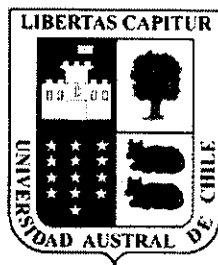


**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS**



Informe final

**“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL LAGO
VILLARRICA”**

Presentado por:

Universidad Austral de Chile

Financiamiento:

**FONDO NACIONAL DE DESARROLLO REGIONAL
Región de La Araucanía**

INDICE	PAG.
Índice Tablas	3
Índice Figuras	4
1. Introducción	5
2. Objetivos del Estudio	5
3. Metodología y resultados	6
3.1 Resultados pendientes	6
3.2 Introducción propuesta anteproyecto de norma de calidad secundaria	16
3.2.1 Áreas de vigilancia	23
3.2.2 Parámetros a considerar en la norma secundaria	28
3.2.3 Valores máximos (intervalos o índices) propuestos para la norma	31
3.2.4 Estado trófico actual de las áreas de vigilancia	39
3.2.5 Propuesta de programa de monitoreo	43
3.2.6 Metodología	49
3.3 Recomendaciones para el proceso de dictación de la norma y su implementación	54
3.4 Algunas Recomendaciones para reducir el ingreso de nutrientes	55
3.5 Borrador del anteproyecto de norma secundaria para el lago Villarrica	56
4. Conclusiones	64
ANEXOS	68

ÍNDICE TABLAS

	PAG.
Tabla 1 Lista de pisciculturas en funcionamiento durante 2008, en la cuenca del Lago Villarrica	9
Tabla 2 Etapas de producción de salmonideos por Código de Piscicultura	10
Tabla 3 Aportes totales de Fósforo y Nitrógeno (particulado y soluble), por actividad de piscicultura, considerando una Biomasa de 275 ton de alevines (5,0 g) y 420 ton de smolts (70,0 g)	13
Tabla 4 Estimación de la carga de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) al Lago Villarrica durante 2008	14
Tabla 5 Áreas de Vigilancia propuestas para el Lago Villarrica	26
Tabla 6 Promedios, rangos y valores máximos (en paréntesis) para la clasificación del estado trófico en lagos templados	33
Tabla 7 Parámetros normados para diferentes áreas de vigilancia en el Lago Villarrica.	34
Tabla 8 Calidad del agua en la estación centro P1 del lago Villarrica	39
Tabla 9 Evaluación del estado trófico con los datos de la DGA	41
Tabla 10 Evaluación del estado trófico con los datos de la DGA	43
Tabla 11 Profundidades y parámetros propuestos	45
Tabla 12 Normas relacionadas con el muestreo de agua	50
Tabla 13 Metodología propuesta para el análisis de los parámetros normados	51
Tabla A1 Clasificación de la trofía según TSI de Carlson	68
Tabla A2 Relaciones de los TSI y condiciones indicativas de estas	69
Tabla A3 Áreas de influencia próximas a las dos estaciones P2 y P3	72

INDICE FIGURAS	PAG.
Figura 1 Fuentes de ingreso de fósforo y nitrógeno total en el lago Villarrica durante 2008	15
Figura 2 Desarrollo del fósforo total en el lago Constanza	18
Figura 3 Relación entre los nutrientes nitrógeno	22
Figura 4 Box Whisker Plot de nitrate, nitrógeno y fósforo total y clorofila a en diferentes estaciones en el Lago Villarrica	23
Figura 5 Fotos de blooms de algas y macrófitos en la zona litoral del Lago Villarrica	24
Figura 6 Zonificación en un lago	25
Figura 7 Áreas de vigilancia y puntos de muestreo propuestos en el Lago Villarrica	27
Figura 8 Desarrollo del nivel trófico en la zona litoral del lago Constanza	30
Figura 9 Modelo probabilístico para la clasificación de la trofia	32
Figura 10 Lugares de muestreo de macrófitos en el Lago Villarrica durante 1992/93	41
Figura 11 Desarrollo de la temperatura y oxígeno disuelto en el Lago Villarrica	45
Figura 12 Amonio, nitrato y nitrógeno total en el Lago Villarrica	46
Figura 13 Fósforo soluble y total en el Lago Villarrica, estación centro	47
Figura 14 Florecimiento de algas azules en dos lagos de Wisconsin	52
Figura A1 Índice de Carlson aplicado al Lago Villarrica	69
Figura A2 Índice de Carlson aplicado al Lago Villarrica, estación centro	70
Figura A3. Estaciones de monitoreo actuales de la DGA en el lago Villarrica	71
Figura A4. Mapa del Lago Villarrica con las sectorizaciones propuestas	72

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo al itinerario de la propuesta, este informe final da a conocer los resultados y las actividades realizadas entre enero y abril de 2009, presentándose las principales conclusiones de los objetivos planteados. En esta última etapa del estudio se trabajó principalmente en la evaluación de los datos y conceptos con el fin de proponer el anteproyecto de la norma secundaria (en adelante también NS) y recomendaciones para el monitoreo del lago Villarrica. Además se terminaron algunas tareas pendientes del tercer informe (p.e. estimación de cargas por fuentes difusas, cargas por pisciculturas) que por falta de información al tiempo de editar el tercer informe no se podía incluir. Esta información se presenta al principio de este informe.

Cabe mencionar que durante una reunión en Temuco el día 14 de abril 2009 con la contraparte (CONAMA, DGA) se conversaron detalles sobre la realización y edición de este informe.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Según la propuesta técnica, en este informe se muestra los resultados de la última etapa del proyecto referido a los objetivos 3.4 que dice lo siguiente:

3.4.- Proponer anteproyecto y recomendaciones de norma de calidad secundaria que incluya áreas de vigilancia y su monitoreo.

- 3.4.1.-** Crear tablas con los parámetros físicos químicos y biológicos que considerará la norma.
- 3.4.2.-** Asignar valores máximos (intervalos o índices) permitidos de aquellos parámetros propuestos para la norma.
- 3.4.3.-** Propuesta de áreas de vigilancia para el lago.
- 3.4.4.-** Propuesta de programa de monitoreo de las áreas de vigilancia.
- 3.4.5.-** Listado de recomendaciones para el proceso de dictación de la norma y su implementación.
- 3.4.6.-** Entrega de anteproyecto de norma (Informe Final).

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Como se mencionó en la introducción – y a pedido de la contraparte – se presenta primero los resultados pendientes del tercer informe parcial y luego los resultados de la última etapa del proyecto.

3.1 Resultados pendientes

CARGAS ARTIFICIALES DIFUSAS QUE LLEGAN AL LAGO VILLARRICA (Casas de verano)

Una fuente de aportes de nutrientes por cargas difusas esta constituida por las edificaciones habitacionales que se encuentran en la franja costera del lago Villarrica, en especial las construcciones de su rivera sur (las descargas del pueblo Curarrehue se consideró ya en las mediciones en el río Trancura).

Para estimar este aporte se ha seguido el siguiente método de trabajo:

- 1.- Se ha considerado la franja costera que se desarrolla entre el camino Villarrica-Pucón y la rivera del lago. En este sector se han contabilizado todas las construcciones existentes en ella. Su cercanía al lago seria determinante para constituirse como fuentes difusas dada su cercanía al cuerpo de agua. En distancias mayores a 100m se supone que los nutrientes pueden ser captados por la vegetación existente.
- 2.- De acuerdo a encuestas realizadas en algunos lugares (Puerto Pinar, La Puntilla, Margomalal) se ha estimado la permanencia de la población visitante que ocupa la franja costera en 60 días al año y que sólo un porcentaje del orden del 10% ocupa o vive en el lugar en forma permanente.
- 3.- Se ha estimado que en promedio cada casa o departamento alberga una cantidad de 6 personas durante el tiempo de ocupación.
- 4.- Se ha considerado que el aporte de una persona al día es de 4,1gr de P (fósforo) y 20gr de N (nitrógeno) **Campos 1991.**

Utilizando la misma formula de Campos 1991, que se expresa así:

$$Ja = (gr.x capita x día) x (1 - R.S) x N x T$$

(gr x capita x día) = aporte diario de una persona de P o N.

(1-RS) = coeficiente de retención del suelo de la salida de un tanque séptico.

RS = 0.20

N = número de habitantes de la franja costera

T = tiempo de residencia de los habitantes en días año.

El total de habitaciones en la franja costera sur del Lago Villarrica se estima en 620.

La permanencia de 3720 personas por un periodo de 60 días en la franja costera genera un aporte estimado de 0,732 Ton de P al año.

A esta cantidad se suman los aportes de 372 personas (10%), cuya permanencia en el lugar es permanente y cuyo aporte alcanza las 0,445 Ton de P.

El aporte total de P que llega al lago Villarrica en forma difusa desde la franja costera considerada alcanza un total de **1,177 Ton /año**.

El N total que generan las personas residentes temporales y permanentes se estima en 20grs día.

La permanencia de 3720 personas por 60 días al año genera un total de 3,571 Ton.

El aporte de los residentes permanentes alcanza un total de 2,172 Ton.

El aporte total de N que llega al lago Villarrica en forma difusa desde la franja costera considerada alcanza las **6,105 Ton/año**.

La cantidad de habitaciones en la franja costera definida se ha calculado a partir de una imagen satelital obtenida de la Pontificia Universidad Católica de Chile: Sede Villarrica y que corresponde a la comuna de Villarrica. Para la comuna de Pucón la cantidad de habitaciones se estimo a través de la observación en terreno

Los días de permanencia de los habitantes, tanto temporales como permanentes, se estimó a partir de información recogida en el lugar.

En el conteo de casas y departamentos se omitieron los departamentos de los sectores de la Puntilla y Puerto Pinar, ya que ambos complejos reúnen, transportan y descargan sus aguas servidas hacia la red de alcantarillado de la ciudad de Villarrica

Carga P_{Difusa}: 2,2 ton P/año

Carga N_{Difusa}: 6,1 ton N/año

Fuente: Proyecto: Construcción litigación de riesgos Volcánicos y Geológicos Asociados. Etapa I. Levantamiento base cartográfica, Comuna de Villarrica Pucón y Curarrehue IX Región

DETERMINACIÓN DE LOS APORTES DE NUTRIENTES FOSFORADOS Y NITROGENADOS, POR LA ACTIVIDAD DE PISCICULTURA EN LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA.

Dentro de la cuenca hidrográfica del lago Villarrica se encuentran emplazadas y en funcionamiento, hasta el año recién pasado un total de 17 pisciculturas, cuya principal producción esta dirigida en su mayoría a la obtención de ovas, alevines y smolts de salmónidos (*Salmo salar*, *Onchorynchus mikiss*, *Salmo trutta*, entre otros), en algunos establecimientos se mantienen ejemplares juveniles, adultos y reproductores, en tablas adjunta se presentan el listado de pisciculturas, sector de ubicación (comuna) y caudales empleados en el proceso productivo. En relación a la utilización de agua se puede observar que en total las 17 pisciculturas tienen un requerimiento de 13665 L/s, lo que equivale al empleo de un caudal diario de 1.180.656 m³/día.

Tabla 1 Lista de pisciculturas en funcionamiento durante 2008, en la cuenca del Lago Villarrica

PROPIETARIO	CODIGO CENTRO	SECTOR	COMUNA	Caudales empleados l/seg
FUNDO LA CASCADA Y CIA. LTDA.,SOC.	90030	LOS RISCOS	Pucón	260
FUNDO LA CASCADA Y CIA. LTDA.,SOC.	90050	ESTERO LOS CHILCOS, FUNDO LA CASCADA	Pucón	800
MARINE HARVEST CHILE S.A.	90052	FUNDO LONCOTRARO	Villarrica	480
MARINE HARVEST CHILE S.A.	90055	FUNDO LONCOTRARO KM 14	Villarrica	1000
PISCICOLA HUILLICO LTDA.	90059	CARILEUFU	Pucón	110
ENTRE RIOS S.A.	90060	CABURGA	Pucón	1300
QUETRO S.A.	90062	CAMINO A RINCONADA	Curarrehue	3200
MARTINEZ NAVARRO CARMEN LUISA	90064	RINCONADA, CATRIPULLI	Curarrehue	268
METZGER BASAURE MARIANA CECILIA	90069	EL RADAL, QUETROLEUFU	Pucón	240
NICOLINI LEGUIA CARLA MARIANNA	90082	CARHUELLO	Villarrica	897
SALMONES MULTIEXPORT S.A.	90085	MOLCO ALTO	Villarrica	1000
AQUACHILE S.A.	90089	QUETROLEUFU	Pucón	450
IRIBARREN MARTON MARIA JOSEFINA	90090	FUNDO QUILENTUE	Villarrica	2000
RUIZ BUSTAMANTE CRISTIAN JUAN	90112	MOLCO	Villarrica	120
ULLOA FIGUEROA JESSICA MARITZA	90117	CAMINO A VILLARRICA PUCON	Villarrica	40
PESQUERA LOS FIORDOS LTDA.	90118	CATRIPULLI	Curarrehue	1500
PESQUERA LOS FIORDOS LTDA.	90137	QUINA	Curarrehue	

En relación a las características de la fase de desarrollo que involucra la actividad se puede apreciar que en su mayoría las pisciculturas están orientadas a la obtención de ovas (13) y alevinaje (15); mientras que 5 producen smolts, 3 juveniles, 2 mantienen adultos y 7 mantienen reproductores.

Debido a que la información recopilada en los antecedentes de producción disponibles, durante el año 2008, de las pisciculturas que operan dentro de la cuenca hidrográfica, no se especifica si la producción corresponde a la biomasa de peces que sale desde las pisciculturas o corresponde a la biomasa existente mensualmente en cada centro piscícola, no se puede establecer un cálculo directo de los aportes de P y N, ya que los datos pueden sub o sobreestimar tales indicadores. Información recientes por parte de la SERNAPESCA parece indicar que los valores de las descargas serían mas bien subestimadas por con un 85% de probabilidad de excedencia de derechos de agua.

Tabla 2 Etapas de producción de salmonideos por Código de Piscicultura

Código Centro	Ovas	Alevín	Smolt	Juvenil	Adulto	Reproductor
90030	X	X				
90050	X	X				X
90052	X	X		X		X
90055	X	X				X
90059	X	X		X	X	X
90060	X	X				
90062	X	X			X	X
90064	X	X	X			
90069	X	X				X
90082	X	X				
90085	X	X				
90089	X	X	X			
90090	sd	sd	sd	Sd	Sd	sd
90112		X	X			
90117		X				
90118	X	X	X	X		
90137			X			X

Por lo tanto, con la finalidad de cuantificar los aportes artificiales de Fósforo y Nitrógeno a los cuerpos de agua a los afluentes y lago Villarrica, producto de las actividades de piscicultura, se empleó un modelo teórico considerando sólo la producción de alevines y smolts, mantenidos en los centros de cultivo detallados en Tablas 1 y 2, durante el año 2008. Para ello se consideró la producción de alevines desde la fase de primera alimentación a partir de un peso promedio de 0.5 g hasta el alevín de 5.0 g, considerando un volumen de producción promedio de 50.000.000 de alevines (según antecedentes proporcionados); mientras que para la producción de smolts se contempló un inicio de esta fase a partir de un alevín de peso promedio de 5.0 g hasta la obtención de un volumen de 6.000.000 de smolts (según antecedentes proporcionados), de peso promedio igual a 70 g. Para el caso de la producción de alevines se consideró un Factor de Conversión del alimento igual a 1,5; mientras que para la producción de smolts se contempló un FC igual a 1.2.

Para calcular los aportes de P y N, se empleó el modelo desarrollado por Torres y Meléndez (1988), de acuerdo a la relación existente entre la cantidad de alimento suministrado, el peso promedio de los peces al inicio y el final de la etapa considerada

y los contenidos de Fósforo o Nitrógeno en los peces y alimento suministrado. Esto queda representado en la siguiente ecuación:

$$R = 1/100 (k \cdot v + P \cdot F - K \cdot V)$$

R= Cantidad de P o N liberado al agua (Kg)

k= Biomasa de peces ingresados al sistema productivo (Kg)

v= Contenido de P o N en el cuerpo de los peces ingresados (%)

P= Cantidad de alimento suministrado (Kg)

F= Cantidad de P o N contenido en el alimento (%)

K= Biomasa producida al final de la etapa (Kg)

V= Contenido de P o N en el cuerpo de los peces producidos (Kg)

PRODUCCIÓN DE ALEVINES

Considerando la producción de una biomasa de 275.000 Kg, correspondientes a 50.000.000 de alevines de 5 g de peso promedio, a partir de alevines de primera alimentación de peso promedio igual a 0,5 g, se requiere suministrar una cantidad de 412.500 Kg de alimento (FC= 1,5). Según estos antecedentes se producirían 137.500 Kg de fecas (equivalentes en peso seco). Cabe señalar que las pisciculturas en tierra deben disponer de sistemas para reducir la cantidad de sólidos suspendidos en sus descargas, de manera que disponen de piletas de decantación y/o filtros rotatorios, los cuales tienen una eficiencia de al menos un 80%. De acuerdo a este escenario de los 137.500 Kg de fecas producidas sólo ingresarían a los cuerpos de agua 27.500 Kg de material fecal.

En relación a la liberación de P este correspondería a 3.960 Kg de Fósforo, lo que equivale a una producción de 14,4 Kg de P por tonelada de alevines de 5 g producidos. No obstante, de acuerdo a los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge (1986), Enell y Löf (1987) y Campos et al. (1990), se estima que el 78% del Fósforo es liberado en forma de desecho particulado sedimentable; mientras que el restante 22% se integra a la masa de agua como desecho soluble. Por lo tanto, de los 3.960 Kg de

Fósforo que son liberados, 3.088 Kg corresponden a desechos particulados, los que pueden ser retenidos en un 80% en las piletas de decantación o filtros rotatorios. Por lo anterior, sólo ingresarían a los cuerpos de agua (afluentes y lago) **871,2 Kg** de Fósforo soluble y **679.4 Kg** de Fósforo particulado.

Respecto a la liberación de N este correspondería a 61.875 Kg de Nitrógeno, lo que equivale a una producción de 225,0 Kg de N por tonelada de alevines de 5 g. No obstante, de acuerdo a los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge (1986), Enell y Löf (1987) y Campos et al. (1990), se estima que el 20% del Nitrógeno es liberado en forma de desecho particulado sedimentable; mientras que el 80% se integra a la masa de agua como desecho soluble. Por lo tanto, de los 61.875 Kg de Nitrógeno que son liberados, 12.375,0 Kg corresponden a desechos particulados, los que pueden ser retenidos en un 80% en las piletas de decantación o filtros rotatorios. Por lo anterior, sólo ingresarían a los cuerpos de agua (afluentes y lago) **49.500 Kg** de Nitrógeno soluble y **2.475 Kg** de Nitrógeno particulado.

PRODUCCIÓN DE SMOLTS

Considerando la producción de una biomasa de 420.000 Kg, correspondientes a 6.000.000 de smolts de 70 g de peso promedio, a partir de alevines de peso promedio igual a 5 g, se requiere suministrar una cantidad de 504.000 Kg de alimento ($FC = 1,2$). Según estos antecedentes se producirían 84.000 Kg de fecas (equivalentes en peso seco). Cantidad que después de pasar por piletas de decantación y/o filtros rotatorios (eficiencia igual 80%), se reduciría a sólo 16.800 Kg de material fecal que ingresarían a los cuerpos de agua.

