. Ital. Hidrobiol., 33:58 -83.
- WETZEL, R.G.1988. Limnology. Saunders College Publishing.