



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS F I P**

FIP - IT / 99 - 26

INFORME : DETERMINACION DE LA CAPACIDAD  
FINAL : DE CARGA DEL LAGO SOFIA EN LA  
XII REGION

UNIDAD : UNIVERSIDAD DE MAGALLANES  
EJECUTORA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES  
PUNTA ARENAS-CHILE**

**INFORME FINAL**

**PROYECTO**

**DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CARGA DEL  
LAGO SOFIA EN LA XII REGION**

**presentado a:  
FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA**

**Abril, 2001**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES  
PUNTA ARENAS-CHILE

**INFORME FINAL**

**PROYECTO**

**DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CARGA DEL**

**LAGO SOFIA EN LA XII REGION**

**FIP 99-26**

**CONTRATO:**  
**FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA (FIP)**  
**SUBSECRETARIA DE PESCA,**  
**MINISTERIO DE ECONOMIA, FOMENTO Y RECONSTRUCCION**  
**Y**  
**UNIVERSIDAD DE MAGALLANES**

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:**

**Mag. Juan I. Cañete**

**COINVESTIGADORES**

**Dr. Mathias Gorny**

**Ing. Qco. Arturo Kuntsmann**

**Mag. Botánica Orlando Dollenz**

**Ing. Acuic. Fredy Carrasco**

**COLABORADORES**

**Biol. Mar. Mario Santana**

**Ing. Quím. María Rosa Gallardo**

**Bioq. Lorena Saragoni**

**Tec.Univ.Acuic. Mauricio Palacios**

**Francisco Carrasco (Buzo)**

**Punta Arenas, Chile, Abril de 2001**

## INDICE GENERAL

OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	1
ANTECEDENTES.....	2
METODOLOGIA DE TRABAJO.....	4
<b>RESULTADOS:</b>	
CAPITULO N° 1: ANTECEDENTES DEL LAGO SOFIA.....	31
CAPITULO N° 2: USO DEL SUELO Y CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS.....	38
CAPITULO N° 3: INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES.....	54
CAPITULO N° 4: EXPORTACION DE NUTRIENTES POR LOS EFLUENTES.....	60
CAPITULO N° 5: INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIONES Y BALANCE HIDRICO EN LA CUENCA DEL LAGO SOFIA.....	64
CAPITULO N° 6: INGRESO DE N Y P TOTAL AL LAGO SOFIA POR EL CENTRO DE CULTIVO.....	71
CAPITULO N° 7: CUANTIFICACION DE LA PRODUCCION DE PECES SALMONIDEOS EN EL LAGO SOFIA.....	77
CAPITULO N° 8: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO SOFIA.....	85
CAPITULO N° 9: CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO SOFIA (MUESTREO INTENSIVO).....	106
CAPITULO N°10: OTRAS FUENTES PROBABLES DE ENRIQUECIMIENTO DEL LAGO SOFIA.....	112
CAPITULO N°11: BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO TOTAL DEL LAGO.....	115
CAPITULO N°12: DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CARGA EN TERMINOS DE STOCK CULTIVABLE DE SALMONES EN EL LAGO SOFIA Y CAPACIDAD DE CULTIVO.....	129
CAPITULO N°13. MODELO DE SIMULACION DE FOSFORO Y NITROGENO APORTADO POR CENTROS DE CULTIVO DE SALMONIDEOS.....	134
CAPITULO N°14: SELECCION DE AREAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO.....	141
CAPITULO N°15: ANALISIS DE PRODUCTOS QUIMIOTERAPEUTICOS EN PECES CULTIVADOS Y SEDIMENTOS DEL LAGO SOFIA.....	168
CAPITULO N°16: MACROBENTOS LAGO SOFIA.....	175
CAPITULO N°17: ZOOPLANCTON LAGO SOFIA.....	180
CAPITULO N°18 FITOPLANCTON DEL LAGO SOFIA.....	182
CAPITULO N°19: FILMACION SUBACUATICA COMO MEDIO DE DESCRIPCION DEL FONDO BAJO BALSAS JAULAS Y SITIO CONTROL.....	187
CAPITULO N°20: LA ROTACION DE AREAS COMO ESTRATEGIA DE MANEJO PARA DESARROLLAR SOSTENIDAMENTE LA SALMONICULTURA EN LAGOS.....	190
<b>CONCLUSIONES</b> .....	196
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	204

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.-</b> Parámetros morfométricos del lago Sofia, XII Región, Chile.....	33
<b>Tabla 2.-</b> Superficie (hectáreas) de diferentes unidades de paisaje generadas a partir de la imagen satelital Landsat.....	44
<b>Tabla 3.-</b> Superficie (hectáreas) cubiertas por cada una de las unidades vegetacionales identificadas en cada una de las tres subcuencas asociadas al Lago Sofia.....	45
<b>Tabla 4.-</b> Composición florística identificada en cada una de las unidades de suelos y/o geomorfológicas existentes alrededor de la cuenca del lago Sofia.*= especies introducidas.....	45
<b>Tabla 5.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Río Rivas. Lago Sofia. XII Región, Chile.....	56
<b>Tabla 6.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo A, Lago Sofia, XII Región, Chile.....	57
<b>Tabla 7.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo C, Lago Sofia, XII Región, Chile.....	57
<b>Tabla 8.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo D, Lago Sofia, XII Región, Chile.....	58
<b>Tabla 9.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo E, Lago Sofia, XII Región, Chile.....	58
<b>Tabla10.-</b> Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo F, Lago Sofia, XII Región, Chile.....	59
<b>Tabla11.-</b> Parámetros morfométricos. físicos y químicos del río Sofia. del Lago Sofia. XII Región. Chile.....	63
<b>Tabla12.-</b> Variación mensual (1999-2000) de los aportes de agua por precipitación en el lago Sofia. En negritas meses en que se efectuaron las campañas de muestreo.....	68
<b>Tabla13.-</b> Aportes mensuales (m <sup>3</sup> ) de Chorrillos al lago Sofia, XII Región, Chile.....	68
<b>Tabla14.-</b> Aportes mensuales del río Rivas al lago Sofia, XII Región, Chile.....	68
<b>Tabla15.-</b> Descargas mensuales del río Sofia al lago Sofia, XII Región, Chile.....	68
<b>Tabla16.-</b> Pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del lago Sofia, Bandeja de evaporación perpendicular tipo A.....	69
<b>Tabla17.-</b> Variación temporal del volumen (m <sup>3</sup> ) de agua del lago Sofia.....	69
<b>Tabla18.-</b> Variación total de los Componentes del balance hídrico del Lago Sofia, (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ).....	69
<b>Tabla19.-</b> Características de tamaño y composición química de los alimentos extruidos producidos por la empresa Alitec Ltda. (Golden Activa) y que son utilizados en la alimentación de salmónidos en la fase de agua dulce en el lago Sofia por parte de la empresa Acuimag S.A. Análisis de N y P total realizado en TECNOLAB S.A. (Examen N° 4555-PA del 2 de noviembre de 1999).....	74
<b>Tabla20.-</b> Composición química de cuatro tipos de alimento producidos por la empresa Alitec Ltda (información aportada por la empresa Alitec S.A.al Sr.Fredy Carrasco).....	75
<b>Tabla21.-</b> Contenido de P y N total en muestras de trampas de sedimento ubicadas entre el 15 de diciembre, 1999 y el 15 de enero, 2000 en dos estaciones del lago Sofia: Estación 1, centro de cultivo de salmones; Estación 2, estación control.....	75
<b>Tabla22a.-</b> Variación temporal del contenido de N total en los sedimentos del lago Sofia. St 1 representa sitio del centro de cultivo de salmones. # datos obtenidos en la St 1B; datos restantes de la St 1.....	75
<b>Tabla22b.-</b> Variación temporal del contenido de P total en los sedimentos del lago Sofia. St 1 representa sitio del centro de cultivo de salmones. # datos obtenidos en la St 1B; datos restantes de la St 1.....	76
<b>Tabla23.-</b> Producción de peces cultivados en el Lago Sofia, provincia de Ultima Esperanza, XII región, Chile, entre 1991 y 1999 por parte de la empresa Acuimag S.A. FC= Factor de Conversión del alimento.....	81
<b>Tabla24.-</b> Producción anual de smolts (1999-2000) de tres especies de salmónidos cultivados por la empresa Acuimag S.A. en el lago Sofia, XII Región, Chile.....	82
<b>Tabla25.-</b> Estadística de peces por balsa.....	82
<b>Tabla26.-</b> Dinámica semanal (31 julio al 6 de agosto) de la densidad, mortalidad, peso promedio de los peces y aporte semanal de alimento ofertado a smolts de dos especies de salmónidos (Salmón Atlántico, SA, y Trucha Arco Iris, TA183	
<b>Tabla27.-</b> Concentración de N total (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	92
<b>Tabla28.-</b> Concentración de NO <sub>3</sub> (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	93
<b>Tabla29.-</b> Concentración de NO <sub>2</sub> (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	94
<b>Tabla30.-</b> Concentración de Amonio (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	95
<b>Tabla31.-</b> Concentración de P total (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	96

<b>Tabla32.-</b> Concentración de PO <sub>4</sub> (µg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. ....	97
<b>Tabla33.-</b> Variación de la Temperatura (°C) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. ....	98
<b>Tabla34.-</b> Variación del pH a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	99
<b>Tabla35.-</b> Variación de la Conductividad (µS/cm) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. ....	100
<b>Tabla36.-</b> Variación del Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> ) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. ....	101
<b>Tabla37.-</b> Variación del Color (unid.Pt/Co) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	102
<b>Tabla38.-</b> Variación de la Turbidez (mg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	103
<b>Tabla39.-</b> Variación del Seston (mg/l) a nivel superficial del lago(0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.....	104
<b>Tabla40.-</b> Variación de la Transparencia (m) del lago.....	105
<b>Tabla41.-</b> Estimación de áreas del lago enriquecidas con diferentes niveles de P total y N total presentes en sedimentos. ....	108
<b>Tabla42.-</b> Estimación porcentual de P y N total presente en ST 1 (antiguo) y ST1B (nuevo).....	109
<b>Tabla43.-</b> Antecedentes dotación animal en cinco predios localizados en las riberas del lago Sofia (información aportada por el SAG, nov, 99).....	114
<b>Tabla44.-</b> Variables utilizadas para estimar los aportes de nutrientes provenientes de las aguas residuales en la cuenca del lago Sofia.....	114
<b>Tabla45.-</b> Lago Sofia (Fósforo total).....	126
<b>Tabla46.-</b> Concentraciones de Fósforo Total en afluentes al Lago Sofia (ton/mes).....	126
<b>Tabla47.-</b> Variables consideradas para realizar los cálculos de los aportes de nutrientes (P y N) provenientes de las aguas residuales en la cuenca del lago.....	126
<b>Tabla48.-</b> Concentraciones de Fósforo Total en efluentes (Río Sofia) al Lago Sofia (ton/mes).....	126
<b>Tabla49.-</b> Carga interna de fósforo total en el lago Sofia.....	127
<b>Tabla50.-</b> Lago Sofia ( Nitrógeno total).....	127
<b>Tabla51.-</b> Concentraciones de Nitrógeno total afluentes al lago Sofia (ton/mes).....	127
<b>Tabla52.-</b> Concentraciones de Nitrógeno total efluentes (Río Sofia)al lago Sofia (ton/mes).....	127
<b>Tabla53.-</b> Carga interna de nitrógeno total en el lago Sofia.....	128
<b>Tabla54.-</b> Aportes de Fósforo total y Nitrógeno total al lago Sofia.....	133
<b>Tabla55.-</b> Diferentes rangos de capacidad de producción en el lago Sofia.....	137
<b>Tabla56.-</b> Simulación de requerimientos alimenticios, producción de desechos y nutrientes(N y P) en relación con diferentes niveles de producción en el lago.....	138
<b>Tabla57.-</b> Contribución porcentual (teórica) de los aportes de la piscicultura a la carga total de nutrientes (P y N) según los diferentes niveles de producción, en el lago.....	138
<b>Tabla58.-</b> Distribución batimétrica por rango de profundidad, cobertura espacial abarcada y su contribución porcentual en el lago Sofia, XII Región, Chile.....	150
<b>Tabla59.-</b> Composición granulométrica de los sedimentos del lago Sofia, y estimación de la cobertura espacial abarcada por cada tipo de partícula. Obtención de muestras realizadas en enero, 2000(Fig.14). Valores expresados según escala de Wenworth (1922). ....	150
<b>Tabla60.-</b> Determinación de la carga hidráulica del Lago Sofia, XII Región.....	151
<b>Tabla61.-</b> Variables y rangos de valores normados para clasificar la calidad ambiental de lagos tomada de: Anteproyecto de norma de calidad para la protección de las aguas continentales superficiales de CONAMA).....	151
<b>Tabla62.-</b> Datos de DBO <sub>5</sub> de muestras de aguas superficiales someras del lago Sofia, XII Región, Chile. Muestras tomadas el 26 de enero, 2000, y analizadas por la empresa Hidrolab a solicitud de la empresa Acuimag S.A.....	151
<b>Tabla63.-</b> Lista de productos quimioterapéuticos utilizadas en la acuicultura nacional (modificado de Prado 1999). (*) Productos analizados en este estudio en carne de salmónidos, (**) Productos analizados en este estudio en sedimentos bajo las balsas jaulas del lago Sofia. En negritas (productos 50-53) se indican quimioterapéuticos analizados por el laboratorio de la U. de Chile y en el de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso en forma rutinaria que no aparecen en el listado de Prado (1999).....	172