En relación a la liberación de P este correspondería a 4.838,4 Kg de Fósforo, lo que equivale a una producción de 17,6 Kg de P por tonelada de smolts de 70 g producidos. No obstante, de acuerdo a los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge (1986), Enell y Löf (1987) y Campos et al. (1990), se estima que el 78% del Fósforo es liberado en forma de desecho particulado sedimentable; mientras que el restante 22% se integra a la masa de agua como desecho soluble. Por lo tanto, de los 4.838,4 Kg de Fósforo que son liberados, 3.773,9 Kg corresponden a desechos

particulados, los que pueden ser retenidos en un 80% en las piletas de decantación o filtros rotatorios. Por lo anterior, sólo ingresarían a los cuerpos de agua (afluentes y lago) 1.064,4 Kg de Fósforo soluble y 754.8 Kg de Fósforo particulado.

Respecto a la liberación de N este correspondería a 75.600 Kg de Nitrógeno, lo que equivale a una producción de 274,9 Kg de N por tonelada de smolts de 70 g. No obstante, de acuerdo a los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge (1986), Enell y Löf (1987) y Campos et al. (1990), se estima que el 20% del Nitrógeno es liberado en forma de desecho particulado sedimentable; mientras que el 80% se integra a la masa de agua como desecho soluble. Por lo tanto, de los 75.600 Kg de Nitrógeno que son liberados, 15.120,0 Kg corresponden a desechos particulados, los que pueden ser retenidos en un 80% en las piletas de decantación o filtros rotatorios. Por lo anterior, sólo ingresarían a los cuerpos de agua (afluentes y lago) 60.480 Kg de Nitrógeno soluble y 3.024,0 Kg de Nitrógeno particulado.

Tabla 3 Aportes totales de Fósforo y Nitrógeno (particulado y soluble), por actividad de piscicultura, considerando una Biomasa de 275 ton de alevines (5,0 g) y 420 ton de smolts (70,0 g).

Etapa	Fósforo (Kg)		Nitrógeno (Kg)	
	Particulado	Soluble	Particulado	Soluble
Alevines	679	871	2.475	49.500
Smolts	755	1.064	3.024	60.480
Total	1.434	1.935	5.499	109.980

De la Tabla 3, se puede observar que bajo el escenario considerado de una producción media, en paralelo de 50 millones de alevines y 6 millones de smolts se aportarían al cuerpo de agua una carga equivalente a 3.370 Kg de Fósforo y 115.479 Kg de Nitrógeno.

Carga P_{Pisciculturas}: 3,4 ton P/año

Carga N_{Pisciculturas}: 115,5 ton N/año

ACTUALIZACIÓN DE LA CARGA DE NUTRIENTES AL LAGO VILLARRICA 2008

La actualización de los valores sobre la carga total de nutrientes al Lago Villarrica se estima ahora como se ve en la siguiente tabla 4 y figura 1:

Tabla 4 Estimación de la carga de fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT) al Lago Villarrica durante 2008

	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Piscicultura	3,4	115,5
Planta Pucón	4,9	80,8
Suelos	320,9	900,7
Fuentes difusas (Casa de verano)	1,2	6,1
Total	330,4	1103,1

En el tercer informe ya se estimó la carga crítica para P total, que fue calculado para 70-120 TON P/año para conservar la concentración de P total bajo 0,010 mg P/l. En base de una relación N:P de 7 : 1 (por peso) se puede estimar una carga crítica de entre 490 y 840 TON N/año para el lago Villarrica. Comparando estas cargas críticas con las cargas estimadas en este estudio (tabla 4), se puede concluir, que en el caso de P la carga actual exceda por casi tres veces, la de N por aprox. 1,4 – 2,2 veces la

carga crítica estimada. Aunque estas estimaciones tienen un cierto factor de incertidumbre, hay que concluir, que el lago recibe demasiado nutrientes para mantener un estado oligotrófico según la situación actual.

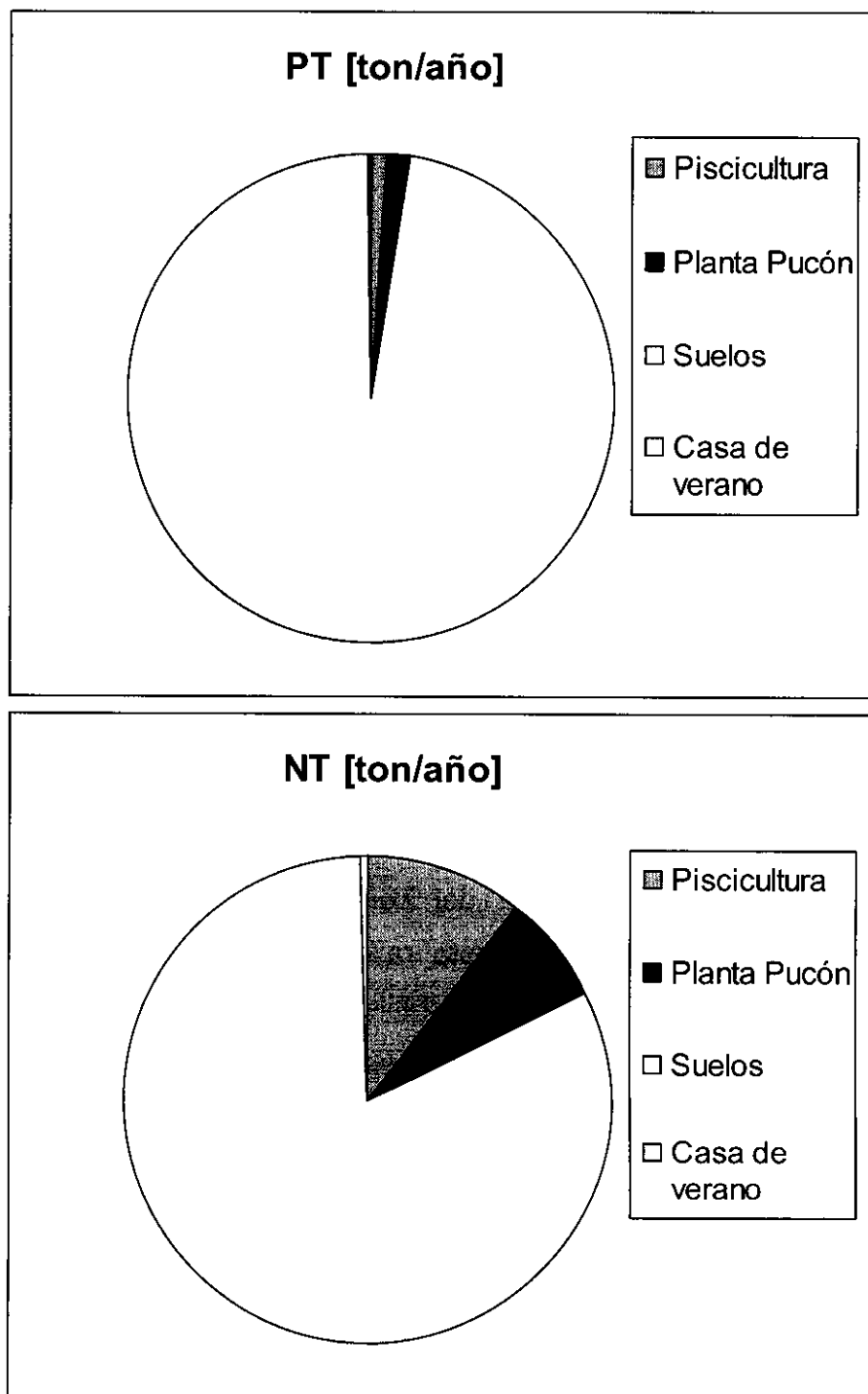


Fig. 1 Fuentes de ingreso de fósforo y nitrógeno total en el lago Villarrica durante 2008

3.2 INTRODUCCIÓN PROPUESTA ANTEPROYECTO DE NORMA DE CALIDAD SECUNDARIA

Debido a la complejidad del tema y porque es necesario desarrollar un concepto coherente en la propuesta de la NS, se presenta la metodología y resultados en conjunto. Para facilitar entender el desarrollo de esta, se abordará los diferentes objetivos de acuerdo con el orden del anteproyecto de la NS.

El concepto actual de la Norma Secundaria

La guía de la NS (en adelante también Guía NS) desde el punto de vista conceptual esta diseñada para cuerpos de aguas superficiales que se puede vigilar en áreas claramente establecidos (límites geográficos). Esto parece practicable para un cuerpo de agua lótico que se caracteriza especialmente por el movimiento unidireccional de sus aguas (se excluye aquí ríos estuarinos). Debido a este flujo unidireccional es posible observar cambios de la calidad de agua a lo largo del cauce, p.e. después del ingreso de contaminantes, y establecer límites geográficos del tramo del río con una determinada calidad de agua. Por su principal capacidad de autopurificación, refiriéndose especialmente a la degradación de la materia orgánica por actividad microbiana, es posible que la calidad del agua puede mejorarse en un tiempo y/o distancia de recorrida relativamente corto (horas-días)¹ (dependiendo del caudal, la capacidad de dilución, la naturaleza del contaminante, el metabolismo de los organismos, la carga total etc.). Por esta razón, es posible subdividir un río en diferentes tramos (áreas de vigilancia) y establecer diferentes valores de su calidad actual (o deseada) tal como propone la guía de la NS.

Cuerpos lénticos

Muy diferente es la situación para establecer una NS para un cuerpo léntico, p.e. un lago. En comparación con un cuerpo lótico, un lago se caracteriza por su diferente

¹ Cabe mencionar, que un sistema lótico tiene un tiempo de renovación de sus aguas muy rápidas (horas-días) lo que influye mucho en su resistencia frente a contaminantes (p.e. dilución, degradación) y por ende a su capacidad de autopurificación. Esto permite observar los cambios tanto negativos como positivos relativamente rápido.

morfología, volumen de agua y su tiempo de recambio (renovación) mucho más lento, generalmente años (p. e. Lago Villarrica 2-4 años). Respecto a la homogeneidad de la masa de agua, un lago con una morfometría simple (p.e. Lago Villarrica) presenta normalmente una buena mezcla del cuerpo de agua en la zona pelagial. Sin embargo, también es posible encontrar diferencias significativas en la concentración de p.e. nutrientes, algas etc. en áreas del lago, que son mas aisladas (p.e. bahías como la Poza en el Lago Villarrica) o áreas, donde entren cargas puntuales importantes o donde se ejercen otros factores a considerar (p.e. ingreso de río Trancura, corrientes fuertes)². En el caso del lago Villarrica, en el estudio de Steffen (1995) se ha mostrado que el pelagial del Lago Villarrica generalmente esta muy bien mezclado. Sin embargo, durante eventos de vientos que soplan durante mas tiempo (días) sin interrupción (p.e. Puelche) si se puede observar una desplazamiento de la masa de agua direccional mas pronunciado y corrientes de giros cerca de la desembocadura del río Trancura y en la desembocadura del lago. En conclusión se puede afirmar, que la masa de agua de un lago siempre hay que verla como una única entidad (especialmente en el caso del lago Villarrica con su morfometría simple). Substancias (por ejemplo nutrientes) que entran a tal lago se dispersan generalmente en todo el lago y afectan toda la masa de agua. No obstante es necesario medir en varias estaciones pelágicas para obtener valores representativos del pelagial con el fin de poder realizar un balance de nutrientes.

Respecto a la velocidad de los cambios en un lago, es importante indicar que estos son mucho más lentos que en un río debido al recambio de agua mucho más lento, generalmente varios años. Ya que la calidad de agua (aquí usado como sinónimo para trofia) de un lago depende principalmente de los ingresos de nutrientes (N, P) provenientes de la cuenca hidrográfica y debido al mayor tiempo de recambio del agua en los lagos, se necesita mas tiempo para llegar a un equilibrio de ingreso y egreso de las substancias (por ejemplo nutrientes) (aproximadamente un periodo de tiempo correspondiente a 4-5 veces el tiempo de renovación teórica de la masa del agua). En consecuencia un lago en proceso de eutrofización requiere planes de acción a

² No obstante de estos factores también es posible que factores meteorológicos como la predominancia de ciertos vientos (p.e. Puelche) produzcan una distribución heterogénea p.e. de algas flotantes. Ver trabajo de Meruane (2005) (ver abajo).

mediano plazo, que incluye un monitoreo permanente de toda la masa de agua y una estimación de la balance de masas y nutrientes.

El ejemplo del lago Constanza

Como ejemplo se menciona el caso del lago Constanza (un lago con el tamaño similar al lago Ranco, ubicado en el centro de Europa), que mostró una fuerte eutrofización hasta 1978 y después de implementar medidas para bajar el ingreso de nutrientes (se limitó el ingreso a 200 ton de P/año) se observó la re-oligotrofización de este lago que duró aproximadamente 20 años (corresponde a 5 veces la renovación teórica) (Fig. 2).

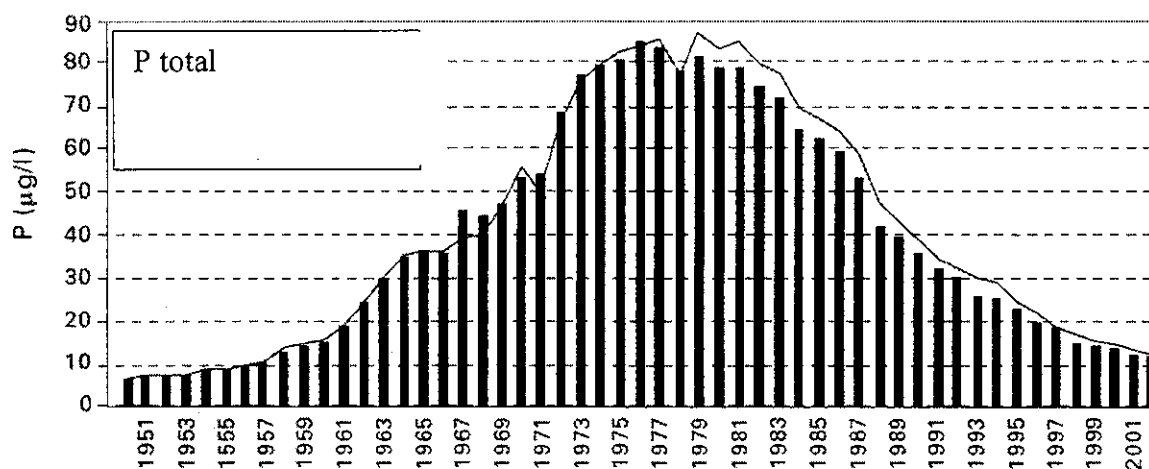


Fig. 2 Desarrollo del fósforo total en el lago Constanza (compartido por Alemania, Austria y Suiza) durante su fase de eutrofización (1951-1978) y re-oligotrofización (1981 en adelante) Fuente: IGKB 2004

Este ejemplo muestra, que los cuerpos lénticos reaccionan frente a un aumento de cargas (nutrientes), mucho más lento que un cuerpo lótico. Por tal razón es necesario fijar para la protección de aguas lénticas, valores máximos o categorías tróficas deseadas y cargas de nutrientes permitidas. Para tal meta el concepto debe basarse en obtener suficiente información no solamente sobre el lago sino especialmente sobre el ingreso de nutrientes a través de la cuenca del lago con el fin de correlacionar causas (p.e. cambio de nutrientes) con efectos (p.e. cambio de cantidad de algas) en forma cuantitativa. Es decir, es necesario calificar y monitorear la calidad de agua de un lago en base a balances máxicos, que permiten pronosticar el desarrollo de la trofia hacia el futuro. En caso de que el lago reciba una sobrecarga de nutrientes, se debe

iniciar medidas para reducirlas. Por lo tanto, no basta establecer solamente límites de valores en una norma, sino se debe también fijar la cantidad absoluta máxima de la carga de nutrientes – los causantes de la eutrofización – desde la cuenca hidrográfica al lago. Esto significa que una NS debe por un lado fijar el nivel trófico que se desea alcanzar y en segundo lugar fijar la carga de nutrientes permitidas para mantener o lograr este nivel trófico. P.e., el Lago Constanza recibió en su fase de eutrofización sobre 1200 ton P/año. Entonces se fijaron dos metas principales para mejorar la calidad del agua del lago: Primero se fijó como meta principal volver a una concentración máxima de 10 µg P/l en la columna de agua y en segundo lugar limitar la carga de P a un máximo de 200 ton P/año. Estas metas se alcanzaron durante los siguientes 10-20 años (ver arriba), lo que se reflejó en la re-oligotrofización del lago.

En el caso del lago Villarrica las estimaciones y mediciones de las cargas de P y N muestran una sobre carga, en mayor grado para el P y en menor grado para N. Aunque existe un rango del factor aprox. 2 (tanto por las estimaciones como por el régimen hídrico), es evidente, que es necesario limitar y bajar la carga de P y de N. Esto significa aplicar buenas prácticas de manejo de suelos, garantizar un buen rendimiento de plantas de alcantarillado (Planta Pucón), la instalación de nuevas plantas de alcantarillado (Curarrehue), el control eficiente de extracción de áridos en el río Trancura y disminuir el ingreso de nutrientes por otras actividades (pisciculturas, casa de veraneo etc.).

Se puede por lo tanto concluir:

1. Ni conceptualmente ni técnicamente se puede subdividir el área (se refiere principalmente al área pelágica) de un lago en subáreas (áreas de vigilancia) con el propósito de establecer para estas áreas incluso diferentes valores de normas a cumplir. Solamente en le litoral se puede aplicar un concepto de subdivisión en diferentes áreas de vigilancia debido a las diferencias locales (playas, ciudades, fuentes de contaminación puntual, diferentes usos locales etc.).
2. La trofia de un lago depende principalmente del ingreso de nutrientes desde su cuenca hidrográfica hacia el lago a través de fuentes puntuales y difusas. Se debe conocer esta carga y evaluarla respecto a la carga permitida según los modelos usados.
3. Una norma secundaria para un lago debe considerar tanto el monitoreo del estado actual de la calidad (aquí se refiere al nivel de trofia) como evaluar su desarrollo en el futuro para tomar planes de acción de mejorar y/o mantener un determinado estado trófico.

Para clasificar la trofia y para pronosticar el desarrollo de la trofia existen diferentes índices y modelos, p.e. el Índice de trofia (TSI) de Carlson (1977) y los modelos de Vollenweider & Kerekes (1980) y otros. En un principio, se consideró apto el uso del TSI de Carlson – que se basa en la estrecha relación de la clorofila a, el disco Secchi y el fósforo total - para este anteproyecto de la NS, tal como se usa en otros países, p.e. en Estados Unidos. Sin embargo, después de aplicar este índice usando los valores del lago Villarrica, se llegó a la conclusión que el TSI – en su aplicación original - por ahora no considera apto como propuesta para este Anteproyecto de NS por varias razones (detalles ver en el anexo 1):

- a) El índice TSI fue desarrollado por Carlson para lagos que están limitados fuertemente por fósforo. Como muestra la figura 3, el lago Villarrica probablemente esta limitado por nitrógeno y no por fósforo, por lo menos durante la mitad del año y durante más de 80% del verano. Como resultado el TSI casi siempre es mayor que los otros dos índices (de Clorofila a y de la

profundidad de Secchi). Este resultado complica por ende la evaluación del estado trófico del lago, porque los tres índices entregan resultados incoherentes, que apuntan a otros factores limitantes (no al P). Falta desarrollar un índice trófico para nitrógeno que sea apto para reflejar las condiciones ambientales en el lago Villarrica .

- b) Otro obstáculo es, que el TSI fue desarrollado para lagos con un diferente régimen térmico, o sea para lagos donde las algas crecen solamente durante el verano. Se usa este índice por lo tanto solamente para el verano cuando la luz no limita (sino solamente el fósforo). Debido a las mayores temperaturas invernales (en comparación con Estados Unidos) en el lago Villarrica el período vegetacional corre durante todo el año (de hecho tenemos altas biomásas de diatomeas durante el invierno). Esto significa, que el TSI debe ser modificado de acuerdo a las condiciones ambientales del lago Villarrica, porque durante el invierno hay otras limitaciones (p.e. luz, mezcla de agua...), las cuales no fueron considerados en el desarrollo del TSI por Carlson (1977).

Por último cabe mencionar, que prácticamente todos los índices a nivel internacional fueron desarrollados en el hemisferio norte (con un régimen térmico y limitación de nutrientes diferentes). En Chile todavía no existe una verificación fundamentada de estos índices (p.e. el de Carlson); tampoco existen índices propios, que reflejan las particularidades de los lagos chilenos (por lo menos las de los lagos araucanos y patagónicos). Por lo tanto, se recomienda desarrollar un propio índice para los lagos araucanos en general y para el lago Villarrica en especial con el fin de implementarlo en la próxima revisión de la NS del lago Villarrica.

Para este anteproyecto se presentará valores máximos (o mínimos donde corresponda) para cada parámetro normado tal como sugiere la Guía NS, pero con una evaluación del cumplimiento de la NS diferente a la Guía NS.

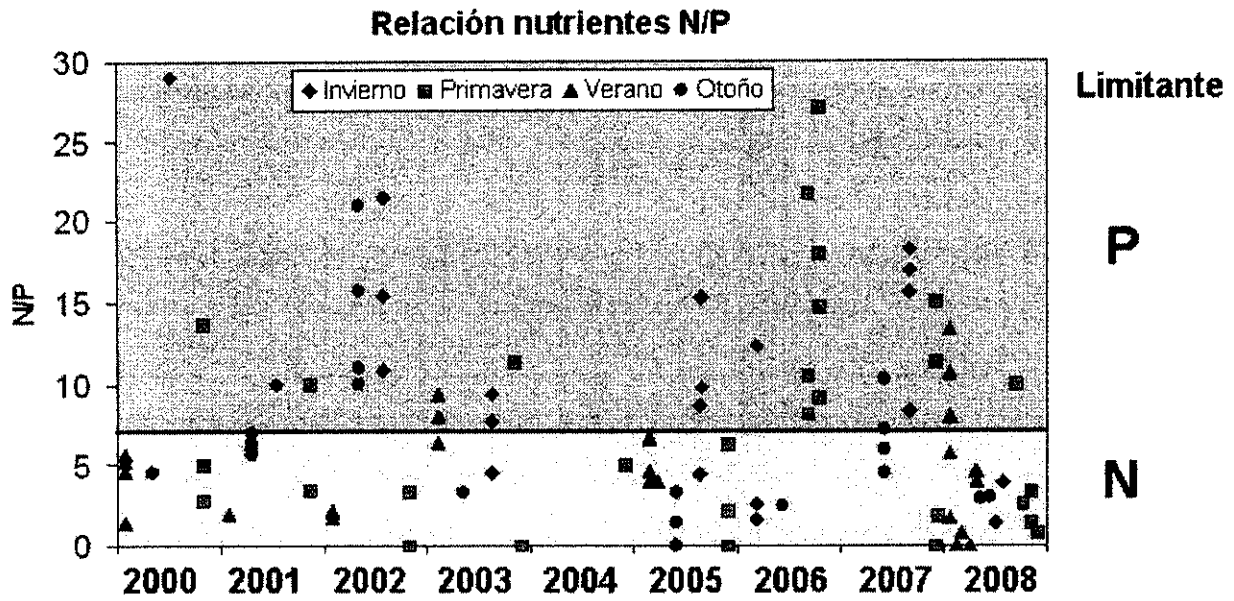


Fig. 3 Relación entre los nutrientes nitrógeno (N-nitrato + N-nitrito + N-Amonio) y fósforo soluble en la primeras 30 m de la columna de agua en el Lago Villarrica durante 2000-2008 (todas las estaciones de la red de monitoreo de la DGA y de la UACH)

3.2.1 AREAS DE VIGILANCIA

Como ya se ha explicado mas arriba, se debe considerar un lago como una sola entidad completa e integrada, aún cuando se puede distinguir áreas que muestran diferencias en su nivel trófico, como puede ocurrir en bahías cerradas o cerca de una contaminación puntual, o después de ciertos eventos meteorológicos, etc.. El lago Villarrica muestra según los estudios de Steffen (1991) una buena mezcla de sus aguas pelágicas, que es facilitado por la simple morfología del lago. La evaluación de los análisis de los datos del monitoreo de la DGA muestran (con excepción de la estación La Posa) para prácticamente todos los parámetros tróficos importantes (nutrientes, clorofila) ninguna diferencia significativa (ver segundo informe parcial de este estudio y figura 4). Sin embargo este resultado también es debido a la gran variabilidad (con varios valores muy altos) de los datos, que producen una gran varianza de los datos.

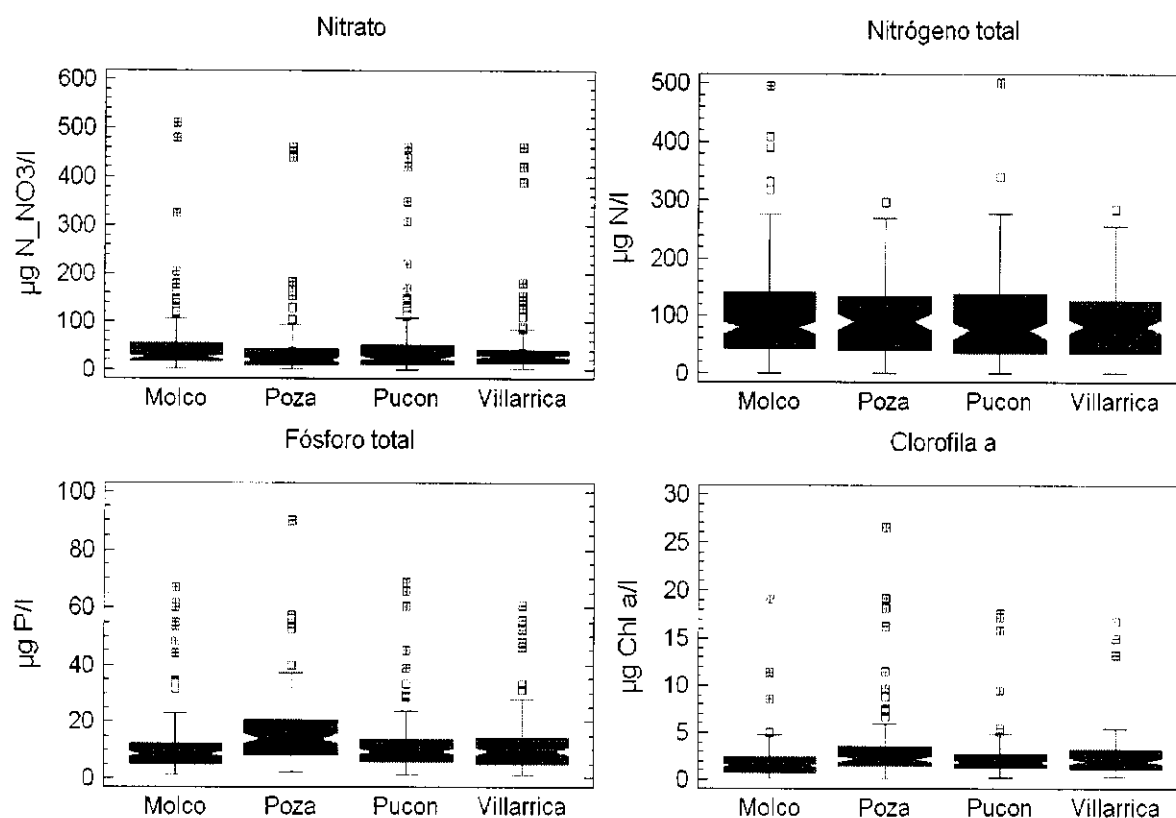


Fig. 4 Box Whisker Plot de nitrato, nitrógeno y fósforo total y clorofila a en diferentes estaciones en el Lago Villarrica (1986-2006), sin corrección de outliers

PROPUESTA

Se propone establecer una sola área de vigilancia para la zona pelágica (denominada PEL) y además una zona de vigilancia para el litoral (con varias áreas de vigilancia). Esta última zona juega – tanto para el ecosistema como por el uso del hombre como zona recreacional – un papel muy importante. Por su exposición a fuentes difusas (casa de verano, uso de suelo litoral etc.) y puntuales (ciudades, afluentes, descargas etc.) se manifiestan muchas veces en esta zona los efectos negativos de la eutrofización (Fig. 5), como el crecimiento de macrófitos, la acumulación de algas y el empobrecimiento de la fauna bentónica., que generalmente muestra mayores intervenciones antrópicas y probablemente una mayor trofía. Un buen ejemplo es la bahía La Poza, donde se observa tanta coloración del agua por algas y resuspensión de sedimentos como abundantes biomásas de macrófitos como producto de una mayor eutrofización (Fig. 5).

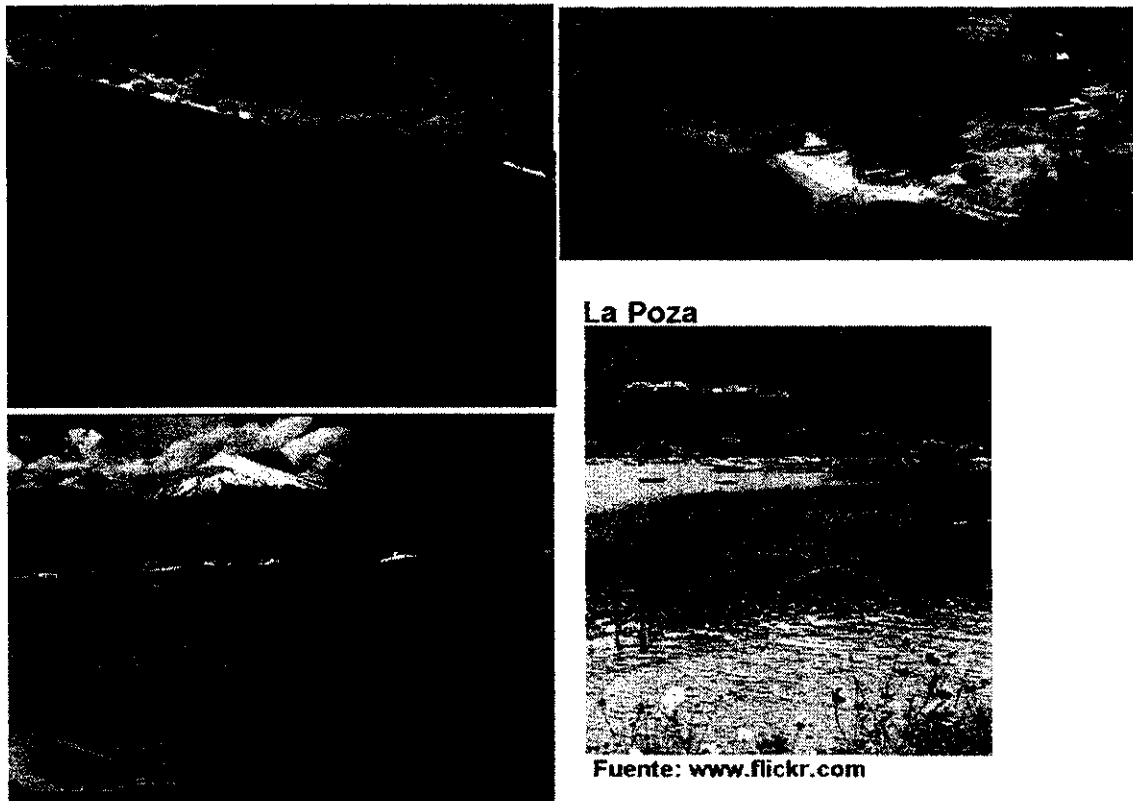


Fig. 5 Fotos de blooms de algas y macrófitos en la zona litoral del Lago Villarrica

UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE VIGILANCIA

El pelagial de un lago esta definido por la zonación que muestra la morfología de un lago y esta caracterizado por la ausencia de macrófitos en el fondo (Fig. 6). De acuerdo con los antecedentes disponibles el pelagial en el lago Villarrica comienza sobre una profundidad (veril) de 20-30 m. Hasta esta profundidad llega como máximo 1% de la luz superficial, lo que se denomina la zona eufótica y es la profundidad máxima hasta donde pueden crecer los macrófitos (y también las algas).

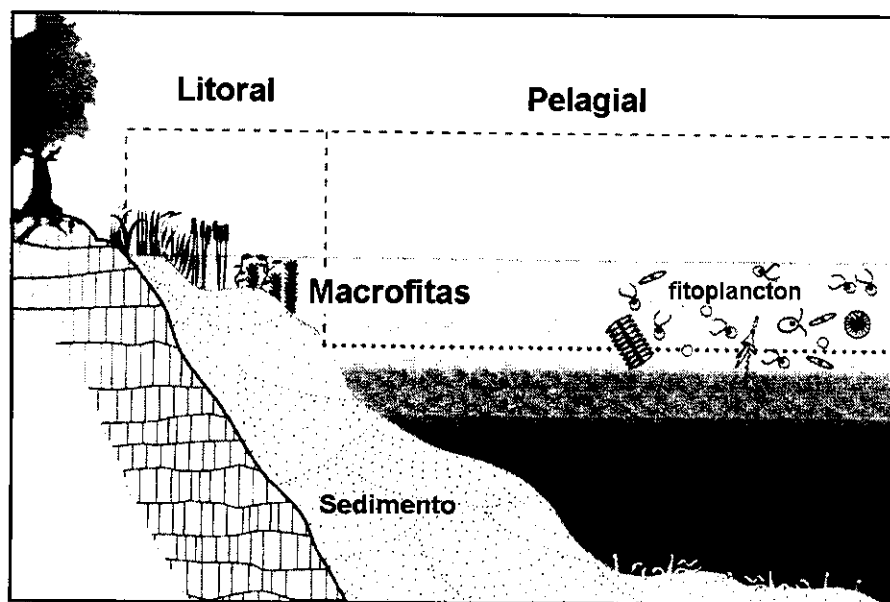


Fig. 6 Zonificación en un lago

Para esta NS se propone el veril de 20 m como límite de la zona litoral. Esta zona ocupa una superficie de aproximadamente 8% de la superficie total del lago y tiene un volumen que corresponde aproximadamente a 1,5% del volumen total del lago (21 km³) según la curvas hipsográficas de Campos et (1983). Se eligió esta definición de la zona litoral por varias razones:

- esta profundidad corresponde aproximadamente al epilimnion durante el verano
- es fácil de monitorear, también con buzos
- ya existen mapas donde aparece este veril (Campos et al., 1983)

Sin embargo, en caso que se determine en terreno, que las macrófitos crecen abundantemente también bajo los 20 m de profundidad, se recomienda ampliar la zona

litoral.

La figura 7 muestra la zona pelágica y la zona litoral, mientras la tabla 5 describe la ubicación de las áreas de vigilancia propuestas. Se propone dos áreas de vigilancia para la zona de litoral. Después de un estudio mas completo del estado trófico de la zona LIT se recomienda subdividir esta área en varias áreas de acuerdo a los resultados obtenidos.

Tabla 5. Áreas de Vigilancia propuestas para el Lago Villarrica

ÁREA DE VIGILANCIA	UBICACIÓN Coordenadas UTM, Dátum WGS 84, Huso 18 Sur	DESCRIPCIÓN
PEL	Zona Pelagial: siguiendo el veril de 20 m hacia el centro del lago	Toda el cuerpo de agua pelágico, definido como la zona del lago con una profundidad máxima superior a 20 m.
LIT	Zona Litoral: siguiendo el veril de 20 m hacia la orilla del lago	Toda el cuerpo de agua litoral, definido como la zona ribereña del lago con una profundidad similar o inferior a 20 m, excepto la bahía la Poza
LIT-Poza	Zona Litoral-Poza N: 5.648.660 E.: 243.394	Todo el cuerpo de agua de la bahía La Poza.

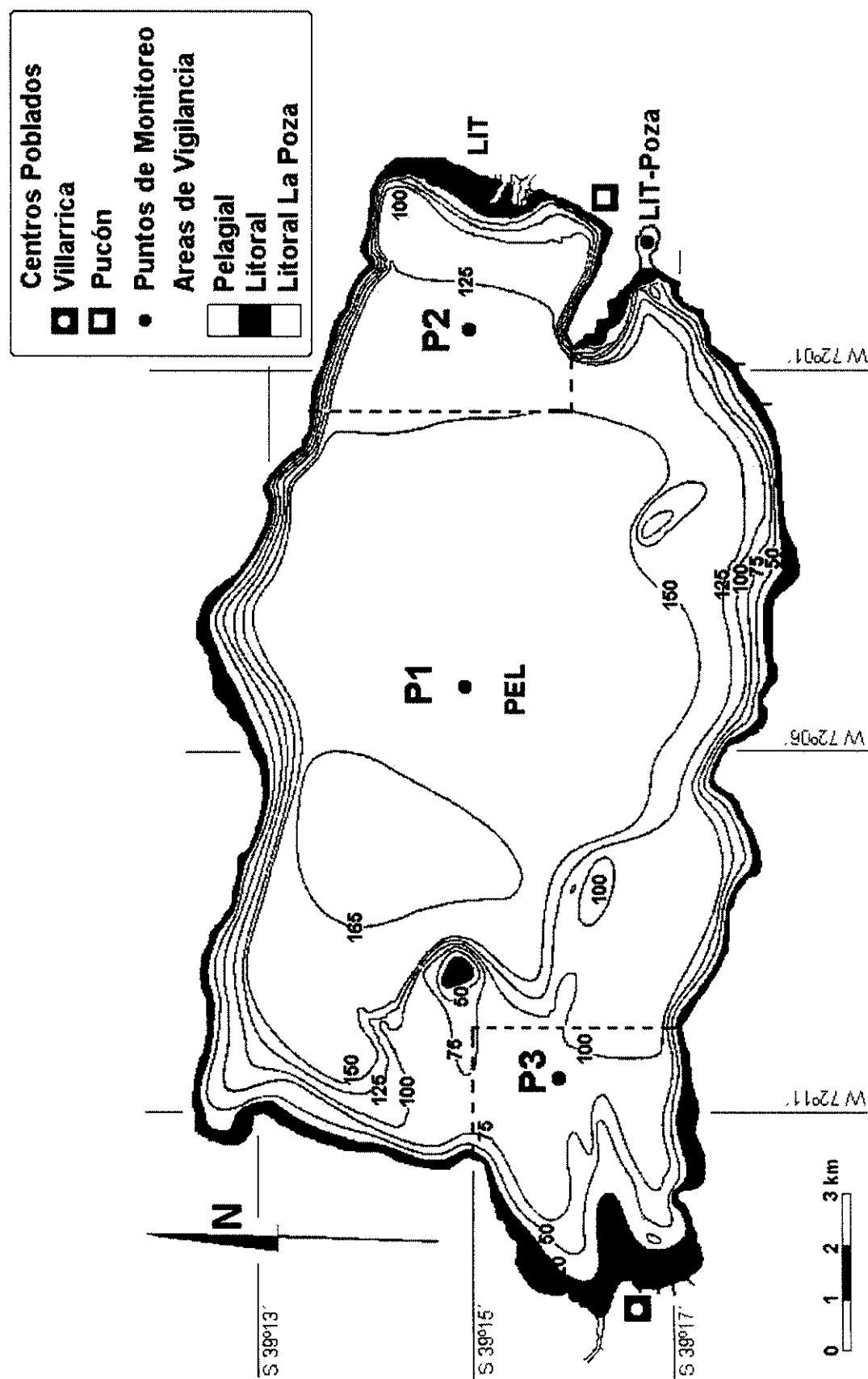


Fig. 7 Áreas de vigilancia y puntos de muestreo propuestos en el Lago Villarrica

3.2.2 PARÁMETROS A CONSIDERAR EN LA NORMA SECUNDARIA

PARÁMETROS ABIÓTICOS

Se propone usar pocos parámetros para clasificar y monitorear el estado trófico del lago Villarrica. Los parámetros a normar son:

- profundidad de Secchi: indicador de transparencia del agua, cambia con la trofia (absorción de luz por las algas)
- fósforo soluble y total (PT): son causantes e indicadores de la eutrofización
- amonio, nitrito, nitrato y Nitrógeno total (NT): son causantes e indicadores de la eutrofización
- Oxígeno disuelto: refleja la actividad metabólica de los organismos. Es especialmente importante controlar este parámetro en el hipolimnion (sobre el fono) donde suele disminuir durante la estratificación térmica como producto de la descomposición de la materia orgánica sedimentada (ver también abajo).