<b>Tabla64.-</b> Análisis de productos quimioterapéuticos en carne de tres especies de salmónidos cultivados en el lago Sofía en el lapso 1999-2000. Análisis efectuados en el Laboratorio de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Chile. En cada oportunidad se envió entre 200 y 300 g de muestra de peces.....	173
<b>Tabla65.-</b> Resultados análisis de productos quimioterapéuticos en sedimentos del Lago Sofía en dos meses del año 2000. St 1A fue utilizada entre 1990 y febrero, 2000 como sitio de emplazamiento del centro de cultivo; St 1B representa un nuevo sitio de emplazamiento de las balsas, desde febrero, 2000.....	173
<b>Tabla 66.-</b> Vida media ( $T_{1/2}$ días) de algunos productos quimioterapéuticos utilizados en la salmonicultura mundial y en Chile.....	174
<b>Tabla67.-</b> Composición taxonómica, abundancia (individuos) y biomasa (g) de la macrofauna bentónica del lago Sofía. Muestreos efectuado entre septiembre, 1999 y agosto, 2000, durante seis campañas de muestreo, considerando la toma de 8 muestras en cada campaña.....	176
<b>Tabla68.-</b> Resultados obtenidos para cada una de las campañas de muestreo. Fecha Muestreo: Septiembre, 1999 (Indiv 0,0225 m <sup>-2</sup> ). Estación 1A se localiza centro de cultivo (destacado en negrita).....	177
<b>Tabla69.-</b> Composición taxonómica del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.....	181
<b>Tabla70.-</b> Variación espacial y temporal de la abundancia del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.....	181
<b>Tabla71.-</b> Variación espacial y temporal de la biomasa del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.....	181
<b>Tabla72.-</b> Variabilidad temporal de fitoplancton del lago Sofía en la XII Región de Chile .....	184
<b>Tabla73.-</b> Composición taxonómica y abundancia del fitoplancton del lago Sofía, XII Región, Chile, en distintos estratos de profundidad durante dos campañas de muestreo (mayo y julio, 2000).....	185
<b>Tabla74.-</b> Variabilidad temporal de la concentración de clorofila <u>a</u> total (CT) (clorofila activa más feopigmentos) y Clorofila <u>a</u> activa (CA) de muestras de aguas superficiales y de mayor profundidad del Lago Sofía (St 6, centro del lago). .....	186
<b>Tabla75.-</b> Area de fondo afectada por el centro de cultivo (St 1) de smolts del Lago Sofía, XII Región, Chile. (Superficie total aproximada del lago = 900 hectáreas), estimada a través de información aportada por las filmaciones. * Representa el sitio nuevo o St 1B; en este lugar el tren de balsas se separó en dos subtrenes y por esta razón aumentó la superficie; en este caso el efecto del centro es aún incipiente. No se efectuó filmación en julio.....	189
<b>Tabla76.-</b> Algunas características comparativas que permiten orientar la observación del video con material filmico de dos localidades del lago Sofía, XII Región, Chile. ....	189



## INDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura Nº 1.- Localización Geográfica del Lago Sofía en la XII Región .....	34
Figura Nº 2.- Fotografía Aérea de la Zona del Lago Sofía.....	35
Figura Nº 3.- Mosaico de Fotos del lago Sofía XII.....	36
Figura Nº 4.- Distribución de las Curvas de Nivel en la Zona de la Cuenca del Lago Sofía.....	37
Figura Nº 5.- Subcuencas del Lago Sofía. XII Región. Chile.....	48
Figura Nº 6.- Modelo Digital de Terreno de la Zona del Lago Sofía, XII Región, Chile.....	49
Figura Nº 7.- Unidades Geomorfológicas asociadas a la Zona donde se localiza el Lago Sofía.....	50
Figura Nº 8.- Imagen Satelital Lansat de la Zona del Lago Sofía, XII Región, Chile.....	51
Figura Nº 9.- Clasificación de Suelos en la zona del Lago Sofía, XII Región, Chile.....	52
Figura Nº10.- Identificación de Unidades Geomorfológicas en la Zona del lago Sofía, XII Región, Chile.....	53
Figura Nº11.- Localización Geográfica de los principales afluentes y efluentes del Lago Sofía.....	70
Figura Nº12a.- Relación longitud/ peso para Salmón del Atlántico ( <i>Salmo salar</i> ).....	84
Figura Nº12b.- Relación Longitud/ peso para Salmón Coho ( <i>Oncorhynchus kisuth</i> ).....	84
Figura Nº12c.- Relación longitud/peso para Trucha Arco iris.....	84
Figura Nº13.- Distribución de Estaciones en Muestreo Intensivo (Julio- 2000) al lago Sofía, XII Región, Chile.....	110
Figura Nº14.- Distribución de Fósforo Total en el lago Sofía, XII Región, Chile.....	111
Figura Nº15.- Distribución de Nitrógeno Total en el lago Sofía, XII Región, Chile.....	111
Figura Nº16.- Simulación de requerimientos alimenticios.....	139
Figura Nº17.- Contribución porcentual de los aportes de la piscicultura a la carga total de nutrientes, según diferentes niveles de producción en el lago Sofía.....	140
Figura Nº18.- Batimetría del lago Sofía.....	152
Figura Nº19.- Batimetría Tridimensional del lago Sofía.....	153
Figura Nº20.- Distribución de Sedimentos en el lago Sofía.....	154
Figura Nº21.- Localización de Zonas Aptas para acuicultura en el Lago Sofía.....	155
Figura Nº22.- Velocidad y Direcciones de las corrientes del lago Sofía (diciembre, 1999).....	156
Figura Nº23.- Correntometría en 2 estaciones lago Sofía (agosto, 2000). Correntometro anclado a 4m. de profundidad.....	157
Figura Nº24.- Variación Temporal Clorofila a Total y Activa en el lago Sofía .....	158
Figura Nº25.- Variación batimétrica y temporal de Fósforo total del agua, lago Sofía.....	159
Figura Nº26.- Distribución de Fósforo Total (Enero y Julio) en el lago Sofía.....	160
Figura Nº27.- Variación Batimétrica y Temporal del Nitrógeno Total (ug/l) del agua, lago Sofía.....	161
Figura Nº28.- Distribución de Nitrógeno Total (µg/l) (Enero-Julio) en el lago Sofía .....	162
Figura Nº29.- Variación batimétrica y temporal del Oxígeno del agua, lago Sofía .....	163
Figura Nº30.- Distribución de Oxígeno disuelto (Enero-Julio) en el lago Sofía .....	164
Figura Nº31.- Variación Batimétrica y Temporal del pH del agua, lago Sofía .....	165
Figura Nº32.- Distribución de pH (Enero - Julio) en el lago Sofía .....	166
Figura Nº33.- Transparencia en la columna de agua del lago Sofía, XII Región, Chile.....	167
Figura Nº34.- Aplicación del Modelo de Gowen et al. (1994) para simular la distancia (d) recorrida por pellets fecales y/o restos de alimento (m) bajo distintos regímenes de velocidad (m/s) .....	195

## AGRADECIMIENTOS

La obtención de los resultados del presente proyecto se hizo posible gracias a la colaboración y ayuda de numerosas personas e instituciones. En primer término se desea agradecer al Sr. Fredy Carrasco, Ejecutivo de la empresa Acuimag S.A., Puerto Natales, por las facilidades otorgadas para ejecutar las diversas actividades comprometidas en este proyecto en el centro de cultivo existente en el lago Sofía. De igual manera, deseamos extender los agradecimientos al Proyecto Mineduc-Acuicultura, Proyectos Convenios de Desempeño, "Centro de Investigación para la acuicultura y manejo de recursos marinos" por el apoyo logístico prestado, en particular el uso de la embarcación "Hika", motor fuera de borda y GPS. Al Dr. Mathias Gorny (Laboratorio de Hidrobiología de la Universidad de Magallanes) quién realizó las primeras filmaciones submarinas en el lago.

Deseamos hacer reconocimiento a los Profesores Dr. Roberto Prado (Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Valparaíso) por la entrega oportuna de los resultados de calidad de agua y la organización logística desarrollada para recepcionar las muestras, Ms. Sc. Nelson Silva (Universidad Católica de Valparaíso) por la realización de análisis de P y N total en sedimentos, Dra. Marcela Escobar (Universidad de Valparaíso) y Betty San Martín (Universidad de Chile) por los análisis de productos quimioterapéuticos en sedimentos y carne de salmónes, a la Prof. Silvia Basoalto (Centro EULA, Universidad de Concepción) por la realización de los análisis del fitoplancton, al Dr. Leonardo Guzmán y Gemita Pizarro (Instituto de Fomento Pesquero, Punta Arenas) por las determinaciones de Clorofila *a* y las facilidades otorgadas para el uso del correntómetro y a la Prof. Erika Mutschke (Laboratorio de Hidrobiología, Universidad de Magallanes) por la realización de análisis de calidad de agua y de sedimentos en el lago.

De un modo especial deseo extender los agradecimientos a la Sra. Ximena Silva (Jefe biblioteca, Campus Instituto de la Patagonia, Universidad de Magallanes) por el apoyo incondicional prestado al proyecto en términos de búsqueda de información, y al Dr. Claudio Miranda (Universidad Católica del Norte, Coquimbo) por la disposición a facilitarme literatura sobre efectos de productos quimioterapéuticos en el ambiente. De igual manera, deseamos extender los agradecimientos al Sr. José Díaz, chofer de la Universidad de Magallanes, quién con su experiencia y paciencia permitió se ejecutaran las actividades sin contratiempos bajo condiciones climáticas normalmente adversas.

Finalmente, se desea agradecer a las autoridades de la Universidad de Magallanes y a todas las personas relacionadas con la gestión administrativa de la Universidad por las amplias facilidades otorgadas para ejecutar sin contratiempos este estudio.

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto tuvo por objetivo general determinar la capacidad de carga del lago Sofía en la XII Región, Chile, a objeto de definir el stock cultivable de especies salmonídeas, considerando el balance de fósforo y nitrógeno como indicadores de calidad ambiental. Los objetivos específicos propuestos fueron: a) Estimar los aportes de P y N aportados por las diferentes actividades desarrolladas en la cuenca, así como aquellos originados por aportes sedimentarios de ríos y aguas lluvias b) Determinar los aportes de P y N totales provenientes de actividades acuícolas localizadas en el lago Sofía, c) Cuantificar la producción de salmonídeos actualmente en cultivo, considerando la especie y la identificación del centro, d) Estimar los aportes de quimioterapéuticos y su persistencia en el medio ambiente, e) Determinar el balance másico del P y N total considerando los flujos de entrada y salida, f) Estimar la capacidad de carga del lago, a través de un modelo de simulación, a objeto de definir el máximo stock cultivable, g) Sensibilizar el modelo aplicado en función de eventuales operaciones o la incorporación de nuevas actividades acuícolas, considerando diferentes niveles de producción y localización en el lago y h) Determinar las áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmónidos.

Como parte de la ejecución de este proyecto, se efectuaron seis campañas de monitoreo, cuyas fechas de ejecución fueron: a) Campaña N° 1: 30 de septiembre al 3 de octubre, 1999, b) Campaña N° 2: 25 al 28 de noviembre, 1999, c) Campaña N° 3: 11 al 13 de enero, 2000, d) Campaña N° 4: 11 al 14 de mayo, 2000, e) Campaña N° 5: 14 al 18 de julio, 2000 y f) Campaña N° 6: 24 al 27 de agosto, 1999.

Se estableció la metodología tradicional utilizada para caracterizar desde un punto de vista limnológico el lago Sofía como la cuenca asociada, considerando aspectos tales como la fisiografía, batimetría, características físicas, químicas y biológicas, uso del suelo, seguimiento de efluentes y afluentes, determinación de pluviometría además de considerar los aportes de P y N total desde el centro de cultivo hacia los sedimentos y de describir el ciclo de producción histórico del único centro de cultivo existente en el lago.

Con los antecedentes recopilados y utilizando las funciones de Vollenweider modificado por Dillon & Rigler (1974) y Bachmann se determinó el balance másico para el fósforo y nitrógeno, respectivamente, y se efectuó un balance hídrico considerando las condiciones registradas durante el estudio. Estos resultados permitieron estimar la carga interna y estimar las tasas de sedimentación. A



partir de un modelo de balance de nutrientes se calculó la carga actual y crítica (concentración máxima de fósforo o nitrógeno que puede tener un lago para mantener el estado actual de mesoeutrofia).

Los principales resultados son los siguientes:

- El lago Sofía (51° 30' S, 72° 40' O) se encuentra localizado al sur del conjunto de lagos que conforman la red léntica del Parque Nacional Torres del Paine, y se encuentra a una distancia de 38 km al norte de la ciudad de Puerto Natales. Según la clasificación de Hutchinson (1957), este lago corresponde al tipo 28b (asociados a fiordos). Recibe aportes del río Rivas y de cinco chorrillos (efluentes de < 2 m de ancho y de < 0,2 m de profundidad) que descargan sus aguas en forma discontinua, dependiendo de la disponibilidad de nieve en la meseta del cerro Mocho. Las principales características morfométricas del lago son: a) profundidad máxima de 39 m, b) longitud máxima de 7,2 km, c) ancho máximo de 2,65 km, d) profundidad media de 22,8 m y altitud de 25 m.s.n.m.
- La cuenca hidrográfica del lago Sofía tiene un área aproximada de 63,6 km<sup>2</sup>, de las cuales 8,9 corresponden a la superficie del lago. Se identificó solamente una cuenca asociada al origen y trayecto del río Rivas más dos subcuencas pequeñas estructuradas por la suma de las quebradas que descargan las aguas desde las cumbres del cerro Mocho hacia el lago. La subcuenca de mayor importancia corresponde a la del chorrillo F. Gran parte de las laderas norte de los cerros que circundan la hoya hidrográfica se encuentran dominados por bosques de lenga y Ñirre (*Nothofagus* spp).
- A través de las características geomorfológicas y de uso del suelo se observó que en el valle se distinguen cinco unidades de paisajes de distinta composición florística, siendo las siguientes: a) Montañas al norte del Lago (suelo arenoso delgado y roqueros), b) Terraza lacustre, c) Humedal del Río Rivas (suelo arcilloso y vega plana de gramíneas), d) Planicies onduladas rocosas (suelo arcilloso) y e) Cerros bajos erosionados (suelo delgado sobre roca sedimentaria).
- Las características físicas y químicas de la columna de agua, permiten catalogarlo como permanentemente mezclado, con ausencia de nutriclinas, con concentraciones de oxígeno relativamente altas en toda la columna de agua y un límite inferior de 4 mg O<sub>2</sub>/l. Presenta una transparencia < 8 m, valores intermedios de conductividad (150 a 170 uS/cm), bajos valores de color, turbidez y seston total. Las concentraciones de P y N total son relativamente altas, con concentraciones de P > 30 ug/l y de N > 900 ug/l. Según los valores límites entregados para clasificar la trofia, el lago Sofía muestra situaciones atípicas tales como baja concentración de clorofila a, bajos valores de BDO<sub>5</sub>, valores de contenido de oxígeno > 6 mg O<sub>2</sub>/l, lo que es

indicativo de un lago ultraoligotrófico u oligotrófico. Inversamente, al considerar las concentraciones de N y P total, se observa que estaría en la categoría de meso-eutroficado.

- El fitoplancton se compone de 19 especies. La especie más abundante es la cianofícea colonial *Merismopedia* sp, fluctuando su aporte entre 64 y 92%. El análisis de la variabilidad temporal muestra que durante el período de estudio la abundancia se mantuvo en el mismo orden de magnitud. No se observaron cambios en la composición y abundancia de especies en distintos estratos de profundidad. La concentración máxima de clorofila a total fue detectada en noviembre de 1999, alcanzado una concentración de 3,189 mg Cl a m<sup>-3</sup>. De igual modo, la concentración de clorofila a activa en la superficie fue superior en este mismo mes, alcanzado a 1,932 mg Cl a m<sup>-3</sup>.
- El zoobentos se compone de 9 especies de invertebrados, predominando los oligoquetos en términos de abundancia y los gastrópodos en términos de biomasa. La macrofauna se distribuye en gran parte del lago, recolectándose una especie de bivalvo hasta en la zona más profunda del lago. Se observó que algunos atributos ecológicos son menores en los sedimentos bajo las balsas respecto de estaciones someras.
- En el lago existe sólo un centro de cultivo perteneciente a Acuimag S.A., el que está autorizado desde 1991 para mantener 12 balsas con smolts de 3 especies de salmónidos (*Salmo salar*, salmón Atlántico; *Onchorynchus kisutch*, Salmón del Pacífico; y, *O. Mykiss*, Trucha Arco Iris). Desde que inició las operaciones, se han cultivado alrededor de 75 toneladas, utilizando aproximadamente similar cantidad de alimento. Se determinó que los smolts ingresan con un peso promedio de 4 g y salen del lago al adquirir un peso de 20 g, extendiéndose la permanencia por 2 a 5 meses. Diariamente se aporta entre 0,5 y 1,0 kg. de alimento por balsa.
- El análisis de productos quimioterapéuticos se efectuó utilizando carne de salmones cultivados en el lago Sofía como también en sedimentos recolectados bajo las balsas como en un sitio control (St. 2). Se detectaron evidencias de quimioterapéuticos solamente en carne trucha cultivadas. En los sedimentos se encontraron evidencias de oxitetraciclina tanto bajo las balsas como en el sitio control, existiendo mayores concentraciones en la St 2. Según la empresa solamente en dos oportunidades se han utilizado antibióticos: eritromicina (1997) y florfenicol (agosto, 2000).
- En febrero, 2000, las balsas fueron cambiadas de lugar ofreciendo una oportunidad para determinar tasas de enriquecimiento en áreas sin uso acuícola (St 1B) y tasas de recuperación de un área utilizada en forma casi ininterrumpida durante 10 años (St 1A). Hasta agosto, 2000, se observó una rápida recuperación de las características "normales" de los sedimentos (ausencia de mal olor por descomposición de los excedentes de alimento y heces, aparición de sedimentos de color pardo, oxigenados, los que han comenzado a cubrir los restos antiguos de sedimentos). De

modo contrario, los sedimentos localizados bajo las balsas del sitio sin intervención adquirieron características organolépticas alteradas.

- Para la hoya hidrográfica del Lago Sofía seis afluentes aportan sus aguas al lago. El río Rivas, el cual presentó un caudal promedio máximo de  $0,58 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  durante el mes de Agosto del 2000 y cinco afluentes restantes corresponden a los Chorrillos, siendo el F el principal en términos de volúmenes de agua que aporta al lago. El efluente del lago es el Río Sofía cuyo caudal promedio fue de  $0,83 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$ . Presentó una temperatura promedio anual de  $7,65 \text{ }^\circ\text{C}$ , siendo superior a la presentada por los afluentes. El pH promedio fue de 8,08, con un contenido de oxígeno promedio anual de  $10,23 \text{ mg/l}$ . Los nutrientes presentaron una concentración promedio anual de N total de  $1900 \text{ } \mu\text{g/l}$  y para el P total de  $24,47 \text{ } \mu\text{g/l}$ .
- A través del balance hídrico se determinó que los aportes de agua por precipitación entre Julio 1999 y agosto 2000 fue de  $3.354.758 \text{ m}^3$ . A través de los Chorrillos que drenan al lago y el río Rivas ingresaron al Lago Sofía un total de  $7.398.453 \text{ m}^3$ , siendo esta cifra el doble de lo aportado por precipitaciones. La evaporación de la superficie del lago fue en total de  $1.207.177 \text{ m}^3$ . Se calculó la tasa de renovación total del volumen del lago Sofía, la que es de 5,2 años, bajo las condiciones climáticas imperantes durante el estudio.
- El aporte de fósforo total de las aguas de lluvia sobre el lago fue de  $102,9 \text{ mg/m}^2\text{-año}$  y de  $5.586,7 \text{ mg/m}^2\text{-año}$  para el caso del nitrógeno. Los afluentes aportaron un total de  $80,55 \text{ mg/m}^2\text{-año}$  de fósforo total, presentando los máximos aportes el río Rivas y el Chorrillo F. Para el caso del nitrógeno, éstos aportaron  $5.332,8 \text{ mg/m}^2\text{-año}$ . El cultivo aportó  $16,2 \text{ mg/m}^2\text{-año}$  de P total y  $80,62 \text{ mg/m}^2\text{-año}$  de N total. Las trampas de sedimento demostraron que la tasa de sedimentación del P y N total en el centro de cultivo son 40 veces superiores respecto de las tasas naturales de sedimentación en una estación control, fluctuando entre  $0,77$  y  $1,1 \text{ g día}$  (ó entre  $175$  y  $227 \text{ g/día-m}^2$ ). El N total en los sedimentos bajo las balsas fue entre 24 y 33 veces superior respecto de las otras estaciones someras. En cambio la concentración de P total fue similar entre el centro de cultivo y el de aquellas estaciones localizadas en sitios profundos del lago.
- En el lago se registraron temperaturas extremas entre  $3,02^\circ\text{C}$  para el mes de Agosto y  $12,47^\circ\text{C}$  durante el mes de Enero, en lo que se refiere a concentraciones de P total éstas fluctuaron entre  $11,55 \text{ } \mu\text{g/l}$  y  $38,1 \text{ } \mu\text{g/l}$ . La concentración de oxígeno disuelto durante el año varió en un rango de  $4,8 \text{ mg/l}$  a  $11,42 \text{ mg/l}$ . La concentración de N total del Lago Sofía durante el año presentó valores entre  $910 \text{ } \mu\text{g/l}$  y  $3263,63 \text{ } \mu\text{g/l}$ . En relación, al pH éste vario entre  $7,92$  y  $8,48$ .
- Se realizó un balance considerando el ingreso y salida de P total del lago Sofía en una base anual. Este balance determinó que la carga interna, es decir la proveniente de los sedimentos, es igual a  $0,247$  toneladas con carga negativa, por lo tanto significa que la carga interna es igual a 0. Se