Los otros parámetros medidos por la DGA como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, el sílice etc. no son aptos para indicar o monitorear el estado trófico, porque generalmente varían en forma natural de acuerdo a las condiciones meteorológicas y geológicas. Sin embargo, en el caso del pH (y el sílice), que depende también de la actividad biológica en el lago (que a su vez depende de la trofia), se podría considerar incluirlo en la revisión de la NS cuando haya mostrado en el futuro valores fuera del rango 6,5 – 8,5 durante el verano. No obstante lo anterior, estos parámetros son básicos y deben ser medidos en forma habitual en cualquiera programa de monitoreo.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS

En primer lugar se propone la clorofila a:

- Clorofila a: Este es el parámetro mas importante a medir, porque es el indicador tope de la trofia (a parte de la productividad primaria, que por razones económicos no se propone). Este parámetro es un parámetro habitual del programa de monitoreo de la DGA y es uno de los parámetros mas confiables.

En segundo lugar se propone incorporar más componentes biológicos (organismos), tanto para la zona pelágica como especialmente para la zona litoral. Los organismos son indicadores (y meta final) característicos del ecosistema y los efectos de la eutrofización se manifiestan en ellos, como p.e. en el aumento de la biomasa de algas (Caputo et al. 2008) como así también, en el cambio de las especies (y biodiversidad) en cada nivel trófico.

En detalle se propone lo siguiente:

Zona pelágica: En la zona PEL se propone un monitoreo de las algas en el epilimnion, con mayor frecuencia durante el verano. En esta época - cuando muchas veces limita nitrógeno - suelen desarrollarse los blooms de algas, especialmente las algas azules (ver Fig. 5). Hay que considerar que muchas especies de algas azules pueden producir toxinas (Neumann et al., 2000), las cuales no solamente pueden perjudicar los organismos del lago, sino también pueden afectar al hombre (irritaciones alérgicas etc.) y el uso del agua en general. Se propone usar técnicas tradicionales (conteo de muestras) y remotas (fotos satelitales) para monitorear la distribución de las algas.

Zona litoral: Se propone monitorear las macrófitos en el área litoral. Existen muchas experiencias a nivel internacional en las cuales se usa como indicadores de la trofia litoral entre otros parámetros a las macrófitos (ver ejemplo en figura 8). Estas reaccionan visiblemente y rápido frente a cambios tróficos, por lo cual se recomienda incluirlas como indicadores biológicos (Hauenstein et al. 1991/92 - 2008; Schmieder 1997, - et al. 2004a, - et al. 2004b; Lehmann et al. 1999). Para el lago Villarrica ya existen algunas antecedentes al respecto (ver abajo), (Hauenstein et al. 1996).

Adicionalmente se propone monitorear como bioindicador – ahora de los sedimentos - el molusco *Diplodon chilensis*. Es un organismo generalmente bien distribuido en los lagos araucanos, es fácil de muestrear, reacciona frente a procesos de eutrofización (Lara & Paredes 2008, 2009, Valdovinos 2007) y por lo tanto es apto como bioindicador de la eutrofización. Sobre su distribución existen solamente algunos antecedentes (Valdovinos 2007).

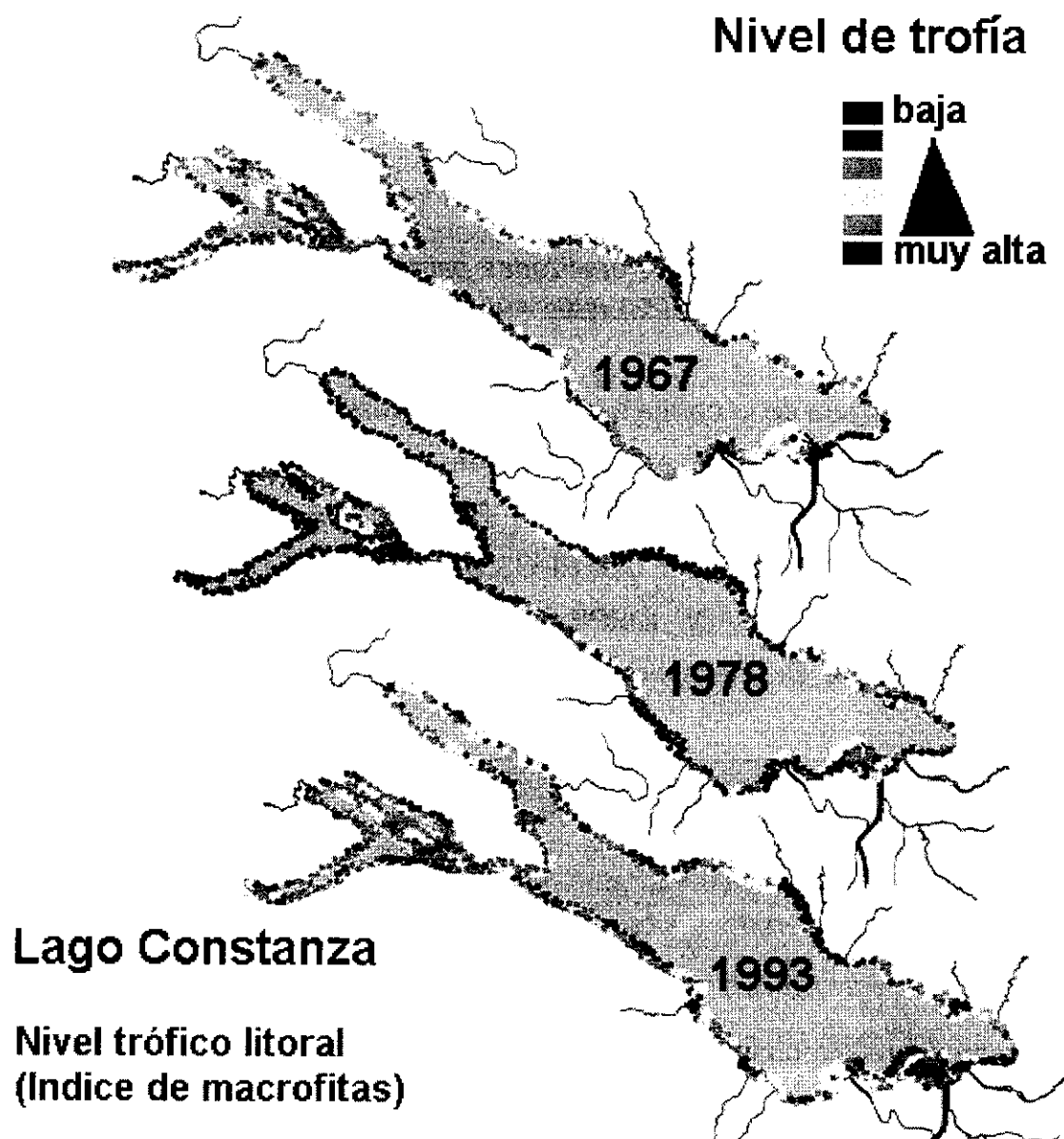


Fig. 8 Desarrollo del nivel trófico en la zona litoral del lago Constanza mediante índice de macrófitos para tres años (IKGB 2004)

3.2.3 VALORES MÁXIMOS (INTERVALOS O ÍNDICES) PRO-PUESTOS PARA LA NORMA

INTRODUCCIÓN

La guía de la NS dice sobre este aspecto en el capítulo II, lo siguiente:

1. *La asignación técnica de la calidad deberá ser determinada sobre la base de los usos prioritarios actuales, potenciales o futuros, la existencia de comunidades acuáticas, la calidad existente y el nivel de trofia que se desee conservar o recuperar para el caso de los cuerpos lacustres, fiordos, canales y estuarios.*

Además dice sobre el cumplimiento de la norma

6. *Las aguas continentales superficiales y marinas cumplirán con las normas secundarias de calidad respectivas, cuando el percentil 66 de las concentraciones de las muestras analizadas para un elemento o compuesto en un área de vigilancia durante dos años consecutivos, sea menor o igual a los límites establecidos.*

El percentil 66 % de la guía de la norma secundaria propuesta como meta para cumplir los valores máximos (o mínimos) establecidas en la norma secundaria no tiene fundamento científico-técnico concluyente. El informe DIAGNOSTICO Y CLASIFICACIÓN DE LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA SEGÚN OBJETIVOS DE CALIDAD de los consultores CADE IDEPE (2003) indica que el percentil 66 % es elegido en forma arbitraria. Dice textualmente (página II 25):

En forma específica, se ha considerado lo siguiente:

- *En el caso de disponer de un número de registros > 10 por período estacional, se procede a calcular el percentil 66%, lo que equivale según la metodología a información de nivel 1. La elección del percentil es arbitraria. Se ha elegido 66% por considerarlo un valor moderado y porque corresponde al percentil utilizado en el Instructivo.*

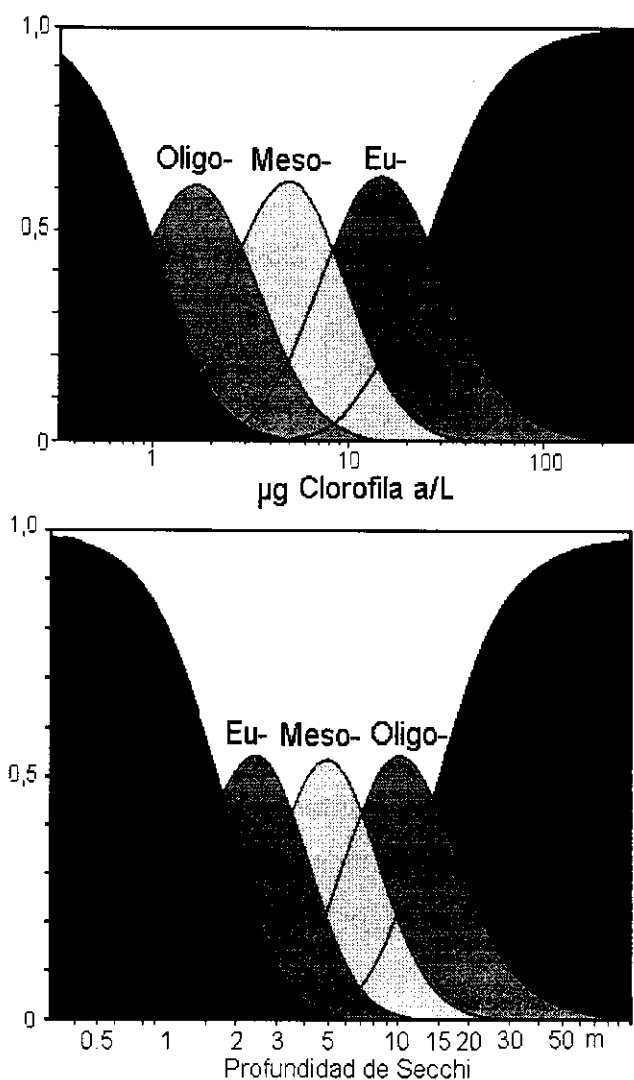
Esta argumentación refleja una visión de un ecosistema acuático más bien reducido a números y argumentos estadísticos-técnicos, pero no considera la funcionalidad del ecosistema ni los efectos sobre los organismos en los sistemas acuáticos. Estos si serán afectados gravemente por cambios de su medio físico-químico (y biológico) si la norma secundaria permitiría al dejar sobrepasar en un 34% de las mediciones los valores máximos (o mínimos) establecidos de la norma sin especificar ningún límite. Son exactamente estos valores altos (p.e. durante un bloom de algas) los que indican ya alteraciones importantes que se están desarrollando y que afectarán en el futuro

significativamente la calidad del medioambiente, especialmente a los organismos a los cuales la norma quiere proteger.

En el caso de la eutrofización, como ya se ha explicado arriba, es un señal importante, si un parámetro – p.e. clorofila a – sobrepasa el valor deseado, es porque ya indica una mayor probabilidad de eutrofización. Por otro lado se observa en la naturaleza una cierta variabilidad y rangos de parámetros tróficos (Secchi, PT, clorofila a) asociada a una cierta trofia (que es una clasificación subjetiva por parte de los investigadores!). Un concepto probabilístico, como se muestra en la figura 9, parece ser lo más adecuado para clasificar el estado trófico o mejor dicho la probabilidad de que se encuentra un cuerpo de agua en un cierto estado (Vollenweider & Kerekes, 1980).

Sin embargo, para fines de manejo y por su simplicidad, aquí se propone el Modelo diagnóstico, que usa límites (o rangos) fijos, tal cual como los propone la Guía NS.

Fig. 9 Modelo probabilístico para la clasificación de la trofia según Vollenweider & Kerekes (1980).



PROPUESTA

La base principal de la propuesta es la definición de la meta final de la NS. Aquí se fija como meta conservar/recuperar el estado oligotrófico del lago Villarrica, lo que se acercaría a su característica original (natural) o al estado trófico que debería tener un lago araucano según la literatura (ver primer informe). Antes de la intervención humana el Lago Villarrica supuestamente fue incluso ultra-oligotrófico con valores de clorofila a $< 1 \mu\text{g/l}$.

La fijación de los límites, que se propone aquí, se realizó considerando la experiencia internacional, la Guía NS y evaluaciones propias de la base de datos del Lago Villarrica. En la tabla 6 se presenta la comparación de los rangos de la trofia de acuerdo a diferentes fuentes internacionales y la Guía NS.

Tabla 6. Promedios, rangos y valores máximos (en paréntesis) para la clasificación del estado trófico en lagos templados.

		OECD 1982	Carlson 1977	Dillon 1975	Guía NS
Secchi (m)	Oligo-	12-6	> 4	> 5	≥ 10
	Meso	6-3	4-2	5-2	10-5
Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)	Oligo-	1-2,5 (< 8)	$< 2,6$	$\leq 2,1$ ($< 5,7^*$)	< 3
	Meso	2,5-8 (< 25)	2,6-7,3	$\leq 5,6$ ($< 15^*$)	3 - 10
P Total ($\mu\text{g P/l}$)	Oligo-	4-10	≤ 12	≤ 10	≤ 10
	Meso	10-35	12-24	≤ 20	≤ 20
N Total ($\mu\text{g N/l}$)	Oligo-	< 350	-	-	≤ 250
	Meso	350-650			≤ 400

* valor con un límite de confianza de 95%

Para la clorofila a y el fósforo total hay muy buena concordancia de los valores, mientras la clasificación trófica hecha en base del Secchi la Guía NS y el estudio de la OECD son mas restringidos que la propuesta de Carlson y Dillon & Rigler. Para nitrógeno total no existen muchas propuestas porque los lagos del hemisferio Norte generalmente están limitados por P (ver arriba).

En la tabla 7 se presenta los valores máximos propuestas para cada parámetro trófico.

Tabla 7 Parámetros normados para diferentes áreas de vigilancia en el Lago Villarrica.
* es la suma de N-nitrato + N-nitrito + N-amonio

	UNIDAD	Rango	Área de vigilancia		
			PEL	LIT	LIT-Poza
Trofia deseada			Oligotrófico	Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico
Transparencia (Secchi)	m	Promedio anual Mínimo	≥ 9 ≥ 5	≥ 7 ≥ 4	≥ 7 ≥ 4
P disuelto (0-fondo)	mg P/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,010$ $\leq 0,015$		$\leq 0,015$ $\leq 0,025$
P total (0-fondo)	mg P/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,010$ $\leq 0,015$		$\leq 0,015$ $\leq 0,025$
Saturación Oxígeno disuelto (0-fondo)	%	Mínimo	≥ 80		≥ 70
N disuelto * (0-fondo)	mg N/l	Promedio anual Máximo	$< 0,10$ $\leq 0,15$		$\leq 0,15$ $\leq 0,30$
N total (0-fondo)	mg N/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,15$ $\leq 0,20$		$\leq 0,15$ $\leq 0,30$
Clorofila "a" (0-30 m)	µg/l	Promedio anual Máximo	≤ 3 ≤ 6		≤ 5 ≤ 10
Algas (0-30 m)	mg Peso humedo/l		$\leq 1,5$		
Macrófitos (0-20m)	Indicación			Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico
<i>Diplodon chilensis</i> (0-20m)	Indicación			Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico

En caso de la profundidad de Secchi se usó un valor mas conservador (similar al valor propuesta en la Guia NS) para la zona PEL, mientras para el área LIT y LIT-Poza se uso un valor un poco mas permisible, o sea un valor similar a los niveles internacionales. Eventualmente hay que corregir el Secchi (próxima revisión de la NS), si se comprueba que su valor indicativo es muy diferente al estado trófico indicado por el clorofila a.

Los valores promedio para P y Clorofila a concuerden con los valores de la tabla anterior, mientras los valores para N total se eligieron en concordancia con las

mediciones en el lago Villarrica (ver tabla 8 y figura 12). El N total se eligió pues es un poco más alto en comparación con el N disuelto, esto por la fijación de las algas azules que aumentan el N total, pero no el N disuelto.

Para el oxígeno se presenta como criterio el valor mínimo de saturación en cualquiera profundidad durante el año (o sea no es un valor promedio, ni de la columna de agua, ni durante el tiempo), porque el oxígeno disminuye paulatinamente durante la estratificación térmica presentando su mínimo a fines de verano (ver figura 11).

Los valores promedios anuales se refieren en el caso de los nutrientes, N y P total a los promedios de la columna de agua (superficie – fondo), mientras en el caso de clorofila y algas se refieren a la zona 0 – 30 m (pelagial).

Los valores máximos se refieren en el caso de los nutrientes, N y P total a los promedios de la columna de agua (superficie – fondo), mientras en el caso de clorofila a se refieren a un valor específico en alguna profundidad.

Indicaciones para la evaluación de los datos y el cumplimiento de la NS

Respecto a los valores promedios y máximos

Es importante mencionar que se determina la trofia según valores promedios del periodo vegetacional, lo que corresponde al año completo en el caso del lago Villarrica (mientras en el hemisferio norte corresponde este período generalmente al verano). Además se relaciona los diferentes parámetros entre ellos, pero siempre enfocado en el parámetro más importante – la clorofila a.

Aparte de los valores promedios, es importante considerar también los valores máximos (o mínimos, p.e. Secchi), porque indican tendencia o probabilidades de aumentos de la trofia (ver arriba).

Respecto al área PEL y la representatividad de las estaciones P1-P3

Los valores de las diferentes estaciones en el área PEL se promedian considerando las respectivas proporciones de los volúmenes de cada sub área según la sectorización propuesta en Anexo 3. Esta propuesta se orienta a los resultados de Meruane (2005). Se considera los valores de P1 : P2 : P3 aportando al valor promedio final de PEL un 84% (P1), un 10 % (P2) y un 6 % (P3). Quizás sea necesario corregir estos valores (aumentar la proporción de P2 y P3) en una futura revisión de la NS y cuando haya nuevos antecedentes disponibles que indican una mayor representatividad de las estaciones P2 y P3 en comparación con la estación P1. En este caso habría que recalcular el valor promedio de los años anteriores para evaluar más correctamente los valores tróficos calculados. Durante los primeros cinco años es importante obtener datos de la columna de agua en el punto P2 para verificar el ingreso y la distribución vertical de la carga del río Trancura (esta carga baja al hipolimnion o se distribuye en el epilimnion ?), y en caso de P3 para verificar las concentraciones de los nutrientes en la bahía de Villarrica antes de egresar por el río Toltén.