determinó que el ingreso de P total en el lago fue de 0,719 toneladas y la salida fue de 0,472 toneladas.

- Se realizó un balance considerando el ingreso y salida de N total del lago Sofia en una base anual. Este balance determinó que la carga interna es igual a 12,826 toneladas con carga negativa, lo que significa que la carga interna es igual a 0. Se determinó que el ingreso de N total en el lago fue de 47,581 toneladas y la salida fue de 34,080 toneladas.
- La carga crítica estimada para el P fue de 143,89 mg/m<sup>2</sup>-año, valor que sobrepasa en 40,99 mg/m<sup>2</sup>-año a la carga actual que tiene el lago (102,9 mg/m<sup>2</sup>-año). Este hecho indica que el lago dispondría de un margen de aproximadamente 0,36 toneladas de P que podría recibir para cambiar su actual grado de mesotrofia. Para estimar la carga crítica del N basado en la ecuación de Bachamnn (1984) y planteando que 400 ug/l es el límite de la mesotrofia en sistemas de lagos, se obtuvo que la carga debiera ser igual a 7291 mg/m<sup>2</sup>-año, y la actual es de 5586,7 102,9 mg/m<sup>2</sup>-año, por lo tanto existe un margen de 1704,3 mg/m<sup>2</sup>-año. Es decir, existen posibilidades de ingresar hasta 15,2 toneladas de N para alcanzar su nivel máximo sin cambiar a un estado eutrófico. La carga crítica para el P se alcanzaría en 2,6 años y la carga crítica para el N se alcanzaría en 21 años siempre y cuando se mantengan las actuales condiciones ambientales y productivas (1 t de peces cada 74,3 hectáreas).
- Se realizó un análisis para determinar áreas aptas para instalar nuevos centros de cultivo. Como medida preventiva se recomienda no autorizar la instalación de nuevos centros, y aumentar el tamaño de la concesión actual o cambiar la posición para instalar las balsas en zonas con mayor velocidad de corrientes (> 2 cm seg<sup>-1</sup>).
- Según el modelo de enriquecimiento de Gowen et al. (1984), bajo las condiciones de velocidad (1 cm s<sup>-1</sup>), sedimentación y profundidad (10 a 13 m) en que se localizan las balsas, los residuos derivados alcanzarían un radio máximo de 400 m de distancia.
- Se proponen ecuaciones que relacionan las tasas de enriquecimiento para el P y N total en los sedimentos bajo las balsas en un sitio nuevo y en uno antiguo, las que demuestran que para el P se podría alcanzar en 2,83 años una concentración de 0,14% (indicativo de malas condiciones ambientales según lo observado en el lago). Para el caso del N en aproximadamente 6 años, el uso continuo de un fondo alcanzaría concentraciones de N total igual a 2,31%.
- Finalmente, a través de este estudio se desea sugerir la incorporación de parámetros o variables indicadoras de la calidad de los ambientes bentónicos en la determinación de la calidad de los cuerpos lacustres, la que actualmente se apoya únicamente en las características químicas de la columna de agua.

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de carga del lago Sofía en la XII Región, localidad ubicada aproximadamente a 300 km al norte de la ciudad de Punta Arenas, en términos de definir el stock cultivable de especies salmónideas, considerando el balance de fósforo y nitrógeno como indicadores de calidad ambiental del lago.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estimar los aportes de fósforo y nitrógeno aportados por las diferentes actividades desarrolladas en sus cuencas (silvoagropecuarias, pesquera, turística, centros urbanos, etc.), así como de aquellos originados por aportes sedimentarios de ríos y aguas lluvia.
- Determinar los aportes de fósforo y nitrógeno totales provenientes de actividades acuícolas localizadas tanto en el lago como en los ríos y esteros tributarios.
- Determinar el balance másico de fósforo y nitrógeno totales considerando los flujos de entrada y salida.
- Cuantificar la producción de salmonídeos actualmente en cultivo en el lago Sofía, considerando la especie y la identificación del centro de cultivo
- Estimar a través de un modelo de simulación, la capacidad de carga en términos máximo stock cultivable de especies salmonídeos
- Estimar los aportes de quimioterapéuticos y su persistencia en el medio ambiente, por parte del centro de cultivo que se encuentra operando en el lago.
- Determinar las áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmónidos
- Sensibilizar el modelo aplicado en función de la incorporación de nuevos centros de cultivo a los ya autorizados, considerando diferentes niveles de producción y localización en el lago. Asimismo, para cada nivel de producción se deberá estimar el período de tiempo que esta actividad económica se desarrollará sin que se alcance la carga crítica, que induzca cambio de trofia en el lago.



## ANTECEDENTES

El presente documento resumen los resultados obtenidos durante la ejecución del estudio licitado por el Fondo de Investigación Pesquera denominado "Determinación de la capacidad de carga del Lago Sofía en la XII Región", código FIP 99-26.

Como parte de la ejecución de este proyecto, se efectuaron seis campañas de monitoreo, cuyas fechas de ejecución fueron:

- Campaña N° 1: 30 de septiembre al 3 de octubre, 1999.
- Campaña N° 2: 25 al 28 de noviembre, 1999.
- Campaña N° 3: 11 al 13 de enero, 2000.
- Campaña N° 4: 11 al 14 de mayo, 2000.
- Campaña N° 5: 14 al 18 de julio, 2000.
- Campaña N° 6: 24 al 27 de agosto, 1999.

El desplazamiento ocurrido entre las campañas 3 y 4 se debió a que la profesional que evaluó el informe de avance sugirió el desarrollar una intercalibración para verificar la presencia de altos niveles de nitrógeno y fósforo a través de otros laboratorios. Por esta razón durante abril se visitó en forma especial el lago y se obtuvieron muestras de un mismo sitio, siendo despachadas en envases que fueron provistos por los propios laboratorios seleccionados (Tecnolab e Hidrolab), los que portaban ácido sulfúrico como fijador. Se analizó el contenido de N y P total en dos muestras y se enviaron en un lapso de menos de 24 horas a Valparaíso y Santiago, respectivamente. Debido a que existía la posibilidad de que la técnica análisis del Laboratorio de Química del Mar de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad de Valparaíso pudiera presentar problemas, se decidió retrasar la campaña N° 4 hasta realizar la comprobación de los resultados. Finalmente, el informe de Hidrolab demostró que en lago Sofía existen altas concentraciones de productos nitrogenados y una alta disponibilidad de fósforo en la columna de agua (Anexo I). Los datos aportados por Tecnolab no pudieron ser utilizados por presentar bajos niveles de precisión.

## ANTECEDENTES ESPECIFICOS

De conformidad a lo establecido en los Art. N° 74 y 87 de la Ley general de Pesca y Acuicultura, sistematizada mediante el DS N° 430 de 1991, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, es facultad del Estado reglamentar las medidas de protección del medio ambiente que deben cumplir los titulares de concesiones de acuicultura localizadas en sistemas marítimos, lacustres y fluviales.

En virtud de lo anterior, el Fondo de Investigación Pesquera ha financiado la realización de seis proyectos a la fecha, orientados a determinar la capacidad de carga en distintos lagos de la zona sur de Chile, lo que ha permitido contar con información actualizada referida a la proporción de materia orgánica aportada por los centros de cultivo localizados en cuerpos de aguas lacustres respecto de otras actividades desarrolladas en la cuenca. Estos antecedentes han permitido plantear diferentes medidas administrativas para controlar y efectuar seguimiento del aporte de nutrientes por parte de los centros de cultivo. De igual forma, estos estudios han interesado a las autoridades del sector por permitir estimar la capacidad de producción máxima de los cuerpos lacustres sin afectar la sustentabilidad ecológica, la producción biológica y la trofia de éstos.

- **ESTRUCTURA DEL INFORME**

En el presente documento se muestra la metodología, los resultados obtenidos para cada una de las actividades comprometidas en la propuesta técnica, dos revisiones bibliográficas. más una copia de un video efectuado.

## METODOLOGIA DE TRABAJO

### Aspectos generales

El presente estudio se realizó en el Lago Sofía, río Rivas, río Sofía y en 6 chorrillos, localizándose estos últimos en el margen norte del lago (Fig. 4). En ambos ríos no existe actividad acuícola, concentrándose dicha actividad sólo en el lago Sofía, zona en que se encuentra actualmente una concesión solicitada por la empresa Acuimag S.A., la cual efectúa cultivo de especies salmonídeas durante gran parte del año. La actividad de cultivo se concentra en 3 especies, el salmón coho, salmón del Atlántico y trucha Arco Iris, abarcando sólo la fase de esmoltificación y de crecimiento desde un tamaño de 4 g hasta alcanzar los individuos un peso cercano a 20 g.

Como parte de la ejecución de este proyecto, se efectuaron seis campañas de monitoreo (septiembre, y noviembre de 1999, enero, mayo, julio y agosto del año 2000), aportando en esta oportunidad todos los antecedentes recopilados durante la ejecución del proyecto.

### DESCRIPCION DE LAS METODOLOGIAS SEGUN OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

#### i) Información Cartográfica

El desarrollo del trabajo se dividió en 3 etapas: La primera etapa consistió en generar una carta base con divisorias de agua y una carta de uso del suelo, ambas a escala de 1:50.000. La segunda etapa consistió en realizar un refinamiento para obtener una carta preliminar de uso del suelo a escala 1:50.000; y la tercera etapa permitió generar una carta base final de uso del suelo y divisorias de agua a escala de 1:50.000. Para desarrollar la primera etapa se consideró utilizar la información recopilada por el Gobierno Regional de la XII Región a través del estudio denominado "Diagnóstico de los recursos humanos y naturales de la XII Región", denominado SIGREL, el cual posee una cartografía base a escala de 1:50.000 y cartografía temática en cuanto a vegetación, geomorfología, distribución de la ganadería, etc., abarcando espacialmente el sector en que se inserta el Lago Sofía.

A continuación se detalla la metodología utilizada en este estudio:



### ● Información cartográfica de Base

La información se recopiló a través de las siguientes fuentes:

- Cartografía del Instituto Geográfico Militar, escala 1: 50.000 (Carta N° 108, sección K)
- Cartografía del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile del Seno de Última Esperanza, en que se muestra al Lago Sofía (Escala 1:50.000). Esta carta originalmente tendría prioridad respecto a la carta IGM por ser la utilizada por SERNAPESCA para establecer los límites geográficos de las concesiones de acuicultura. Sin embargo, en la práctica, esto no ha sido posible porque las cartas actualizadas (1997) de la Armada de Chile, han descartado el sector del Seno de Última Esperanza en que se visualizaba el Lago Sofía. Además, el posicionamiento geográfico a través de GPS ha sido más preciso al utilizar la carta IGM por presentar coordenadas UTM.
- Imágen satelital provista por el satélite Landsat-TM y utilizada por el SIGREL para desarrollar el mosaico que compone las diferentes unidades geográficas de la XII Región hasta ahora consideradas dentro de este programa.
- Fotografías aéreas, las que fueron obtenidas de un archivo fotográfico de la biblioteca del Campus Instituto de la Patagonia de la Universidad de Magallanes y la fotografía N° 12036 adquirida en el Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile.
- SIGREL, Gobierno Regional XII Región

### ● Digitalización

La cartografía base como la temática se digitalizó en el Centro de Recursos Energéticos (CERE), Universidad de Magallanes, para permitir el manejo de cartografía automatizada y la utilización del sistema de información geográfica (SIG) en la integración y superposición de información, como también para desarrollar predicciones en función de la información digitalizada. La cartografía IGM, los límites de la cuenca y la carta del uso del suelo se digitalizaron diferenciando la siguiente información:

- Red Vial
- Red fluvial (separada por orden de río)
- Curvas de nivel (separadas por cota de 50 m)
- Límites de subcuencas (cada subcuenca en forma separada)
- Caseríos y aeródromos
- Laguna y tributarios
- Tipos de suelo (separado por tipo)

Para desarrollar la digitalización se utilizó una tablilla digitalizadora de 36 x 48" y el software ArcView 2.0.1 y Arc Info 7.2.1.- A partir de las curvas de nivel digitalizadas se generó un modelo digital de terreno (MDT), que consistió en realizar una interpolación de los puntos de las curvas de nivel para permitir asociar a cada punto de la cuenca una altura respectiva. El MDT obtenido puede ser visto en tres dimensiones superponiendo otro tipo de información, como por ejemplo la carta de uso del suelo. Para este efecto se utilizó el software IDRISI 2.010.-

- **Definición de los límites de las subcuencas**

Sobre la base de la cartografía IGM 1: 50.000 se definieron los límites de las subcuencas de los afluentes a ser muestreados durante el proyecto. Esta delimitación se efectuó en función de las curvas de nivel, identificando las divisorias de aguas. Finalmente en la última etapa y haciendo uso de las fotografías aéreas y satelital se corrigieron los límites de las cuencas y subcuencas.

- **Generación de la carta de uso del suelo**

La generación de la carta de uso del suelo se realizó en tres etapas: en primera instancia se utilizaron imágenes satelitales y fotografías aéreas. En segundo término, se utilizaron las fotografías del tipo ortomosaicos del SAF y finalmente la información fue corregida con una verificación de campo o terreno, utilizando un GPS Garmin Mod. GPS III. De igual forma se recurrió al SIGREL preparado por el Gobierno Regional de la XII Región. De la misma manera, se utilizaron las fotografías aéreas descubiertas en el archivo fotográfico de la biblioteca del Campus Instituto de la Patagonia.

La verificación de campo fue realizada durante noviembre, 1999 y en mayo, 2000 por parte del investigador Orlando Dollenz considerando los tipos de suelos y las características vegetacionales.

## **ii) Ingreso de nutrientes al lago**

A través de inspección de campo se diseñó un muestreo para caracterizar química y físicamente los ríos afluentes de lago. Se muestrearon los afluentes considerando a si drenan diferentes zonas representativas de las subcuencas y actividades productivas realizadas en la zona alrededor del lago. De acuerdo a la inspección de campo se pudo constatar a priori a que estas categorías podrían ser las siguientes:

- bosques
- zonas agrícolas ganaderas
- Acuicultura

- Zonas deforestadas
- Pastizales o coironales

Además se muestreó el único afluente del lago, el río Rivas y seis chorrillos que alimentan de agua al lago, estos últimos ubicados en el lado norte del lago (Fig. 4). En cada uno de los afluentes y efluentes (Río Sofia) se obtuvieron datos limnológicos, abarcando meses correspondientes a cada estación climática (invierno, primavera, verano y otoño), considerando los siguientes parámetros limnológicos: perfil del río, velocidad de las corrientes, caudal, temperatura, color o transparencia, turbidez, pH, conductividad, nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total, fósforo soluble, fósforo total y sestón. A continuación se detalla la metodología utilizada en cada caso:

- Perfil de río: en terreno se midió el ancho, en una sección, con huincha metálica y la profundidad en un mínimo de tres puntos en la sección. Con ambas medidas se calculó el área del río para posteriormente estimar el cálculo de caudal.
- Velocidad de la corriente: Dado el pequeño tamaño de los chorrillos (1 m ancho y < 20 cm de profundidad), la velocidad de la corriente del agua fue registrada con un derivador representado por un conjunto de pelotas de ping-pong, las que fueron liberadas en sector del chorrillo y recuperadas aproximadamente entre 3 y 5 m del sitio de liberación, registrando el tiempo demorado en efectuar el trayecto.
- Caudal: para calcular el caudal de agua se midió el área de la sección de cada chorrillo o río y la velocidad de las corrientes. Se siguieron las normas hidrométricas de la Dirección General de Agua para los aforos (Dirección General de Aguas 1978).
- Temperatura: Se efectuó un registro de la temperatura superficial con un termómetro de mercurio introducido directamente al agua o con un sensor de temperatura de campo.
- Color: Se utilizó un espectrofotómetro con longitud de onda de 440 nm, estando las unidades dadas en Pt-Co.
- Turbidez: Las muestras de agua se analizaron con un espectrofotómetro utilizando una longitud de onda de 440 nm y unidades de turbidez en mg/l, en base sílice (SiO<sub>2</sub>).
- pH: se tomaron muestras de agua y esta variable fue determinada con un pHímetro digital Cole Parmer
- Conductividad: Se midió utilizando un conductímetro marca Hatch, con unidades dadas en  $\mu\text{S}$  a 25°C.
- Nitrato: se empleó el método de reducción en sistema heterogéneo, consistente en la reducción del nitrato a nitrito haciendo fluir la muestra tamponada en una columna empacada con gránulos de cadmio metálico cubiertos con cobre. Las condiciones de reducción son ajustadas de modo que no prosiga más allá del nitrito, que una vez formado es determinado por diazotación y medido fotométricamente, corrigiendo por la presencia original de nitrito en la muestra.

- Nitrito: Se empleó el método de diazotación, consistente en producir la diazotación del nitrito presente en la muestra con sulfamilamida en solución ácida, acoplado posteriormente el ion diazonio resultante con N-(1-naftil)-etileno-diamina para formar un compuesto azo de color rosado intenso cuya absorvancia, proporcional a la concentración inicial de nitrito, es determinada fotométricamente a 543 nm.
- Amonio: Se utilizó el método de formación de azul de indofenol, consistente en la reacción con ion hipoclorito del amonio total presente en una solución moderadamente alcalinizada de la muestra para formar monocloramina, la que es sometida a su vez a una reacción con fenol en presencia de exceso de hipoclorito para formar ion indofenol. Este último compuesto presenta un color azul cuya intensidad es proporcional al contenido de amonio inicialmente presente en la muestra y que es medido fotométricamente a una longitud de onda de 630 nm.
- Nitrógeno total: Se utilizó el método de Valderrama (1981) de oxidación de nitrógeno total con persulfato para formar nitrato, el que fue sometido a reducción heterogénea a nitrito y posterior diazotación y acoplamiento con N-(1-naftil)-etileno-diamina para sudeterminación fotométrica a 543 nm.
- Fósforo soluble u ortofosfato: el método empleado fue el de reducción de heteropoliácido, consistente en someter a reacción la muestra con una mezcla de ácido molibdico y antimonio trivalente, resultando ácido molibdofosfórico, el cual es reducido a un complejo de color azul con ácido ascórbico. Los reactivos se agregan a la muestra en una proporción tal que el pH final de la solución es 1,0 y la absorvancia del complejo azul, proporcional a la concentración de fosfato, es medida fotométricamente a 880 nm.
- Fósforo total: Se utilizó el método de Valderrama (1981) de oxidación simultánea del nitrógeno con persulfato en medio alcalino. Este método consiste en autoclavar la muestra con persulfato por media hora en un frasco hermético, reduciendo el cloro libre generado con ácido ascórbico y continuando la determinación del fosfato formado por el método de reducción de heteropoliácido.
- Seston: Se determinó la cantidad de material particulado en suspensión en el agua, filtrando un litro de agua a través de un filtro millipore de fibra de vidrio (Rojas 1984).

Los análisis de compuestos nitrogenados y de fósforo total y ortofosfato fueron efectuados en el Laboratorio de Química del Mar del Instituto de Oceanología de la Universidad de Valparaíso.

Las muestras de agua para realizar las determinaciones de los análisis químicos y biológicos se obtuvieron utilizando botellas plásticas de un litro en los afluentes de pequeña magnitud y con una botella Ruttner o muestreador de agua de 5 lt de capacidad en el efluente y lago. Las muestras de agua se han obtenido a 20 m de distancia desde la entrada de cada río o Chorrillo al lago Sofía.

El diseño experimental para conocer la situación actual de la columna de agua y de los sedimentos del lago Sofía y evaluar el potencial impacto de la salmonicultura sobre la calidad ambiental de este sistema acuático se ha basado en el monitoreo o seguimiento de variables limnológicas en 8 estaciones fijas (Fig. 11), las que fueron muestreadas en 3 niveles de profundidad (superficie, 1 m, intermedio, 5-6 m, y en las proximidades del fondo 12 a 15 m), dependiendo de la profundidad de cada sitio. Dos de estas estaciones se localizaron en el lado sur, dos en el lado norte, una en las proximidades de la desembocadura del río Rivas, otra en las proximidades de la entrada al río Sofía, sitio en el cual se encuentra una importante población de la planta acuática de tipo juncacea denominada *Scirpus californicus*, y la cual podría generar un importante desbalance en el contenido del nitrógeno en la columna de agua y sedimentos (Jansson et al., 1994). Otra estación se localizó justo en el punto en que se localiza el centro de cultivo de la empresa Acuimag S.A (estación 1) y la estación N° 6 se localiza en la zona central del lago (Fig. 11).

La frecuencia de muestreo desarrollada, permitió obtener en cada campaña de muestreo un total de 24 datos para cada parámetro de tipo físico y químico. Los parámetros a obtener en cada campaña de muestreo fueron similares a los descritos en el punto ii) de este capítulo.