Respecto a la importancia relativa de los parámetros en el area PEL:

La evaluación del cumplimiento debe enfocarse en la evaluación de los parámetros necesarios para la clasificación de la trófia. En este sentido el parámetro mas importante es la clorofila a (y algas), seguido por el P total, Secchi, N total, nutrientes y la saturación de oxígeno. En caso de las algas no existen todavía valores para evaluar bien este parámetro. Se recomienda usar las algas como un parámetro indicativo hasta obtener más informaciones respecto ellas.

Respecto a la declaración de una Zona latente (Area PEL):

Se declara una zona latente en los siguientes casos:

- Cuando durante dos años consecutivos se sobrepasa los límites del promedio anual de clorofila a y uno o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, saturación de oxígeno

- Cuando durante dos años consecutivos se sobrepasa los límites del valor máximo de clorofila a y dos o mas de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno.
- Cuando se sobrepasan tres veces durante cinco años cualquier valor permitido de clorofila a y uno o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, saturación de oxígeno

Respecto a la declaración de una Zona saturada (Area PEL):

Se declara una zona saturada en los siguientes casos:

- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del promedio anual de clorofila a por el factor dos
- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del promedio anual de clorofila a y dos o mas de los siguientes parámetros: P total , Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno
- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del valor máximo de clorofila a y tres o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno.
- Cuando la saturación de oxígeno sobre el fondo sea menor que 50% durante un año.

Respecto a la declaración de una Zona latente o saturada en el área LIT

- Para esta área todavía no existen resultados cuantitativos. Para el caso de los bioindicadores se recomienda recién después de obtener mediante un estudio los primeros resultados cuantitativas establecer los protocolos detalladas para declarar una zona latente o saturada.
- Probablemente hay que subdividir el área de vigilancia LIT después del primer estudio de la zona litoral y evaluar las nuevas áreas de vigilancia en forma independientemente.

- En caso de los bioindicadores propuestos no es necesario verificar una tendencia durante varios años (por ejemplo durante tres años como se propone para el área PEL), sino basta con una sola evaluación (ver también figura 8), porque refleja el pasado de varios años (tiempo de crecimiento es mas lento que en el caso de las algas).
- Se recomienda evaluar la zona LIT según el criterio de que si los bioindicadores indican la trofia deseada o no y que tan alejado es el estado trófico actual del deseado.
- Se recomienda declarar zona latente para el área LIT cuando los bioindicadores indican una trofia mesotrófico o medianamente alterada.
- Cuando indica una zona eutrófica o muy alterada, se recomienda declarar zona saturada (aunque este término corresponde mas bien a una norma de emisión, no de calidad).
- Respecto a los parámetros Secchi y clorofila a en la zona litoral; se recomiendan estos valores para fines indicativos pues permiten determinar los lugares litorales donde se acumulan o desarrollan preferentemente algas. Se recomienda normar estos parámetros más detalladamente después del estudio de la distribución de los bioindicadores.

Respecto a la declaración de una Zona latente o saturada en el área LIT-POZA

- Se evalúa los datos de acuerdo con las indicaciones para la zona PEL y LIT. Para esta zona ya existen por lo menos para la columna de agua datos que permiten una evaluación inmediata de la calidad de agua. En el caso de los bioindicadores se necesita primero realizar un estudio al respecto.

3.2.4 ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LAS AREAS DE VIGILANCIA

Se presenta aquí el estado trófico actual de las áreas de vigilancia propuestas. Para el área LIT y para los bioindicadores no existen datos actuales. Sin embargo se entrega información y observaciones disponibles donde es posible.

ESTADO TRÓFICO AREA DE VIGILANCIA PEL

Existen solamente datos para esta zona con valores desde la superficie hasta el fondo del año 2008, obtenidos durante este estudio. Por otro lado, existe información sobre el epilimnion de todas las estaciones de la red de monitoreo de la DGA. Se presentan los resultados del estado trófico basado en ambas bases de datos y evalúa los datos con los valores normados propuestos.

En la tabla 8 se presenta los datos de este estudio para la estación P1. la evaluación de los resultados indica que los datos están dentro de los rangos permitidos por la NS propuesta.

Tabla 8 Calidad del agua en la estación centro P1 del lago Villarrica (promedios de la columna de agua). Valores son promedios 0 – 160 m, * mínimo

Verde: cumple con la NS			Roja: no cumple con la NS		
Fecha	Secchi (m)	N-soluble mg /l	N total mg/l	P soluble mg/l	P total mg /l
13-12-07	11,9	0,042	0,087	0,008	0,013
24-01-08	6,2	0,066	0,084	0,004	0,009
12-02-08	10	0,054	0,131	0,005	0,009
04-03-08	17	0,046	0,073	0,007	0,008
03-04-08	16,5	0,068	0,098	0,004	0,009
07-05-08	18,5	0,068	0,102	0,004	0,008
11-06-08	10	0,070	0,101	0,006	0,011
02-07-08	5,5	0,034	0,067	0,004	0,007
30-07-08	10,5	0,038	0,102	0,006	0,010
09-09-08	9	0,043	0,054	0,005	0,010
10-10-08	8	0,030	0,051	0,005	0,010
02-12-08	13,5	0,032	0,071	0,007	0,015
Evaluación					
promedio anual					
máximo					

Aunque ni la frecuencia, ni las profundidades, ni la ubicación de las estaciones de la red de monitoreo de la DGA coinciden con la propuesta, se presenta también la

evaluación de los datos de la DGA (tabla 9). Cabe mencionar, que en varios años hubo pocos valores, por lo tanto la evaluación no es muy coherente para diferentes años. Por razones de espacio se presentan los valores en $\mu\text{g/l}$.

Tabla 9 Evaluación del estado trófico con los datos de la DGA (promedio columna).

Pro: promedio anual

Verde: cumple con la NS

Roja: no cumple con la NS

Estación Molco												
	Secchi (m)		Clorofila a ($\mu\text{g/l}$)		P soluble ($\mu\text{g/l}$)		P total ($\mu\text{g/l}$)		N soluble ($\mu\text{g/l}$)		N total ($\mu\text{g/l}$)	
	Pro	Min	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx
2000												
2001												
2002												
2003											78	94
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
Estación Pucón												
2000												
2001											26	37
2002												
2003												139
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
Estación Villarrica												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												

Se nota que en varios años los valores especialmente de P soluble y P total, como también de Secchi sobrepasaron los límites propuestos. En el caso de los nutrientes y P total se supone que es debido a problemas analíticos (aunque la base de datos ya fue corregido, pero todavía existen algunos valores altos). Sin embargo, la clorofila no sobrepaso muchas veces los límites establecidos, aunque en varios años los valores están muy cerca de los límites.

ESTADO TRÓFICO AREA DE VIGILANCIA LIT

Existen algunos antecedentes cuantitativos en la literatura sobre el estado trófico del litoral usando las macrófitos como bioindicadores (Hauenstein et al., 1996). Estos autores mostraron durante 1992/93 datos para 6 lugares de macrófitos y los analizaron cualitativamente y cuantitativamente (Fig. 8). Los resultados indican un alto porcentaje de especies alóctonas (44,9%), lo que corrobora el elevado nivel de perturbación antrópica del lugar. Queda reflejado el grado de eutrofización por la presencia de macrófitos indicadores (p.e. *Hydrocotyle ranunculoides*, *Alisma plantago-aquática*), y también la ausencia de especies indicadoras para aguas oligotróficas.

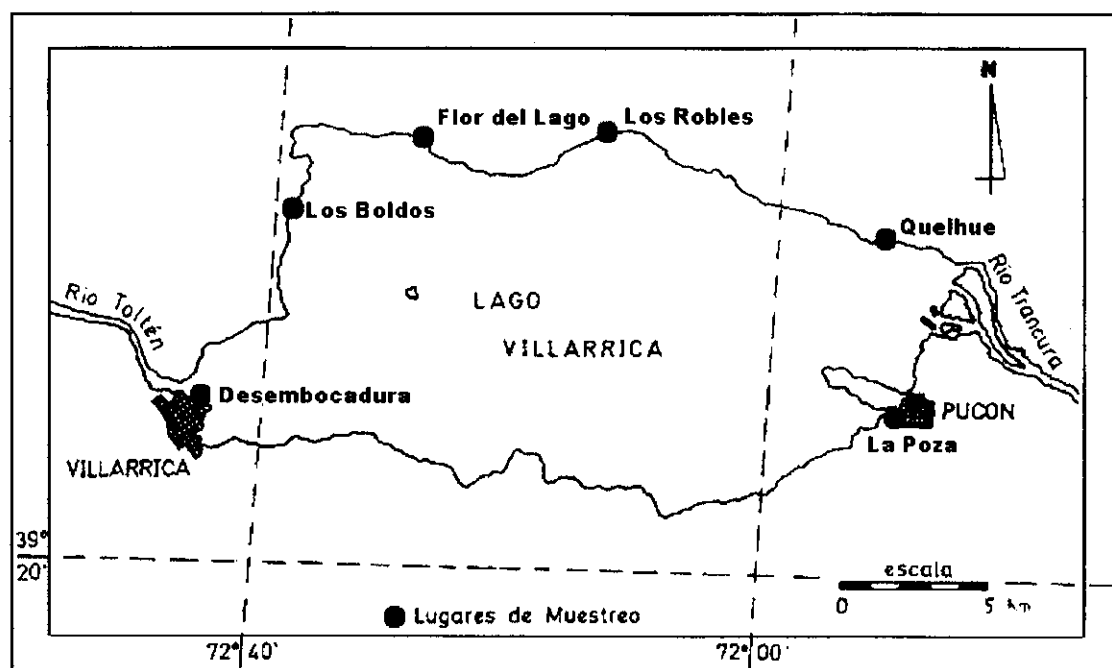


Fig. 10. Lugares de muestreo de macrófitos en el Lago Villarrica durante 1992/93 (figura tomado de Hauenstein et al. 1996, levemente modificado)

ESTADO TRÓFICO ÁREA DE VIGILANCIA LIT POZA

Aún cuando se considera que no en todos los años existe la misma cantidad de datos, la evaluación del estado trófico del área LIT La Poza indica que ya es una zona saturada, porque la clorofila, el Secchi y las fracciones de P sobrepasaron por lo menos tres veces durante los últimos cinco años los límites establecidos. (tabla 10)

Se recomienda – junto con la Directemar – establecer un plan de acción para mejorar la calidad de la bahía (restricciones de uso con lanchas, limitar resuspensión de sedimento, cosecha de macrófitos etc.).

Tabla 10 Evaluación del estado trófico con los datos de la DGA (promedio columna).

Pro: promedio anual

Max: Máximo

Verde: cumple con la NS

Roja: no cumple con la NS

	Estación La Poza											
	Secchi (m)		Clorofila a (µg/l)		P soluble (µg/l)		P total (µg/l)		N soluble (µg/l)		N total (µg/l)	
	Pro	Mín	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx	Pro	Máx
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												

3.2.5 PROPUESTA DE PROGRAMA DE MONITOREO

INTRODUCCIÓN - ESTACIONES DE MONITOREO ACTUALES DE LA DGA

La ubicación actual de las estaciones de monitoreo de la DGA esta marcada en la figura A3. Tres de las cuatro estaciones de monitoreo están ubicadas en el pelagial, aunque relativamente cerca de la orilla. Por otro lado, una estación (la Poza) esta ubicada en el litoral a una baja profundidad (< 10 m). Ninguna estación esta ubicada sobre la mayor profundidad del lago (por lo menos según nuestros antecedentes), ni cerca del centro.

Para realizar un monitoreo más representativo del lago, se propone el siguiente programa:

PROPUESTA

ESTACIONES DE MONITOREO

ÁREA PELAGIAL

Como muestra la figura 4 se propone 3 estaciones para el área de vigilancia pelagial. Se propone incorporar una estación central y se propone correr las estaciones Pucón y Villarrica de acuerdo con las ubicaciones marcadas en la figura 4. Se fundamenta este movimiento de las estaciones en el requerimiento de tener las estaciones a una mayor profundidad y para tener una mayor representatividad del cuerpo de agua (alejar las posiciones de la orilla). Es de especial interés saber si hay diferencias significativas en los nutrientes, N y P total y clorofila en la estaciones más cerca del afluente principal (río Trancura) y de la desembocadura.

ÁREA LITORAL

Se propone mantener la estación La Poza como un área de vigilancia por sus características especiales (cerrado) y su importancia para la comunidad.

Para la vigilancia de la zona litoral verde, se propone 2 estaciones más, que se deberían fijar con la DIRECTEMAR de acuerdo con su programa de vigilancia y las condiciones del lago, p.e. corrientes, blooms de algas. Por otro lado, se propone vigilar el lago a través de fotos satelitales durante el verano, justamente para observar la

ubicación y el movimiento de las algas que muchas veces se acumulan en la zona litoral de la ribera sur del lago (Anexo 6).

Se propone realizar primero un estudio del litoral completo y después en base de los resultados fijar diferentes áreas de vigilancia, en consideración del estado trófico, de la vulnerabilidad actual y futuro y del uso del área.

PROFUNDIDADES

Las estaciones de monitoreo actuales de la Red de Monitoreo de la DGA no consideran la profundidades de la termoclina ni del hipolimnion (profundidades > 30 m). Las profundidades en tres de las cuatro estaciones actuales de muestreo de la DGA son 0 – 15 – 30 m, y en la estación Molco adicionalmente en 80 m.

Para un monitoreo adecuado de los parámetros tróficos, es indispensable tener registros en toda la columna de agua, es decir desde la superficie hasta la profundidad máxima. Justamente el hipolimnion es la parte más vulnerable en un lago, debido a la estratificación térmica que impide la oxigenación del hipolimnion durante el verano, lo que provoca una disminución del oxígeno y una acumulación de nutrientes en el hipolimnion. Este estudio da evidencia de esta situación como se puede apreciar en las figuras 5 – 7, donde se observa mayores concentraciones de nitrato (aumento en hipolimnion), y en menor grado también para oxígeno (disminución), fósforo y amonio. Como se realiza en otros estudios a nivel internacional se propone como mínimo 3 profundidades en el epilimnion, una profundidad en el metalimnion y 4 profundidades en el hipolimnion (Total: 7-9 profundidades).

Para las estaciones P1-P3 se propone las siguientes profundidades:

Tabla 11 Profundidades y parámetros propuestos

	Nutrientes, NT, PT, Oxígeno*	Clorofila a	Algas
P1	0-10-20-30-50-70-100-130-160 m	0-10-20-30 m	Muestra integrada: 0-10-20-30 m
P2	0-10-20-30-50-70-100-120 m	0-10-20-30 m	Muestra integrada: 0-10-20-30 m
P3	0-10-20-30-50-70-90 m	0-10-20-30 m	Muestra integrada: 0-10-20-30 m

Solamente en el caso que no sea posible analizar tal cantidad de muestras se propone para las estaciones P2 y P3 integrar las muestras para obtener dos muestras integradas: Muestra una (epilimnion): < 30 m; Muestra dos (hipolimnion): > 30 m

Para la estación LIT Poza las profundidades son las habituales de la DGA.

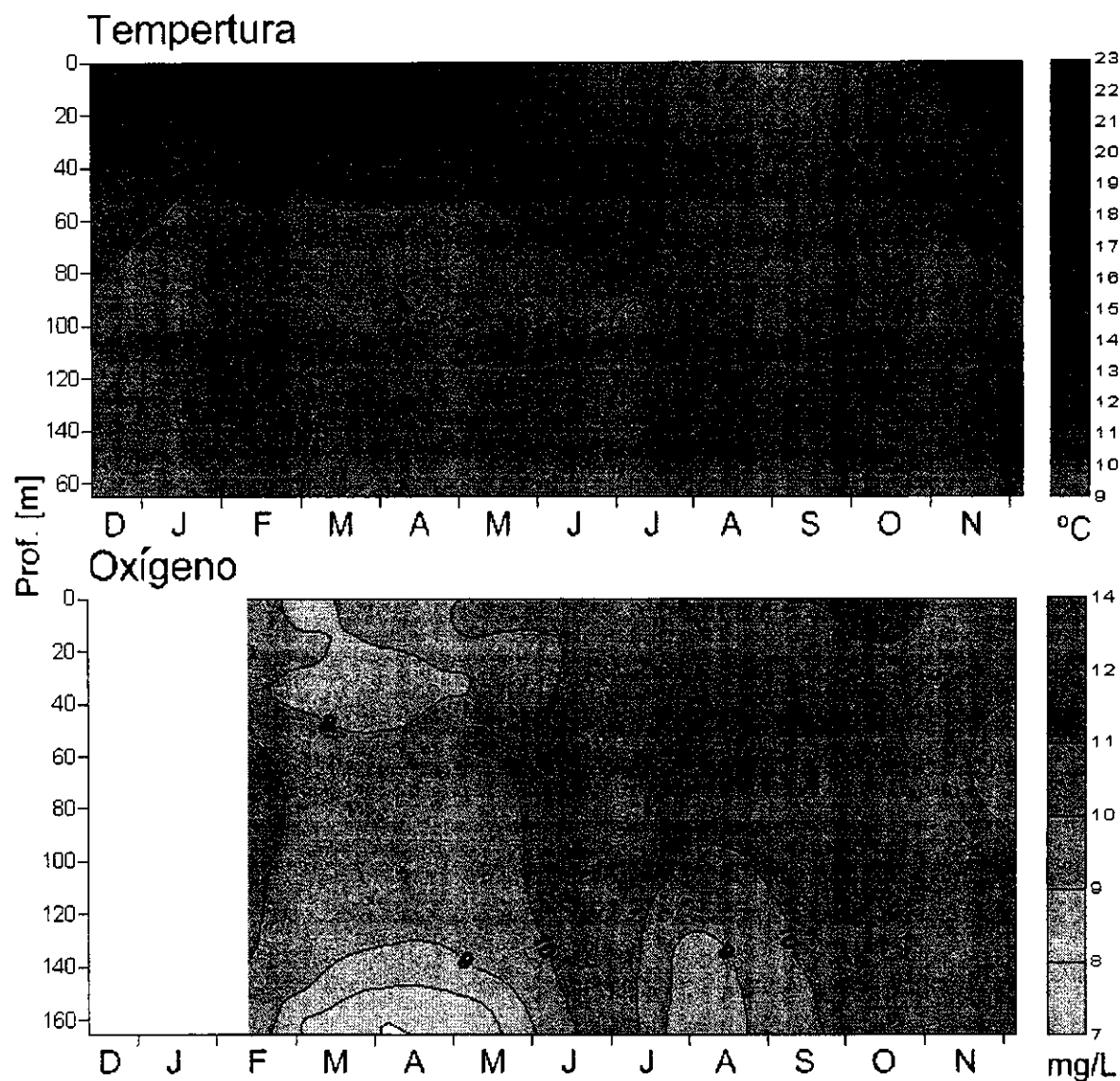


Fig. 11 Desarrollo de la temperatura y oxígeno disuelto en el Lago Villarrica, estación centro (diciembre 2007 – diciembre 2008)