Para realizar los análisis de P y N en sedimentos, se procedió a obtener una muestra de sedimentos en cada una de las 8 estaciones de muestreo. A cada muestra de sedimento se le determinó la composición granulométrica y el contenido de P y N total. Las muestras de sedimento fueron obtenidas con una draga Ekman de 225 cm<sup>2</sup> de área de mordida y cuyo cierre se activa con un mensajero de 400 g enviado desde el bote.

El tratamiento de las muestras para determinación de P y N total en los sedimentos implicó tomar una submuestra de aproximadamente 150 g en los primeros 2 cm de la columna de sedimento, las que fueron guardadas en bolsas de polietileno y mantenidas en hielo seco hasta su análisis de laboratorio. Una porción representativa de la submuestra húmeda se seca a 60 °C por 24 horas o un tiempo superior hasta lograr su secado total. Posteriormente el material seco se molió en un mortero de porcelana hasta convertirlo en un polvo muy fino, con el fin de alcanzar la homogeneización y textura adecuada antes de separar la fracción necesaria para realizar los distintos análisis.

La determinación de nitrógeno total consistió en utilizar la técnica de Micro Kjeldhal modificada por Branstreet (Walton 1970). Para aplicar este método se digiere en caliente y a sequedad una pequeña cantidad de muestra (seca y molida) con agentes oxidantes tales como H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaSO<sub>4</sub> y selenio como catalizador, donde el nitrógeno orgánico se transforma a amonio. Posteriormente la muestra es traspasada cuantitativamente con agua destilada a un equipo de destilación Micro Kjeldhal y mediante la adición de hidróxido de sodio, el amonio es transformado en amoniaco, que luego es arrastrado con vapor de agua hasta una solución de ácido bórico donde



reacciona y se forma borato. El borato se procede a valorar con ácido de concentración conocida para determinar el porcentaje de nitrógeno total en la muestra.

La determinación de fósforo total en los sedimentos implicó determinar el contenido de fosfato inorgánico en sedimentos mediante el método colorimétrico (Strickland & Parson 1972), previa digestión o ataque ácido de la muestra seca y molida con una mezcla de ácido nítrico-sulfúrico en una proporción 5:1. Posteriormente la muestra se extrae cuantitativamente desde los balones de Kjeldhal con agua desionizada, se filtra en fibra de vidrio, se rebaja la acidez hasta aproximadamente a pH 3 y se diluye hasta un nivel adecuado para facilitar su medición espectrofotométrica a 890 nm, a través del complejo azul fosfomolibdico. Los resultados son expresados en forma porcentual por gramo de sedimento (% Ptotal g<sup>-1</sup> sedimento).

Durante enero del año 2000, como fue planteado en las sugerencias de los evaluadores se efectuó una descripción general de los tipos de sedimentos existentes en los fondos del lago, para lo cual se tomaron muestras en 30 estaciones distribuidas en forma aleatoria y en forma sistematizada a través de transectas de igual modo a como se desarrolló el plan de trabajo para determinar la batimetría. En cada punto de muestreo sedimentológico se registró la latitud, longitud y profundidad.

### **Zoobentos lago sofia**

Como lo sugieren Findlay & Watling (1997), el uso de organismos macrobentónicos como indicadores de calidad ambiental en áreas afectas a enriquecimiento orgánico por parte de la salmonicultura en relación a zonas controles, permiten obtener indicios indirectos de los efectos de la acuicultura. Por esta razón en esta propuesta se propuso analizar sobre la base de otra muestra de sedimentos, la biomasa y la composición global de taxa macroinvertebrados bentónicos. Por ello, de acuerdo al diseño de muestreo propuesto, se obtuvieron 48 muestras durante todo el estudio para efectos de determinación de composición de especies, riqueza de especies y abundancia en cada estación.

Las muestras fueron tamizadas en una tamiz geológico de 0,5 mm de abertura. La fauna retenida fue fijada en formalina diluida al 5% en agua de mar, para posteriormente ser separada, identificada y cuantificada por especie o taxa discriminante.

## Fitoplancton y determinación clorofila a

Los objetivos planteados con relación a la comunidad fitoplanctónica fueron:

- Conocer la composición de especies y su abundancia
- Determinar si existe relación entre el grado de trofia del lago y la presencia del fitoplancton o especies en particular.
- Determinar la variación estacional del contenido de clorofila a en la estación del centro del lago

### • Composición taxonómica del fitoplancton

En cada campaña de muestreo se obtuvo una muestra en la St 6 (centro del lago) a nivel superficial y se utilizó la determinar la composición de especies y la abundancia cuantitativa de cada una de las especies. En mayo y julio se contempló también desarrollar una estudio de la variación vertical o en profundidad de las asociaciones fitoplanctónicas y su abundancia, considerando muestreos superficiales, a media agua (5-6 m) y a mayor profundidad (15 m). Todas las muestras fueron colectadas con una botella tipo Ruttner, extrayéndose aproximadamente 500 ml. fijando las muestras con lugol.

El análisis de la composición fue efectuada por la Profesional Silvia Basoalto, investigadora asociada al Centro EULA de la Universidad de Concepción.

### • Clorofila a

El análisis de la concentración de clorofila a se efectuó en los propios laboratorios de la UMAG (septiembre y noviembre, 1999) y en los laboratorios del Instituto de Fomento Pesquero, sede Punta Arenas, en los muestreos posteriores (enero, mayo, julio y agosto, 2000). La determinación en el IFOP fue efectuada por la profesional Gemita Pizarro. Este cambio de laboratorio fue efectuado para comprobar que realmente la producción del lago presentaba estos valores relativamente altos para la latitud en que se ubica éste.

La determinación de clorofila-a total se realizó filtrando 1L de agua, a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F. Los filtros fueron congelados a -18 °C hasta el momento de la extracción con acetona al 90%. Los extractos acetónicos fueron almacenados en oscuridad a 4 °C durante 24 horas, luego filtrados a través de filtros de fibra de vidrio Millipore de 12 mm de diámetro e inmediatamente leídos en un espectrofotómetro. La concentración de clorofila-a y feopigmentos se calculó según ecuaciones de Jeffrey & Humphrey (1975) y Marker et al., (1972) respectivamente.

### **iii) Ingreso de nutrientes por medio de agua de lluvia (precipitaciones)**

Esta variable fue la única vía de ingreso de P y N total que no pudo ser evaluada durante el estudio. Las razones radican principalmente en que a pesar de haber 3 estaciones pluviométricas distribuidas alrededor del lago (2 en el sector oeste y una en el sector este), lamentablemente los meses en que se ha efectuado campañas de muestreo han tenido obligadamente que coincidir con lapsos de buen tiempo para poder llevar a cabo las otras actividades comprometidas. Además, ha habido una escasez de lluvias en la zona de P. Natales durante el año 1999 y el año 2000, con un déficit cercano al 50% para un año normal (600 mm al año).

Durante enero del año 2000 se instalaron en forma adicional en cada punto de muestreo pluviométrico un pluviómetro más a objeto de captar un mayor volumen de aguas lluvias, que hasta ahora no ha superado los 10 mm en forma acumulada por lapso de muestreo (3 a 4 días). Otra razón que impidió contar con aguas lluvias fue el carácter o la forma en que se desarrollan las precipitaciones en la zona de estudio, las cuales se transforman en nieve en las cumbres de las montañas aledañas al lago o son dispersadas por el viento reinante, lo que le da una característica de llovizna leve.

También se obtuvieron antecedentes climatológicos y pluviales en la Dirección General de Aeronáutica con base en Puerto Natales o Aeródromo Teniente Julio Gallardo, localizado a aproximadamente 25 km del lago (en forma lineal).

### **iv) Determinación de parámetros morfométricos del lago Sofía**

Para caracterizar la morfometría del lago Sofía se consideraron los siguientes parámetros:

- Latitud y Longitud de la zona central del lago
- Altitud promedio (m)
- Longitud máxima
- Longitud promedio
- Ancho máximo
- Ancho promedio
- Línea de costa
- Área superficial
- Desarrollo de línea costera
- Profundidad media
- Volumen máximo
- Volumen durante el estudio (niveles mensuales)



Para determinar estos parámetros del lago se ha utilizado el trabajo de Hutchinson (1957) y Håkanson (1981). Algunos de estos parámetros permitirán obtener los valores para alimentar las ecuaciones del balance de fósforo y nitrógeno de acuerdo al método propuesto por Vollenweider (1968 y 1975).

#### v) Batimetría del Lago

Para determinar la batimetría del lago Sofía se procedió a determinar 6 transectas correspondientes a las líneas latitudinales en sentido norte-sur observadas en la carta IGM (latitudes 661, 662, 663, 664, 665, 666 y 667), distribuidas a lo largo de un eje este/oeste (Fig.15) y separadas entre sí por 1 km de distancia. En cada transecta se seleccionaron 5 puntos en los cuales con la ayuda de un GPS Garmin GPS III se procedió a determinar la latitud y longitud además de la profundidad. La profundidad se determinó con un ecosonda marca SITEX, Modelo CVS-106MK II con capacidad de trabajo hasta 350 m de profundidad. Los puntos de muestreo abarcaron sitios someros conocidos a priori (lado norte y sur del lago) y sitios profundos de éste (ubicados en la zona central del lago). Este diseño de muestreo permitió generar 30 puntos georeferenciados con su respectiva profundidad. Aparte de éstos, se procedió a seleccionar al azar y de acuerdo a accidentes del fondo que se identificaron en terreno, obteniéndose la georeferenciación y profundidad de otros 20 puntos. Para complementar algunas áreas que quedaron sin considerar en este esquema de trabajo, se consideraron otros 28 puntos de muestreos.

En el laboratorio SIG del Centro de Recursos Energéticos de la UMAG (CERE) se procedió a conformar la base de datos para obtener una imagen tridimensional del lago y los respectivos perfiles batimétricos de cada transecta. Para desarrollar el mapa batimétrico se utilizó el programa Golden Surfer 6.0, entregando en la cartografía las isolíneas de 5, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad.

#### **Determinar los aportes de fósforo y nitrógeno totales provenientes de actividades acuícolas localizadas tanto en el lago como en los ríos y chorrillos tributarios**

Para efectuar esta actividad, los muestreos de alimento y sedimentos se consideraron de dos sitios: sector piscicultura (estación 1) y una estación control (estación 2) (Fig. 11). En ninguno de los chorrillos del lado norte del lago como en el río Rivas se efectúa actividad acuícola, concentrándose solo un centro en los límites del lago.

En el lago Sofía existe actualmente sólo un centro de cultivo con actividad permanente a lo largo del año dedicado a la fase de alevinaje y esmoltificación. Este centro cuenta con una autorización de la Subsecretaría de

Pesca para mantener 12 balsas jaulas de 10x10 m (superficie 3600m<sup>2</sup>) utilizadas para criar individuos desde un peso de 4 g hasta 20 g, oportunidad en que son trasladados a otro centro de cultivo localizado en el mar. Estas balsas-jaulas se encuentran emplazadas en el lado sur-este del lago en una zona cuya profundidad varía entre 8 y 10 m (Fig. 15). Estos peces son alimentados con alimentos extruidos provenientes de una sola empresa con la cual Acuimag S.A posee un convenio. Esta empresa productora de alimentos animal se llama Alitec Ltda. La necesidad de utilizar solamente alimento extruido se basa en la idea de generar el menor impacto ambiental y lograr un alta tasa de asimilación del alimento ingerido y una reducida sedimentación de heces y restos de alimento.