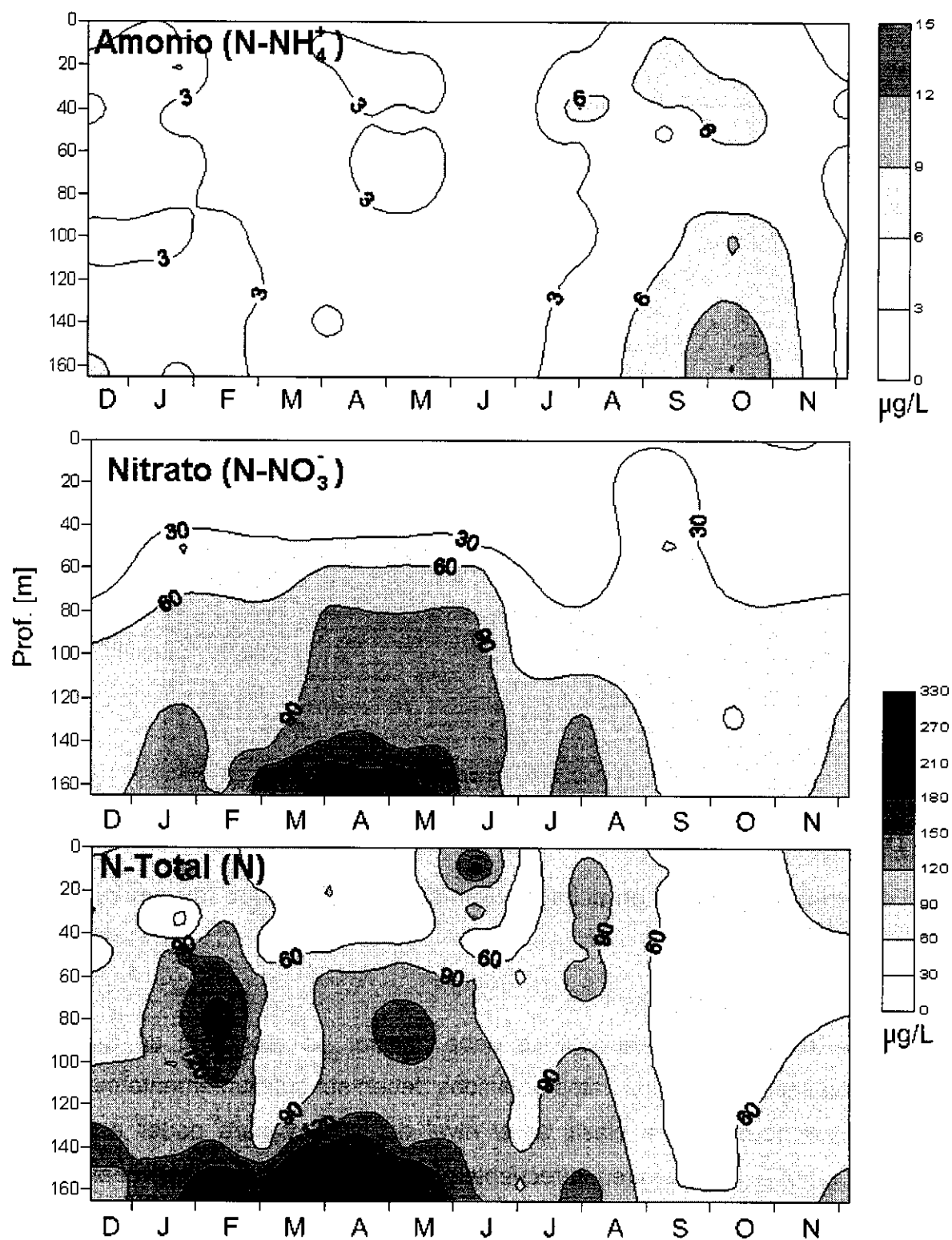


Fig. 12 Amonio, nitrato y nitrógeno total en el Lago Villarrica, estación centro (diciembre 2007 – diciembre 2008)

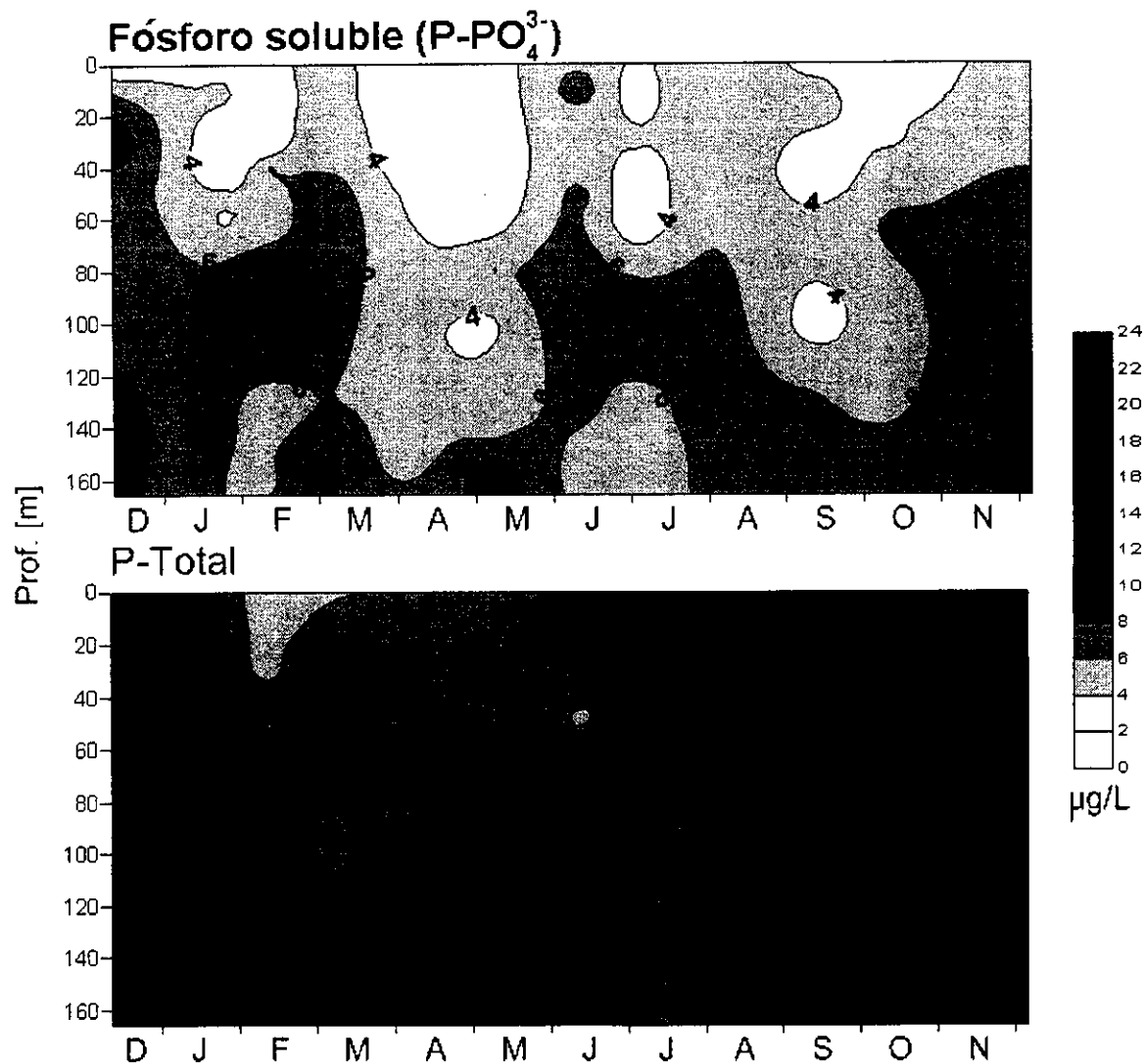


Fig. 13 Fósforo soluble y total en el Lago Villarrica, estación centro (diciembre 2007 – diciembre 2008)

PROGRAMA DE MONITOREO

Para lograr la meta de esta norma, se debe diseñar un programa de monitoreo adecuada. Esto significa, que los datos obtenidos deben ser suficientemente confiables y en cantidad adecuada para clasificar el nivel de trofia y para poder estimar el desarrollo de la trofia. Un muestreo infrecuente por lo general da un imagen deformada de las variables consiguientes con variabilidad a corto plazo, p.e. de clorofila a. En consecuencia hay una considerable incertidumbre en clasificar y monitorear el nivel trófico solamente en base de muestreos estacionales. Las fluctuaciones anuales del clorofila a en el Lago Villarrica, por ejemplo, muestran esto para todos las estaciones

durante los últimos 5 años. Es necesario aumentar la frecuencia del monitoreo para el lago. Se propone por lo tanto lo siguiente:

- **ÁREA DE VIGILANCIA PEL:** Se propone un programa de monitoreo de acuerdo con el desarrollo de la estratificación térmica y el desarrollo de las algas. Se propone un monitoreo mensual durante el verano (diciembre hasta marzo) y un monitoreo estacional durante el resto del año (julio, octubre).
- **ÁREA DE VIGILANCIA LIT:** En el caso de las macrófitas y de las algas, estos parámetros serán monitoreados cada tres años. Después del primer estudio se debe reconsiderar la subdivisión del área de vigilancia (ver arriba).
- Adicionalmente se recomienda monitorear - dentro del programa POAL de la Directemar - los blooms de algas y el Secchi en esta zona.
- **ÁREA DE VIGILANCIA LIT POZA:** La columna de agua se monitorea en paralelo con el área PEL, mientras los bioindicadores se monitorean de acuerdo con la propuesta del área LIT, o sea cada tres años.

3.2.6 METODOLOGÍA

MUESTREO

El muestreo de agua, la preservación y manejo de las muestras en la columna de agua se puede realizar según las normas en tabla 12. Cabe recomendar que sería de gran utilidad realizar los muestreos en el lago en conjunto con la DIRECTEMAR, que tiene los medios necesarios (lancha, mano de obra) para facilitar el muestreo. Además, la DIRECTEMAR debería estar involucrada en el muestreo a través de su programa de vigilancia litoral (POAL).

Tabla 12 Normas relacionadas con el muestreo de agua

IDENTIFICACIÓN	TÍTULO DE LA NORMA
NCh411/2.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh411/3.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
NCh411/4.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.

METODOLOGÍA ANALÍTICA

De acuerdo a las necesidades analíticas para medir los parámetros con una alta sensibilidad se propone para la mayoría de los parámetros varios métodos a elegir (Tabla 13)³. Para los nutrientes, N y P total son los métodos de Absorción molecular (colorimetría) y además cromatografía de aniones. Esto permite a la DGA elegir según sus posibilidades el método más conveniente. Esto incluye también la posibilidad de incluir métodos automáticos como Flow Injection Method o Segmented Flow Analysis.

³ Los demás parámetros medidos en el programa de monitoreo (p.e. Temperatura, pH, Conductividad eléctrica etc.) pueden ser medidos según la metodología usada hasta ahora por la DGA.

Tabla 13 Metodología propuesta para el análisis de los parámetros normados

PARAMETRO	METODOLOGÍA
Transparencia	Disco Secchi ($\varnothing \geq 30$ cm)
Oxígeno Disuelto	4500-O G. Membrane Electrode Method
Fósforo soluble reactivo	4500-P E. Ascorbic Method 4500-P F. Automated Ascorbic Reduction Method. 4500-P G. Flow Injection Method for Orthophosphate
Fósforo Total	4500-P H. Manual Digestion and Flow Injection Analysis for Total Phosphorus 4500-P I. In-line UV/Persulfate Digestion and Flow Injection Analysis for Total Phosphorus 4500-P J. Persulfate Method for simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorous
Amonio	4500-NH3 F. Phenate Method 4500-NH3 G. Automated Phenate Methods 4500-NH3 H. Flow Injection Analysis
Nitrito	4500-NO2 B Colorimetric Method 4110 Determination of Anions by Ion Chromatography
Nitrato	4500-NO3 E. Cadmium Reduction Method 4500-NO3 F Automated Cadmium Reduction Method 4500-NO3 I Cadmium Reduction Flow Injection Method 4110 Determination of Anions by Ion Chromatography
Nitrógeno Total	4500-N C. Persulfate Method 4500-P J. Persulfate Method for simultaneous determinationj of total nitrogen and total phosphorous
Clorofila "a"	10200 H. Chlorophyll
D.Q.O.	5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method
Fitoplancton	100200 B. Sample Collection 100200 F. Phytoplankton Counting Techniques
Macrofitas	100400 C. Vegetation Mapping Methods 100400 D. Population estimates
Zoobentos (Diplodon)	100500 B. Sample Collection 100500 C. Sample Processing and Analysis

Algunas recomendaciones adicionales se presentan en adelante:

- En el caso de los nutrientes es muy importante que se mejore los límites de detección, especialmente para amonio (L.d. hasta ahora: 0,010 mg N-NH₄/L) y también para el fósforo soluble (L.d. hasta ahora: 0,003 mg P-PO₄/L). Esto significa que se debería usar cubetas de 50 mm (nitrato, fósforo, amonio) (técnica de absorción molecular). Los límites de detección para los nutrientes deberían ser a lo menos 0,002 mg/L N o P).

- Es muy importante medir los nutrientes lo más rápido posible. Especialmente amonio es muy sensible a cualquier retraso en la medición (contaminación por aire). Hay que chequear inmediatamente la calidad de las mediciones (coherencia de resultados, se mide lo que se esperaba?) y repetir eventualmente las mediciones inmediatamente.
- De gran importancia es también implementar un método confiable para la determinación de N total y en menor grado para el P total (hubo menos problemas en el pasado). Para el N total casi no existen datos para los últimos 8 años, pero sí para P total. Esto es probablemente debido a la falta de la implementación de una técnica analítica para medir el N total. Respecto a P total, parece que la mayoría de los datos de P total son confiables.
- Hay que chequear usar adicionalmente (al método químico) sondas para medir los perfiles de clorofila a en la columna de agua. Sería de gran utilidad, porque se podría realizar más mediciones.

METODOLOGÍA PARÁMETROS BIOLÓGICOS

Respecto a los bioindicadores:

Para los bioindicadores se debe elaborar un protocolo para monitorear este grupo. Se recomienda realizar este trabajo en conjunto con el grupo de trabajo sobre el Uso de Bioindicadores que fue reunido por la CONAMA y el SAG y que ya ha elaborado un borrador al respecto.

Respecto a clorofila a y algas:

Se debe considerar el uso de una sonda de clorofila a (costo Hydrolab: aprox. 4000 Dólares) para obtener una mayor resolución del perfil vertical y para bajar los costos.

Se propone además usar Imágenes satelitales para monitorear el desarrollo y la distribución de las algas, porque el efecto más importante de la eutrofización es el aumento de la biomasa de las algas. El monitoreo de estas algas, especialmente en caso de las algas azules, que pueden producir toxinas, es una tarea fundamental. De hecho, todos los índices tróficos enfocan en este parámetro y es el principal enfoque

de esta NS – la conservación del nivel el control de las algas. En el caso del lago Villarrica ya se ha observado que la distribución de las algas no es homogénea, sino muchas veces en forma de parches. El ejemplo en la figura 8 muestra una imagen satelital donde se puede observar fácilmente la distribución de las algas. La técnica es de fácil acceso sin altos costos.



Fig. 14. Florecimiento de algas azules en dos lagos de Wisconsin. Imagen satelital LandSat (Image courtesy North Temperate Lakes Long Term Ecological Research Program, <http://lter.limnology.wisc.edu>.)

Las algas deben ser determinadas a nivel de especies en su abundancia y biomasa (peso húmedo). En caso que sea necesario, se debe considerar estudiar si algas azules producen toxinas.

La metodología a usar es altamente conocida y usado en Chile (ver literatura Campos et al, 1983).

3.3 RECOMENDACIONES PARA EL PROCESO DE DICTACIÓN DE LA NORMA Y SU IMPLEMENTACIÓN

Divulgación de la NS y apoyo ciudadano

Se recomienda realizar reuniones de divulgación e información sobre la implementación de la NS con la ciudadanía. Incluso es posible incorporar la participación activa de grupos de personas (colegios, ONGs etc.) en apoyar con programas de observación (fotos, denuncias de algas, color del agua, transparencia etc.) adicionales y medios simples a la vigilancia de la calidad del agua. Se debería conversar también con las autoridades de Pucón y Villarrica sobre la posibilidad de considerar algún impuesto para financiar estudios en el lago Villarrica (p.e. cada turista paga 1000 Pesos).

Reunión con DGA Santiago

Es vital reunirse a la brevedad con el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos de la DGA y profesionales del Laboratorio de Análisis de la DGA para conversar asuntos importantes sobre la implementación de la NS, el programa de monitoreo en propuesta, la factibilidad de ejecución y en especial sobre el mejoramiento de la calidad de los análisis químicos. Hay severas problemas con la determinación de NT (actualmente no se realiza), PT y nutrientes. Hay que proponer la compra de un sensor de clorofila a, conversar sobre un convenio con la DIRECTEMAR y la implementación del laboratorio en Pucón etc.

Consultar Informe del proyecto Reestructuración red de monitoreo DGA

Se recomienda consultar el informe sobre la propuesta de estructuración del programa de la red mínima de monitoreo de los lagos, proyecto DGA ejecutado por la consultoría POCH. Este proyecto debe terminar en agosto 2009 y podría entregar nuevos antecedentes y conceptos sobre el monitoreo de los lagos en Chile.

Participación activa de la DIRECTEMAR en el monitoreo

Se recomienda proponer a la DIRECTEMAR de considerar la posibilidad de apoyar activamente – es decir con recursos humanos y apoyo logístico - el programa de monitoreo (especialmente también vigilancia de la zona litoral). Debe ser factible incorporar en el POAL apoyo logístico para el monitoreo del litoral.

3.4 ALGUNAS RECOMENDACIONES PARA REDUCIR EL INGRESO DE NUTRIENTES

Adicionalmente a los objetivos de este estudio se entrega aquí algunas recomendaciones para reducir el ingreso de nutrientes al lago Villarrica:

- Según los resultados presentados en el estudio, los nutrientes (N, P) que ingresan al lago provienen mayormente de los diferentes usos del suelo presentes en la cuenca del lago Villarrica. Esto significa que un control de los ingresos de nutrientes al lago, pasan necesariamente por un buen manejo de la vegetación y/o suelos de la cuenca (prácticas de buen manejo). Implica mantener zonas buffer alrededor de los márgenes del lago y los afluentes, lo que se traduce en la aplicación de la ley 20283 sobre Protección del Bosque Nativo y Fomento Forestal la cual en su Título III artículo 17 consagra que el reglamento normará la protección de los cuerpos de agua.
- Se debe restringir/fiscalizar mas la extracción de áridos en el rio Trancura, porque aumentan durante la extracción la carga de nutrientes y sedimentos al lago.
- Se debe mejorar la fiscalización de las actividades de las pisciculturas (Trancura, Molco, Correntoso etc.) y considerar la limitación de las descargas.
- Manejo de la Poza: evitar resuspensión de sedimento (restringir uso de botes, reducir velocidad en la bahía), cosecha de macrofitas (extracción de biomasa)
- Se debe considerar la construcción de una Planta de tratamiento para el pueblo Currarehue.

3.5 BORRADOR DEL ANTEPROYECTO DE NORMA SECUNDARIA PARA EL LAGO VILLARRICA

ANTEPROYECTO DE NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL PARA LA PROTECCIÓN DE LAS AGUAS DEL LAGO VILLARRICA

ANTECEDENTES GENERALES Y FUNDAMENTACIÓN:

La Constitución Política de la República de Chile, establece como deber del Estado el derecho de todos los chilenos de vivir en un ambiente libre de contaminación y la tutela por la preservación de la naturaleza. Este mandato es desarrollado en la Ley N°19.300, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y otras normativas nacionales de carácter específico entre las que destacan: el Código de Agua, la Ley de Caza N°4.601 y sus respectivos reglamentos, la Ley de Bosques N°4.363, la Ley de Pesca y Acuicultura D.S. N°430/91, el D. S. N°90/2000 que regula los contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales, el DS. N°46/2002 que norma la emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas y diversos convenios internacionales ratificados por Chile, especialmente el Convenio sobre la Diversidad Biológica.