La reducción en la fase de cultivo de agua dulce y la alimentación basada en alimento extruido propende a disminuir al máximo la posibilidad generar niveles de nitrógeno y fósforo que pudieran poner en peligro la trofia actual que caracteriza este cuerpo de agua dulce.

De acuerdo a Barg (1994) el ingreso de fósforo y nitrógeno a la columna de agua y sedimentos de un lago por parte de la actividad acuícola se puede efectuar a través de la disolución en el agua de algunos componentes del alimento y productos solubles de la excreción (amonio), resuspensión de los sedimentos, restos de alimento y heces de los mismos peces cultivados.

Para efectos de la presente investigación, se realizaron las siguientes actividades tendientes a conocer el aporte de nitrógeno y fósforo del alimento utilizado por la empresa Acuimag S.A.

- a) Encuesta a la empresa y revisión de estadísticas anuales desde que iniciara las actividades en el lago para conocer el volumen de los alimentos suministrados cada año, el tonelaje de peces y su permanencia en el lago cada temporada.
- b) Un análisis de laboratorio del alimento utilizado por la empresa. Este muestreo se efectuó durante la fase de operación primaveral, considerando toma de muestras en septiembre y noviembre y un muestreo estival de la empresa. Los análisis fueron efectuados en TECNOLAB considerando el contenido de fósforo y nitrógeno total existente en el alimento.

La toma de muestras de alimento implicó extraer directamente desde los recipientes de alimentación de las balsas jaulas, sacando una muestra representativa de los diferentes calibres utilizados en cada lapso de muestreo de este período primavera/verano 1999/2000 (crumble 2 y 3).

Las muestras de alimento fueron conservadas en seco y trasladadas hasta el laboratorio de TECNOLAB localizado en Punta Arenas dentro de 24 horas de tomadas. En este laboratorio se procedió a determinar el contenido de materia seca, nitrógeno total y fósforo total contenido en el alimento.

La determinación de la materia seca se efectuará a través del método gravimétrico después de secar la muestra a 105 °C por 48 horas, expresando los resultados en términos porcentuales.

El contenido de nitrógeno total se efectuó mediante el método de micro Kjeldhal, expresando los resultados en mg de N por Kg de alimento, y siendo expresados en %.

El contenido de fósforo se efectuó de acuerdo a la metodología descrita por el OCDE (1982), siendo los resultados expresados en mg P por kilogramo de alimento, siendo señalados en términos porcentuales.

c) En forma paralela a los muestreos realizados para el análisis de P y N en el alimento se procedió a obtener muestras de sedimentos y fecas colectados con trampas de sedimentos suspendidas en la columna de agua, ubicadas en dos localidades del lago. Una de éstas se ubicó en el centro de cultivo (máximo profundidad: 8 m) y otra distante cerca de 2,5 km al oeste de este sitio (estación 2; 12 m de profundidad), ubicada en una ensenada con potencial de acuicultura en la que actualmente no existe ningún tipo de actividad antrópica de tipo productiva y que posee características geomorfológicas relativamente similares a la zona en que se localiza actualmente el centro de la empresa Acuimag S.A.

Originalmente se tenía contemplado realizar al menos 6 análisis, uno por cada campaña de muestreo, considerando lapsos cortos de permanencia de trampas en el agua (3 a 4 días), sin embargo el volumen de material capturado no fue suficiente para realizar los análisis, lo que significó dejar al menos hasta por 30 días en cada oportunidad. Aparte de esta situación se presentaron varias dificultades: i) cambio de sitio del centro de cultivo durante febrero del 2000, lo que implicó perder el set de datos correspondientes a las trampas colocadas bajo las balsas durante enero ii) limpieza del fondo bajo las balsas lo que implicó perder un conjunto de trampas completas (agosto), iii) perturbaciones ocasionadas al limpiar las redes que implicó capturar un volumen exageradamente alto de sedimentos (noviembre), iv) durante mayo se colocaron las trampas bajo las balsas, pero la empresa durante junio decidió separar el único tren de balsas en tres grupos, debido a la presencia de diferentes especies y para evitar el contagio entre individuos de distintas especies y balsas, y v) durante diciembre, el fuerte viento imperante y el movimiento de las redes produjo que la trampa se levantara del fondo y quedó invertida, no capturando el material necesario para los análisis.

Por esta razón, al final se consiguió obtener solamente una muestra representativa para el centro de cultivo que correspondió a la muestra lograda al instalar las trampas el 15 de diciembre y que fueron recuperadas el 15 de enero.

También se seleccionó un sitio control (St 2) para determinar las diferencias existentes entre un sitio con centro de cultivo y en otro carente de modo de conocer cuál es la tasa natural de sedimentación del lago y cuál es el potencial de enriquecimiento del fondo que efectúa el centro de cultivo.

En cada lugar se instaló una parrilla con 5 a 6 trampas de sedimentos o colectores cada una distribuidas al azar dentro de cada parrilla (100 cuadrantes por parrilla; 10 x 10; 1m<sup>2</sup>). Cada trampa tiene una altura de 45,0 cm y un diámetro de 7,5 cm de modo de aproximarse a una relación entre el diámetro y altura cuyo cociente sea cercano a 5,77 (Butman, 1986; Findlay & Watling, 1997), de modo que permita comparar número de Reynolds con otros sistemas de colecta de sedimentos, con diferentes tasas de sedimentación y con velocidades de las corrientes de distinta magnitud. En este caso, Findlay & Watling (1997) sugieren utilizar una trampa de sedimentos cuya longitud sea igual a 37,5 cm en altura y posea un diámetro de 6,5 cm.

Debido a la escasa profundidad del sitio de estudio, las trampas fueron colocadas sobre el fondo del lago y fueron mantenidas en el agua a intervalos variables de tiempo (3 a 30 días).

El material de las trampas recuperadas fue tamizado a través de un tamiz geológico de 500 µm de abertura de red para retener animales de gran tamaño que pudieran haber ingresado al interior de cada trampa como también detritus de gran tamaño (zooplancton muerto). Al material remanente recuperado se le adicionó 1 ml de HCl (0,5 N), esperando cerca de 20 minutos para que la materia orgánica y el sedimento decantara. La cantidad de material recolectado fue transferida a frascos para análisis de nutrientes, considerando en cada oportunidad la recuperación de 3 tubos por parrilla. Las muestras de agua como sedimento se mantuvieron en hielo y fueron despachados dentro de 24 horas. Las muestras de sedimentos serán secadas, pesadas y luego se analizaron los contenidos de N y P totales utilizando el método Kjeldal (Wetzel 1981).

Las trampas fueron localizadas bajo las balsas jaulas a través de un buzo, el cual se preocupó posteriormente de su recuperación y reemplazo. En el sitio control las trampas se señalaron con la ayuda de una boya.

Los análisis químicos de los sedimentos colectados en las trampas de sedimentación se efectuaron en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad Católica de Valparaíso (Prof. Nelson Silva). Las determinaciones efectuadas fueron peso seco de sedimento (mediante estufa de vacío a 105 °C), nitrógeno total y fósforo total, Los métodos de análisis empleados fueron, respectivamente, microkjeldahl y fotolorimetría como fosfomolibdato reducida previa oxidación ácida con persulfato.

Por último como una forma de certificar visualmente las características del fondo y las características de las comunidades bentónicas asociadas al sitio control y aquellas existentes bajo las balsas, se procedió a filmar el fondo de ambos sitios en 3 oportunidades (septiembre, enero y mayo). La filmación fue efectuada por el Dr. Mathias Gorny utilizando una cámara profesional SIMRAD Mod. OE 1373, dotada de dos focos de 200 W de intensidad máxima y dos punteros laser. La cámara se operó desde el zodiac con un cable telemétrico que

transmite la energía y entrega las señales a las unidades subacuáticas sumergidas; en la cubierta del zodiac se ubicó el panel de control, un monitor y una grabadora.

La unidad subacuática permitirá realizar un transecto estándar de 250 m de distancia cubriendo un ancho de 0,4 m (100 m<sup>2</sup>), de modo de obtener 30 minutos de filmación en el sitio control y 30 minutos en el sitio en que se localiza el centro de cultivo.

Las imágenes obtenidas serán analizadas identificando los tipos de sedimentos existentes, la agregación de materia orgánica ("dumping site") identificada a través de colores verdes, estimación de la cobertura vegetal e indicando señales de vida animal, además de estimar la abundancia y presencia de organismos macrobentónicos epifaúnicos.

Para estimar el área de filmación, se colocaron dos punteros de láser, posicionados lateralmente en el canastillo, cada punto de luz el fondo en un ángulo en relación del eje vertical de la cámara según la fórmula de regresión exponencial (ver abajo). La distancia entre los dos puntos, visible en el fondo, varía según la distancia entre el canastillo y el fondo. Previo a la salida a terreno se obtuvo una serie de valores de ajuste para calcular la relación entre la distancia *DM* de los dos puntos, visible en el monitor y la distancia *DF*, que es la distancia real en el fondo. Por el monitor, utilizado en este estudio con un marco de 10,4 x 7,8 cm, la curva de ajuste corresponde a una regresión exponencial de la forma:

$$DF = 1,239 \cdot e^{(0,932 DM)}$$

Luego se puede calcular la superficie del marco de cada imagen de la filmación a través de la distancia entre los punteros de láser en la pantalla.

A partir de la delimitación de la zona de sedimentos afectados por el centro de cultivo (color negro, con presencia de una capa de posibles bacterias filamentosas de aproximadamente 10 cm de altura que han colonizado la interfase agua-sedimento) se logró estimar la superficie afectada por las balsas jaulas.

### **Determinar el balance másico de fósforo y nitrógeno considerando los flujos de entrada y salida**

Para determinar el balance másico se determinó la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en las vías de ingreso al lago, todo lo que sale de éste y lo que permanece en la columna de agua. El método de balance másico es el único fiable para estimar la dinámica espacial y temporal del flujo de estos nutrientes entre la columna de agua y los sedimentos (Vollenweider, 1975; Ryding & Rast, 1989; Barg, 1994; Campos et al., 1995; Findlay & Watling, 1997). La regeneración de nutrientes desde los sedimentos del fondo del lago a la columna de agua se denomina resuspensión o carga interna, la cual puede contribuir significativamente a la carga total de



nutrientes de una masa de agua. Esta situación normalmente se evidencia bajo condiciones de fondos anóxicos o suboxícos ( $< 0,5 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  de agua) en aguas hipolimnéticas, aunque varios autores han detectado la liberación de nutrientes bajo condiciones de oxigenación.

En general, de acuerdo a las experiencias realizadas por investigadores del área de la limnología de Chile bajo la ejecución de proyectos FIP (Campos et al., 1995; Campos et al., 1999), el balance másico para cualquier intervalo de tiempo puede ser obtenido a través de la siguiente función:

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

donde,

$L_{\text{int}}$  = carga interna de fósforo o nitrógeno durante el intervalo de tiempo

$L_{\text{out}}$  = pérdida de fósforo o nitrógeno (por salida) de la masa de agua durante un intervalo de tiempo

TP = es la diferencia, positiva o negativa en el contenido de fósforo total o nitrógeno total en la columna de agua durante un intervalo de tiempo.