En la actualidad, los recursos hídricos han sufrido considerables alteraciones producto de la intervención antrópica en el ambiente. Los lagos, cuyo rol es fundamental como moderadores del régimen de los ríos y que presentan un ecosistemas muy particular y valioso, ven acelerado sus procesos de eutrofización por aporte de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno, debido al mal manejo de las cuencas hidrográficas y por tal motivo, de acuerdo a diversos estudios realizados en lagos del sur de Chile, indicarían un aumento del nivel trófico en forma acelerada, entre ellos el lago Villarrica.

El Lago Villarrica pertenece a la hoya hidrográfica del río Toltén. Es un lago de origen glaciar y está ubicado a 230 m.s.n.m. (DGA-UACH, 1994). El Lago Villarrica pertenece a la cuenca del Lago Villarrica, cuenca que cubre las comunas de Curarrehue, Pucón y Villarrica. El lago tiene una superficie de 175,9 km² y una profundidad máxima de 165 m. El principal afluente del Lago Villarrica es el Río Trancura, el cual aporta casi el 90% del caudal entrante de los afluentes. El efluente del Lago Villarrica es el río Toltén, ubicado en la orilla oeste del lago.

Producto de las diversas actividades económicas desarrolladas vecinas al lago, y/o en el resto de la cuenca, está llegando al lago una importante cantidad de nutrientes y sedimentos, por lo cual, el lago está pasando de un estado de oligotrofia "bajo nivel de nutrientes y productividad" a un estado de oligo-mesotrofia debido a un aumento de la carga de nutrientes P y N.

En los procesos de origen antrópico, pueden distinguirse aquellas actividades de acción directa e indirecta. Entre las directas, esta la filtración de un sin número de

fosas sépticas de viviendas ubicadas a orilla del lago, y el turismo en menor medida (bañistas, lanchas, desechos, etc.). Por otra parte las actividades indirectas, están relacionadas con la explotación de bosque y la actividad agrícola-ganadera que producen arrastre de sólidos (escorrentía agrícola), y que aporta nutrientes y sedimentos al lago.

Dada la importancia de la zona, como uno de los polos de desarrollo turístico para la región, el valor ambiental que representan sus recursos naturales, y a la existencia de antecedentes que demuestran que dicho lago está aumentando su trofía, se solicitó la incorporación al 10º programa priorizados de normas, la elaboración de una norma secundaria de calidad ambiental para el Lago Villarrica. Lo que permitiría establecer estándares de calidad para el lago, que aseguren la conservación de sus cualidades como sitio de valor escénico, turístico y ambiental.

Estos antecedentes, sumados a la certeza de que los procesos de eutrofización se harán más rápidos en tanto se intensifique la intervención antrópica, han impulsado al Estado a iniciar acciones tendientes a vigilar el comportamiento de sus aguas. De esta manera se han establecido al menos dos programas de monitoreo permanente tales como el Programa de Observación Ambiental Litoral (POAL) de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (Directemar) del Ministerio de Defensa Nacional y la Red Mínima de Control de Lagos de la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

A continuación corresponde no sólo vigilar la calidad de las aguas del Lago Villarrica, sino que además definir los criterios legales para su gestión ambiental, de manera de contar con las herramientas legales necesarias para prevenir su contaminación y evitar su deterioro.

TITULO I

OBJETIVO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

Artículo 1º El presente decreto establece la norma secundaria de calidad ambiental de las aguas del lago Villarrica, definiendo niveles de calidad de agua (en base del estado trófico) con el objetivo de proteger o mejorar la calidad actual de las aguas del lago, lo que a su vez permitirá salvaguardar el aprovechamiento del recurso, proteger y conservar las comunidades acuáticas y los ecosistemas propios del lago, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

Artículo 2º El ámbito de aplicación territorial de la presente norma corresponde al lago Villarrica en toda su extensión.

TITULO II DEFINICIONES

Artículo 3º Para los efectos de lo dispuesto en este decreto, se entenderá por:

Area de Vigilancia: Es el curso de agua continental superficial, o parte de él, para efectos de asignar y gestionar su calidad, basada en la evaluación de su estado trófico. Dichas áreas corresponden a las establecidas en el artículo 4º de este Decreto.

Estado Trófico o de Trofia: Es la categoría de calidad que representa el estado productivo biológico determinado por la cantidad de nutrientes y la biomasa y productividad de las comunidades biológicas.

Comunidades Acuáticas: Conjunto de poblaciones biológicas que tienen en el medio acuático superficial, p.e. fitoplancton, zooplancton, zoobentos, peces, macrofitas e otros.

Programa de Vigilancia: Programa de monitoreo sistemático, destinado a medir y controlar la calidad de las aguas continentales superficiales, en las áreas de vigilancia en un período de tiempo determinado.

TITULO III

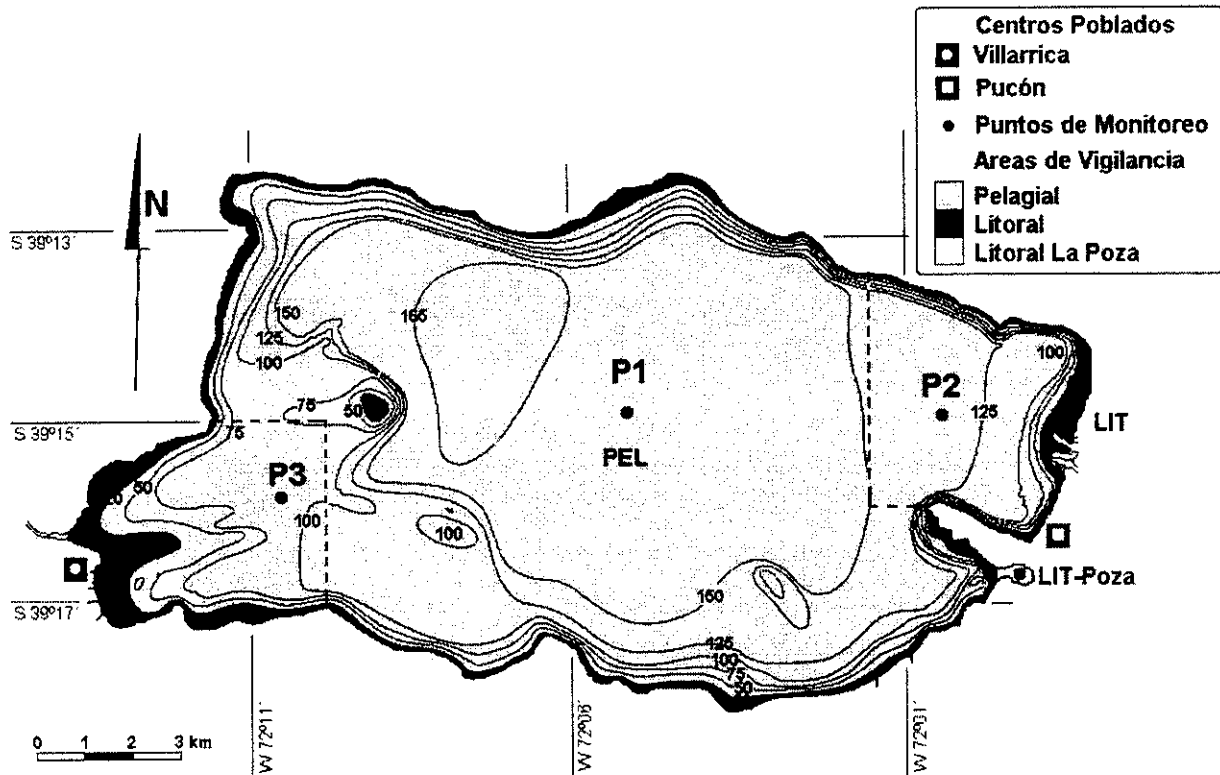
NIVELES DE CALIDAD AMBIENTAL POR ÁREAS DE VIGILANCIA

Artículo 4º Para la aplicación del presente Anteproyecto se establecen áreas de vigilancia. La delimitación y ubicación de las áreas de vigilancia se establecen en la tabla siguiente y se diagraman en la figura 1:

Tabla 1: Áreas de Vigilancia en el Lago Villarrica

ÁREA DE VIGILANCIA	UBICACIÓN Coordenadas UTM, Dátum WGS 84, Huso 18 Sur	DESCRIPCIÓN
PEL	Zona pelagial: siguiendo el veril de 20 m hacia el centro del lago	Toda el cuerpo de agua pelágico, definido como la zona del lago con una profundidad máxima superior a 20 m.
LIT	Zona Litoral: siguiendo el veril de 20 m hacia la orilla del lago	Toda el cuerpo de agua litoral, definido como la zona ribereña del lago con una profundidad similar o inferior a 20 m, excepto la bahía La Poza
LIT-Poza	Zona litoral-Poza N: 5.648.660 E.: 243.394	Todo el cuerpo de agua de la bahía La Poza.

Figura 1: Representación de las Áreas de Vigilancia en el lago Villarrica



Artículo 5° Para la protección de la calidad de las aguas y para la mantención del estado trófico del lago Villarrica, se establecen los siguientes niveles para cada una de las áreas de vigilancia definidas en el artículo anterior.

Tabla 2: Niveles de Calidad por Áreas de Vigilancia en el Lago Villarrica
 * es la suma de N-nitrato + N-nitrito + N-amonio

	UNIDAD	Rango	Área de vigilancia		
			PEL	LIT	LIT-Poza
Trofia deseada			Oligotrófico	Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico
Transparencia (Secchi)	m	Promedio anual Mínimo	≥ 9 ≥ 5	≥ 7 ≥ 4	≥ 7 ≥ 4
P disuelto (0-fondo)	mg P/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,010$ $\leq 0,015$		$\leq 0,015$ $\leq 0,025$
P total (0-fondo)	mg P/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,010$ $\leq 0,015$		$\leq 0,015$ $\leq 0,025$
Saturación Oxígeno disuelto (0-fondo)	%	Mínimo	≥ 80		≥ 70
N disuelto * (0-fondo)	mg N/l	Promedio anual Máximo	$< 0,10$ $\leq 0,15$		$\leq 0,15$ $\leq 0,30$
N total (0-fondo)	mg N/l	Promedio anual Máximo	$\leq 0,15$ $\leq 0,20$		$\leq 0,15$ $\leq 0,30$
Clorofila "a" (0-30 m)	$\mu\text{g/l}$	Promedio anual Máximo	≤ 3 ≤ 6		≤ 5 ≤ 10
Algas (0-30 m)	mg Peso humedo/l		$\leq 1,5$		
Macrófitos (0-20m)	Indicación			Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico
<i>Diplodon chilensis</i> (0-20m)	Indicación			Oligo-mesotrófico	Oligo-mesotrófico

TITULO IV

CUMPLIMIENTO E INFORME DE CALIDAD

Artículo 6º: Una vez al año la Comisión Regional del Medio Ambiente, elaborará un informe público sobre los resultados del plan de monitoreo.

Artículo 7º. El cumplimiento de las normas contenidas en el presente Anteproyecto deberá verificarse en base al Informe de Calidad, según los datos obtenidos en cada una de las áreas de vigilancia, de acuerdo al Programa de Vigilancia.

Artículo 8°. Se declara una zona latente en el área PEL en los siguientes casos:

- Cuando durante dos años consecutivos se sobrepasa los límites del promedio anual de clorofila a y uno o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, saturación de oxígeno
- Cuando durante dos años consecutivos se sobrepasa los límites del valor máximo de clorofila a y dos o mas de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno.
- Cuando se sobre pasan tres veces durante cinco años cualquier valor permitido de clorofila a y uno o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, saturación de oxígeno

Artículo 9°. Se declara una zona saturada en el área PEL en los siguientes casos:

Se declara una zona saturada en los siguientes casos:

- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del promedio anual de clorofila a por el factor dos
- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del promedio anual de clorofila a y dos o mas de los siguientes parámetros: P total , Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno
- Cuando durante tres años consecutivos o tres veces durante cinco años se sobrepasan los límites del valor máximo de clorofila a y tres o más de los siguientes parámetros: P total, Secchi, N total, P disuelto, N disuelto, saturación de oxígeno.
- Cuando la saturación de oxígeno sobre el fondo sea menor que 50% durante un año

Artículo 10°. Se declara una zona latente en el área LIT cuando los bioindicadores indican una trofia mesotrófico o medianamente alterada. Cuando indica una zona eutrófica o muy alterada, se declara esta zona como saturada.

Artículo 11° Se declara una zona latente o saturada en el área LIT-POZA de acuerdo con las indicaciones para la zona PEL y LIT descritas en los artículos anteriores.

TITULO VI

PROGRAMA DE VIGILANCIA

Artículo 12 °. El monitoreo de la calidad del agua del lago Villarrica para el control de estas normas deberá efectuarse de acuerdo a un Programa de Vigilancia, el cual será elaborado por la Dirección General de Aguas y la Dirección General de Territorio Marítimo, en coordinación con la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

Artículo 13 °. Este Programa de Vigilancia deberá ser aprobado por resolución de las autoridades señaladas en el inciso anterior. Dicho documento será de conocimiento

público y en el se indicarán, a lo menos, los parámetros que sean representativos del área de vigilancia, las estaciones de monitoreo de calidad de aguas, las frecuencias mínimas de monitoreo, las responsabilidades y las metodologías analíticas seleccionadas para cada parámetro a monitorear.

Artículo 14 °. El Programa de Vigilancia incluye además parámetros adicionales a los establecidos en las presentes normas como mínimo la temperatura, el pH y la conductividad eléctrica en toda la columna de agua. Adicionalmente el Programa de Vigilancia podrá incorporar parámetros adicionales, así como también nuevas estaciones de monitoreo de calidad de aguas con la finalidad de generar información para revisiones futuras de las normas, pudiendo incluirse también el uso de bioensayos, bioindicadores o ambos, como herramientas complementarias para determinar los efectos de la calidad del agua en las comunidades acuáticas.

Artículo 15 °. Las mediciones obtenidas con anterioridad a la aprobación del Programa de Vigilancia podrán ser válidamente usadas para el control de la norma cuando cumplan con los requisitos exigidos en el Título VII del presente Anteproyecto.

TÍTULO VI METODOLOGÍAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS

Artículo 16 El monitoreo se efectuará de acuerdo a los métodos de muestreo y condiciones de preservación de muestras establecidos en las normas chilenas oficiales y de acuerdo con los Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 21 edition 2005. APHA-AWWA-WPCF.

IDENTIFICACIÓN	TÍTULO DE LA NORMA
NCh411/1.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo.
NCh411/2.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh411/3.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
NCh411/4.Of96	Calidad del agua – Muestreo – Parte 4: Guía para el muestreo de lagos naturales y artificiales.

Artículo 16° La determinación de los compuestos o elementos incluidos en estas normas podrá efectuarse de acuerdo a los métodos analíticos que se indican a continuación, o a sus versiones actualizadas.

PARAMETRO	METODOLOGÍA
Transparencia	Disco Secchi (Ø mínimo 30 cm)
Oxígeno Disuelto	4500-O G. Membrane Electrode Method

Fósforo soluble reactivo	4500-P E. Ascorbic Method 4500-P F. Automated Ascorbic Reduction Method. 4500-P G. Flow Injection Method for Orthophosphate
Fósforo Total	4500-P H. Manual Digestion and Flow Injection Analysis for Total Phosphorus 4500-P I. In-line UV/Persulfate Digestion and Flow Injection Analysis for Total Phosphorus 4500-P J. Persulfate Method for simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus
Amonio	4500-NH3 F. Phenate Method 4500-NH3 G. Automated Phenate Methods 4500-NH3 H. Flow Injection Analysis
Nitrito	4500-NO2 B Colorimetric Method 4110 Determination of Anions by Ion Chromatography
Nitrato	4500-NO3 E. Cadmium Reduction Method 4500-NO3 F Automated Cadmium Reduction Method 4500-NO3 I Cadmium Reduction Flow Injection Method 4110 Determination of Anions by Ion Chromatography
Nitrógeno Total	4500-N C. Persulfate Method 4500-P J. Persulfate Method for simultaneous determinationj of total nitrogen and total phosphorous
Clorofila "a"	10200 H. Chlorophyll
D.Q.O.	5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method
Fitoplancton	100200 B. Sample Collection 100200 F. Phytoplankton Counting Techniques
Macrofitas	100400 C. Vegetation Mapping Methods 100400 D. Population estimates
Zoobentos (Diplodon)	100500 B. Sample Collection 100500 C. Sample Processing and Analysis

Artículo 17° Para los casos en que exista más de una metodología para determinar un parámetro, según lo establecido en el artículo anterior, se permite elegir el método a utilizar más conveniente para cumplir con los requerimientos analíticos necesarios para monitorear los parámetros con la más alta sensibilidad posible.

4. CONCLUSIONES

Los objetivos generales y específicos de este estudio fueron los siguientes:

Objetivo General

2.1.1.- Evaluar los **aspectos hidrodinámicos y limnológicos** del lago Villarrica, enfocado a la comprensión de aquellos fenómenos más importantes relacionados con la calidad del agua y utilizarlos en la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el Lago Villarrica.

2.1.2.- Proponer un anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad de las Aguas para el Lago Villarrica que contemple las zonas de vigilancia y respectivo programa de monitoreo de acuerdo a parámetros físicos, químicos y biológicos.

2.2.- Objetivos específicos

2.2.1.- Definir la base de datos para el lago Villarrica.

2.2.2.- Actualizar y validar la base de datos del Lago Villarrica.

2.2.3.- Determinar el balance de nutrientes, carga crítica y su comparación con la carga actual del Lago.

2.2.4.- Proponer recomendaciones y Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el lago Villarrica que incluya áreas de vigilancia y su programa de monitoreo.

Los resultados y conclusiones principales de este estudio son:

- Se confeccionó una base de datos en formato Excel utilizando los datos de la DGA, de la UACH y de la Directemar.
- Se actualizó y validó esta base de datos con los datos de la DGA y de este estudio. Durante la evaluación de la calidad de los datos se encontraron varios problemas (principalmente analíticos), especialmente con los parámetros tróficos como los nutrientes y fósforo y nitrógeno total. P.e., habían en varios casos valores de los nutrientes mas altos que los valores totales del elemento (N o P). En consecuencia se eliminaron los datos identificados como erróneos o muy dudosos de la base de los datos utilizando métodos estadísticos y empíricos.

- La comparación de los datos entre las estaciones de la DGA reveló prácticamente ninguna diferencia significativa entre las estaciones para los parámetros tróficos (con algunas excepciones de la estación La Poza).
- El estudio de la calidad del agua en el centro del lago reveló todavía un estado oligotrófico.
- La evaluación de los datos de la DGA reveló una alteración notable del estado de calidad del agua en la bahía La Poza. Esta ya muestra un estado mesotrófico con tendencia a eutrofia.
- El balance de carga estimada y medida para el lago Villarrica fue 330 TON P y 1103 N TON por año. La mayor parte de la carga proviene del uso de suelos en la cuenca.
- Para el lago Villarrica se estimó una carga crítica para P total, que fue calculado en 70-120 TON P/año para conservar la concentración de P total bajo 0,010 mg P/l. En base de una relación N:P de 7 : 1 (por peso) se puede estimar una carga crítica de entre 490 y 840 TON N/año para el lago. Comparando estas cargas críticas con las cargas estimadas en este estudio, se puede concluir, que en el caso de P la carga actual exceda por casi tres veces, la de N por aprox. 1,4 – 2,2 veces la carga crítica estimada.
- Se presentó un anteproyecto de la Norma Secundaria con indicaciones y fundamentación de las áreas de vigilancia, los parámetros y límites normados, la forma de evaluación del cumplimiento de la norma, la metodología y el programa de monitoreo.

Literatura

- Campos, H. et al. (1983). Limnological studies in Lake Villarrica. Morphometric, physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. Arch. Hydrobiol. Suppl. 65 (4): 371-406.
- Caputo, L., L. Naselli-Flores, J. Ordoñez & J. Armengol. (2008). Phytoplankton distribution along trophic gradients within and among reservoirs in Catalonia (Spain). Freshwater Biology 53: 2543-2556.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography 22(3): 361-369.
- Dillon, P.J., F.H. Rigler. (1975). A simple method for predicting the capacity of a lake for development base on lake trophic status. J.Fish.Res.Board Can. 32:1519-1531.
- Hauenstein, E., C. Ramirez, M. Gonzales, C. San Martin. (1991-1992). Comparación de la flora macrofítica de tres lagos del centro-sur de Chile (Budi, Llanquihue y Cayutué). Revista Geográfica de Valparaíso 22-23: 166-185.
- Hauenstein, E., C. Ramirez, M. Gonzales, L. F. Leiva, C. San Martin. (1996). Flora hidrófila del Lago Villarrica (IX Región, Chile) y su importancia como elemento indicador de contaminación. Medio Ambiente 13(1): 88-96.
- Hauenstein, E., M. González, L. Leiva & L. Falcón. (1999). Flora de macrófitos y bioindicadores del lago Budi (IX Región, Chile). Gayana Botánica 56: 53-62.
- Hauenstein, E., M. González, F. Peña-Cortés & A. Muñoz-Pedrerros. (2002). Clasificación y caracterización de la flora y vegetación de los humedales de la costa de Toltén (IX Región, Chile). Gayana Botánica 59: 87-100.
- Hauenstein, E., M. González, F. Peña-Cortés & L. Falcón (2005). Plantas indicadoras de eutrofización en lagos del sur de Chile. En: Eutrofización de Lagos y Embalses (Eds. I. Vila & J. Pizarro), pp. 119-133. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED – Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Hauenstein, E., F. Peña-Cortés, C. Bertrán, J. Tapia & R. Schlatter. (2008). Comparación florística y estado trófico basado en plantas indicadoras de lagunas costeras de la región de La Araucanía, Chile. Ecología Austral 18:43-53.
- IGKB - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. (2004). Der Bodensee, Bilanz, 185 pag.
- Lara, G. & Parada, E. (2008). Mantención del patrón de distribución espacial, densidad y estructura de tamaños de la almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* Gray, 1828 (Bivalvia: Hyriidae) en el Lago Panguipulli, Chile. Gayana, 72: 45–51.
- Lara, G. & Parada, E. (2009). Substrate selection by the freshwater mussel *Diplodon chilensis* (GRAY, 1828): Field and laboratory experiments. Journal of Molluscan Studies 75: 153–157.
- Lehmann, A. & J-B. Lachavanne. (1999). Changes in the water quality of Lake Geneva indicated by submerged macrophytes. Freshwater Biology. 42: 457-466.
- Meruane, C. (2005). El efecto del viento puelche sobre la hidrodinámica y calidad de aguas del lago Villarrica. Tesis Universidad de Chile, 137 páginas.
- Neumann, U., V. Campos, S. Cantarero, H. Urrutia, R. Heinze, J. Weckesser, M. Erhard. (2000). Co-occurrence of non-toxic (cyanopeptolin) and toxic (microcystin) peptides in a bloom of *Microcystis* sp. from a Chilean lake. Syst Appl Microbiol. 23(2):191-197.

- Organization For Economic Co-Operation And Development (OECD). (1982). Eutrophication Of Waters. Monitoring, Assessment And Control. 156 pp.
- San Martin, C., C. Ramirez & M. Alvarez. (2003). Macrofitas como bioindicadores: una propuesta metodológica para caracterizar ambientes dulceacuícolas. *Revista Geográfica de Valparaíso* 34: 243-253.
- Schmieder, K. (1997). Littoral zone – GIS of Lake Constance: a useful tool in lake monitoring and autecological studies with submerged macrophytes. *Aquat. Bot.* 58: 333-346.
- Schmieder, K. (2004)a. European lake shores in danger – concepts for a sustainable development. *Limnologica* 34, 3–14.
- Schmieder, K. & Lehmann, A. (2004)b. A spatio-temporal framework for efficient inventories of natural resources: A case study with submersed macrophytes. *Journal of Vegetation Science* 15: 807-816.
- Steffen R., W. (1995). Caracterización hidrodinámica preliminar del lago Villarrica. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Universidad Austral de Chile, Instituto de Zoología.
- Valdovinos, C., P. Pedreros (2007). Geographic variations in shell growth rates of the mussel *Diplodon chilensis* from temperate lakes of Chile: Implications for biodiversity conservation. *Limnologica* 37: 63–75.
- Vollenweider, R.A. and J.J. Kerekes. (1980). Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In: p. 25-36. In: *Proceedings of the International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/5-81-010.

ANEXO 1

Ejemplo de un índice de Trofia – el Índice TSI según Carlson (1977)

A nivel internacional, especialmente en Estados Unidos, se usa mucho el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI: Trophic state index) (1977). Este índice se desarrollo para lagos que tienen relativamente pocos macrofitas y donde la transparencia del agua varía con la biomasa de las algas (o sea la turbiedad esta causada por las algas), donde limita P y donde las algas se desarrollen solamente en verano. Este índice permite comparar fácilmente lagos con características similares. Se calcula un mismo índice asociando al estado trófico usando los tres parámetro interrelacionados entre ellos: Disco Secchi (transparencia), clorofila a y P-Total según las siguientes formulas:

$$\begin{aligned} \text{TSI (DS)} &= 60 - 14,41 * \ln \text{DS} \\ \text{TSI (Cla a)} &= (9,81 * \ln \text{cla a}) + 30,6 \\ \text{TSI (PT)} &= 10 [6 - (\ln (48/\text{PT}) / \ln 2)] \end{aligned}$$

Donde:

TSI = índice de Estado Trófico de Carlson (Trophic state index)

DS = Profundidad Secchi en metros

Cla a = clorofila en $\mu\text{g/L}$

PT = P-Total en $\mu\text{g/L}$

La clasificación de la trófia entonces se hace según la siguiente tabla:

Tabla A1 Clasificación de la trofia según TSI de Carlson

TSI	Chl ($\mu\text{g/L}$)	SD (m)	TP ($\mu\text{g/L}$)	Trofia, descripción
<30	<0,95	>8	<6	Oligotrofia: agua transparente, muy buena oxigenación en el hipolimnion
30-40	0,95 – 2,6	8 – 4	6 – 12	Oligo-Mesotrofia: aumenta productividad primaria
40 – 50	2,6 – 7,3	4-2	12 - 24	Mesotrofia: disminución de la transparencia, algas aumenten, oxigenación en hipolimnion puede disminuir durante el verano
50 – 60	7.3 - 20	2-1	24 - 48	Eutrofia: Algas abundan-tes, problemas con oxigenación en el hipolimnion
60 – 70	20 - 56	0,5-1	48 - 96	Algas azules dominan, muchas macrofitas
				Hipereutrofia: luz limita crecimiento de algas, abundantes macrófitos, anoxía en hipolimnion

Evaluación de los Índices TSI

Ya que los tres índices están interrelacionados entre ellos, deberían entregar el mismo valor. Por lo tanto, teóricamente cada uno de los índices puede ser usado para la clasificación de la trofía. Sin embargo, se otorga al TSI de clorofila a prioridad, porque es el parámetro es el mejor para predecir la biomasa de las algas. Por otro lado, si los TSI de los tres parámetros no coinciden, indica según la siguiente tabla condiciones diferentes a las condiciones en las cuales están basados los índices (ver arriba):

Tabla A2 Relaciones de los TSI y condiciones indicativas de estas

Relaciones entre variables del TSI	Condiciones
$TSI(Chl) = TSI(TP) = TSI(SD)$	Algas dominan luz; $TN/TP \sim 33:1$
$TSI(Chl) > TSI(SD)$	Partículas grandes, p.e. grandes algas azules o diatomeas grandes dominan
$TSI(TP) = TSI(SD) > TSI(Chl)$	Partículas que no son algas dominan la luz
$TSI(SD) = TSI(Chl) > TSI(TP)$	P limita la biomasa de algas ($TN/TP > 33:1$)
$TSI(TP) > TSI(Chl) = TSI(SD)$	Algas dominan la penetración de luz, pero otro factor (p.e. nitrógeno, pastoreo de zooplancton, toxinas etc.) limitan la biomasa algal

En las siguientes dos figura se muestra como ejemplo los TSI para todas las estaciones en el lago Villarrica desde 2003. Se observa que el TSI PT es casi siempre mayor que el TSI Chl a y el TSI Secchi, que indicaría que otros factores (que no sea P) limitan la biomasa algal, p.e el nitrógeno o la luz.

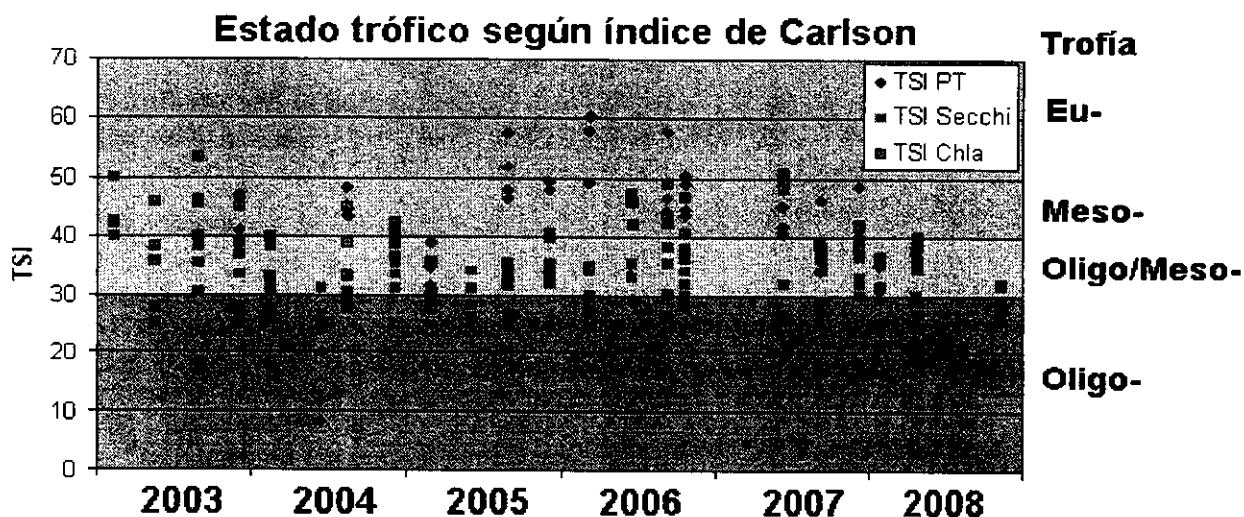


Fig. A1 Índice de Carlson aplicado al Lago Villarrica (promedio 0-30 m, todas las estaciones de la red de monitoreo de la DGA)

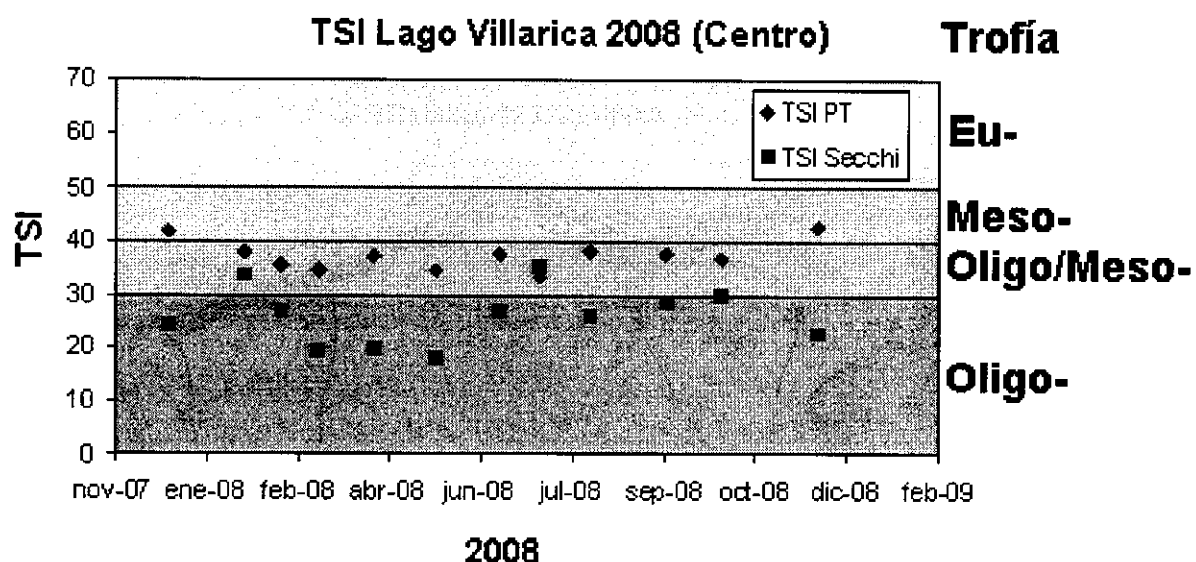


Fig. A2 Índice de Carlson aplicado al Lago Villarica, estación centro (promedio 0-30 m). Datos de este estudio

ANEXO 2

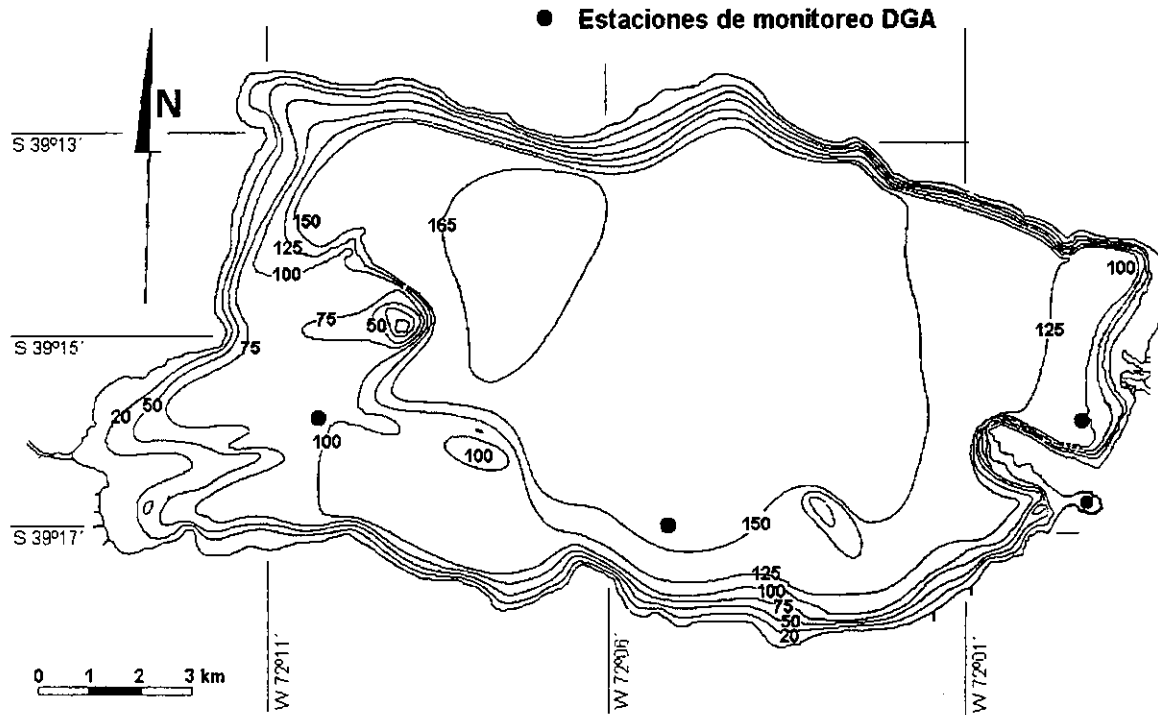


Fig. A3. Estaciones de monitoreo actuales de la DGA en el lago Villarrica

ANEXO 3

ASIGNACION DE AREAS Y VOLUMENES DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO PROPUESTAS PARA EL LAGO VILLARRICA

Tabla A3 Áreas de influencia próximas a las dos estaciones P2 y P3 y de tamaño reducido (líneas de trazos)

Estaciones	Área superficial		Volúmenes	
	(Km ²)	%	Km ³	%
P1	125,5	77,0	15,875	84
P2	18,64	11,4	1,865	10
P3	19,0	11,6	1,121	6
Total Lago	163,14	100,0	18,861	100,0

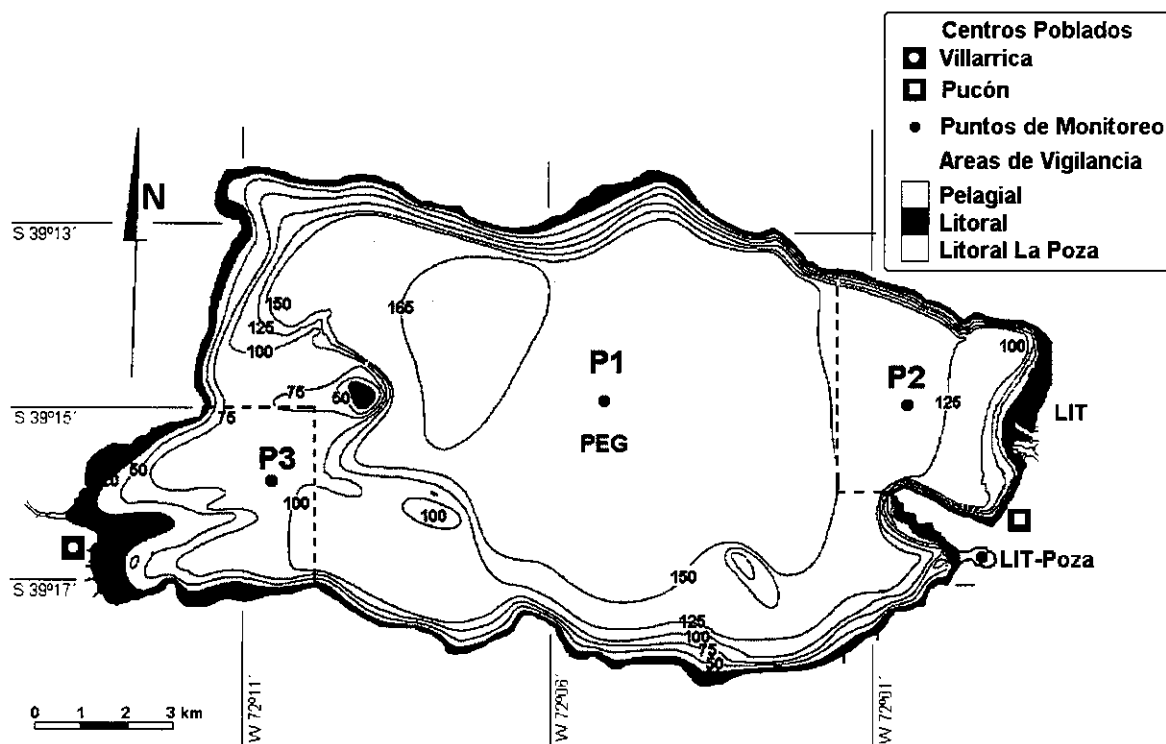


Fig. A4 Mapa del lago Villarrica con las sectorizaciones propuestas