Para determinar la carga de fósforo en el lago e incorporar este antecedente en la función de balance másico se utilizará la metodología propuesta por Vollenweider (1976) y mejorada posteriormente por Rigley (1978) para este elemento. Las etapas y fórmulas utilizadas para llegar a estimar el balance de masa basado en el fósforo son las siguientes:

- **Carga de fósforo total de los afluentes del lago (Río Rivas y chorrillos del margen norte del lago que aportan agua de origen nival)**

$$L_p = \frac{Q_1 * \{P\}_1 + Q_2 * \{P\}_2 + \dots + Q_n \{P\}_n}{A_o}$$

donde,

$L_p$  = Carga de fósforo anual, expresada en  $\text{mg año}^{-1} \text{ m}^{-2}$

$Q_1, Q_2, Q_n$  = Caudal de cada afluente por año, en  $\text{m}^3$

$\{P\}$  = Concentración promedio de fósforo que corresponde al afluente al cual se ha registrado su caudal, expresado en  $\mu\text{g l}^{-1}$

$A_o$  = Área del lago Sofía, en  $\text{km}^2$

Esta función matemática permitió conocer la cantidad de fósforo que aportó cada uno de los afluentes, a escala anual, al lago Sofía. De acuerdo a lo observado en diferentes visitas a terreno y a la carta IGM y SHOA,

el principal afluente es el río Rivas y una serie de chorrillos que evacuaron sus caudales en forma semipermanente en el margen noreste del lago. En el lado contrario no se observa ningún tipo de afluente.

- **Carga directa de aguas residuales**

Esta variable no se cuantificó debido a la baja densidad poblacional humana existente en los alrededores del lago. De acuerdo al Censo efectuado por el INE en 1992, el sector se caracteriza por una densidad poblacional  $< 1$  indiv  $\text{km}^{-2}$ . La mayoría de los estancieros libera sus desechos domésticos a fosas sépticas alejadas del lago.

- **Carga de fósforo de agua de lluvia**

Se utilizará la siguiente función matemática para estimar la concentración de fósforo aportada por las precipitaciones en el lago. La fórmula es la siguiente:

$$L_N = P_p * (P/A_0)$$

donde,

$L_N$  = es la carga de fósforo expresada en  $\text{mm m}^{-2} \text{año}^{-1}$

$P_p$  = precipitación anual sobre cada lago

$P$  = Concentración de fósforo promedio en el agua de lluvia ( $\text{mg l}^{-1}$ )

$A_0$  = área o superficie del lago ( $\text{m}^2$ )

Esta misma expresión puede ser escrita de la siguiente forma para estimar el aporte en toneladas de fósforo total proveniente de aguas lluvias:

$$L_{NP} = P_{TP} / A_0$$

donde,

$P_{TP}$  = toneladas de fósforo total proveniente del agua de lluvia

$A_0$  = área o superficie del lago

Por último se debe considerar que un porcentaje de esta agua lluvia va a constituir el balance hídrico de los afluentes y otra parte va a permanecer como aguas subterráneas. De acuerdo a las características de las laderas de lago y al terreno en el cual se encuentra inserto se considera que una parte significativa parte podría

quedar como aguas de escorrentías, la que será calculada de acuerdo a las diferencias respectivas y fórmulas de escorrentía.

- **Concentración calculada de fósforo total al lago**

Este parámetro se calculó a través de la siguiente función:

$$P_{\alpha} = \frac{L_{N\alpha} * (1-R)}{z * \tau}$$

donde,

- $P_{\alpha}$  = Carga total de fósforo en el lago Sofía, expresada en  $\text{mg m}^{-3}$   
 $L_{N\alpha}$  = ingreso de fósforo total al lago más el aporte efectuado por la precipitación  
 $1-R$  = tasa de sedimentación, calculada empíricamente a acuerdo a la fórmula:

$$R = 1/z*f$$

donde,

- $z$  = profundidad promedio del lago  
 $f$  = tasa de renovación anual, estimada a partir del agua que ingresa en la cuenca del lago o del agua que sale de la cuenca dividida por el volumen del lago.

- **Cálculo del tiempo de residencia**

Esta variable es sumamente importante de estimar para determinar el tiempo que permanece el fósforo en la columna de agua del lago, y en particular en lagos de la zona de Magallanes, en donde existen bajas temperaturas y en las que se puede llegar a formar una cubierta de hielo en las riberas. Se utilizó la función siguiente:

$$\tau_p / \tau_w = (P_{\alpha} / P_i) / (V/Q)$$

El balance de fósforo total calculado por este sistema permite conocer y proyectar toda la concentración existente en el volumen de agua del lago.



- **Correntometría**

Durante diciembre a objeto de validar cuantitativamente la magnitud de las corrientes del lago y estimar su potencial tasa de renovación se procedió a determinar las corrientes superficiales y fondo en 4 estaciones (Estaciones 1, 3, 6 y 8) con un equipo digital sensoredata durante 30 minutos a intervalos de 1 minuto en cada estrato de profundidad.

Esta actividad se repitió en agosto, 2000 en las estaciones anclando el correntometro sensoredata a 4m. de profundidad en las estaciones 1 y 6.

- **Balance másico**

Como se señaló al inicio de este capítulo, el balance másico se obtiene a través de la siguiente función:

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

Esta fórmula permite conocer o estimar la carga interna de fósforo o nitrógeno durante un intervalo de tiempo.

- **Carga crítica**

Es la carga máxima que debe tener un lago para mantener su estado oligotrófico y se estima de acuerdo a la siguiente fórmula propuesta por Vollenweider (1976):

$$L_c = 10 * (z/f)^{0.6} * z^{0.4}$$

donde,

z = profundidad media del lago, expresada en m

f = es la tasa de renovación anual.

Esta fórmula fue obtenida en un gran número de lagos oligotróficos de la zona temperada-fría del hemisferio norte, cuyo principal sustento teórico se basa en que el tiempo de residencia que posee el fósforo en un lago es función del tiempo de residencia del agua en la cuenca. Por otra parte, el tiempo de residencia del fósforo se considera como una función de la tasa de sedimentación en el lago. El origen glacial de los lagos de la zona de Magallanes, su carácter trófico y las bajas temperaturas permiten señalar *a priori* que esta fórmula

podría ser aplicada para el Lago Sofía, de un modo particular si se logra demostrar que la dinámica espacial y temporal del fósforo se asocia con la producción biológica del lago y que se conozca su valor medio anual.

En general, las fórmulas antes enunciadas han sido basadas para ponerlas en práctica en función del fósforo, elemento que tiene una alta tasa de sedimentación ( $\approx 50\%$ ; Barg, 1994). Para el caso del nitrógeno, los cálculos se hacen más complejos por cuanto permanece en disolución y presenta procesos de nitrificación o desnitrificación que generan ganancia o pérdidas. Esta situación produce que el nitrógeno tenga un tiempo de residencia teórico menor que el fósforo.

Por esta razón, para efectuar el balance másico basado en el nitrógeno se utilizarán dos formulaciones que han sido usadas por investigadores chilenos para estimar la concentración de nitrógeno total en función de algunos parámetros morfométricos de los lagos. A continuación se indican éstas:

- **Nitrógeno total estimado a través de la fórmula de Bachmann (1980)**

Este autor plantea la siguiente fórmula:

$$\ln(L) = 3,24 + 0,708 \ln(TN) + 0,859 \ln(z) + 0,77 \ln(f)$$

donde,

$\ln(L)$  = logaritmo natural de la carga

$\ln(TN)$  = concentración de nitrógeno total medido en el lago

$\ln(z)$  = profundidad media del lago

$\ln(f)$  = Tiempo de renovación anual

- **Nitrógeno total estimado a través de la fórmula de Lorraine et al. (1990)**

$$N\alpha = Nj - Nw$$

donde,

$N\alpha$  = contenido de nitrógeno total de lago

$Nj$  = carga de nitrógeno total de lago (afluentes, precipitaciones)

$Nw$  = salida de nitrógeno del lago ( $V/Q$ )

### **Cuantificar la producción de salmonídeos actualmente en cultivo en el lago Sofía, considerando la especie y la identificación del centro de cultivo.**

Antes de señalar la metodología a ser utilizada para concretar este objetivo específico, es importante señalar que actualmente en el Lago Sofía existe una sola empresa (Acuimag S.A.) haciendo uso de la columna de agua para efectuar cultivo parcial de dos o tres especies de peces salmonídeos (trucha arco iris, *Onchorynchus mykiss*; Salmón Coho, *O. kisutch*, y Salmón del Atlántico, *Salmo salar*, siendo los dos primeros los más utilizados). Esta empresa cuenta con una autorización de la Subsecretaría de Pesca para mantener 12 balsas-jaulas de 10 x 10 m cada una, habiendo mantenido 3.071.550 individuos desde 1991 hasta el año presente con un peso promedio de cosecha que ha fluctuado entre 10 y 350 g. Debido a la baja de precios de los salmones en el mercado internacional en los últimos años, la empresa ha restringido el uso de la fase de agua dulce sólo a los meses de mayor temperatura en el lago (diciembre a marzo), manteniendo individuos desde 2 hasta 70 g. La fase de mar se encuentra concentrada en el sector de Puerto Prat, en el Seno de Ultima Esperanza, aproximadamente a 6 km del lago.

A objeto de cumplir con los requerimientos del Fondo de Investigación Pesquera, se efectuaron las siguientes actividades asociadas a este objetivo específico:

- Identificar y describir los procesos operacionales de la empresa Acuimag S.A. con relación al cultivo de salmónidos. Para lograr esta actividad se establecieron conversaciones con la gerencia de la empresa la cual estuvo de acuerdo en aportar los datos históricos de cosecha, cantidad de alimento, especies cultivadas, etc.
- Se solicitó datos estadísticos históricos de las especies cultivadas, N° peces que se han mantenido en el lago, el peso promedio de ingreso al inicio de la temporada, peso promedio de cosecha, los incrementos de biomasa, la cantidad y los tipos de alimento suministrados y el factor de conversión obtenido, siendo este último un indicador del potencial contaminante por los aportes de P y N a través de los excedentes del alimento liberados a la columna de agua y sedimentos.
- Descripción de las balsas-jaulas, considerando el número de estas, la densidad de peces y la biomasa concentrada en cada una de ellas. Se obtendrán planos con la empresa y se efectuarán mediciones en terreno de la superficie de cada una de las 10 balsas que se encuentran autorizadas actualmente.
- Identificar, a través de los registros históricos de la empresa, los períodos de mínima y máxima carga. Acuimag Ltda. entregó al Investigador Principal de esta propuesta antecedentes acerca de los registros históricos de cosechas, cantidad de alimento, tipos de alimento utilizados, el nombre de la empresa que vende el alimento, etc. Con estos antecedentes se han diseñado tablas por especie para identificar los

períodos en que se efectúa en mayor medida la actividad acuícola en el lago Sofía. Durante agosto, 2000 la empresa Acuimag S.A. aportó estadísticas semanales.

- Obtención de parámetros biológicos de las poblaciones de salmónidos mantenidos en cautiverio. Durante la temporada primavera/verano 1999/2000 se procedió a obtener muestras bimensuales de 100 g de al menos 3 balsas jaulas y considerando las diferentes especies que se cultiven a fines de año. Con estas muestras se procedió a obtener los siguientes parámetros poblacionales para cada especie:
  - Longitud total (cm)
  - Peso total (g)
  - Relación Longitud/peso
  - Estructura de talla
  - Tasa Mortalidad/supervivencia
  - Crecimiento

La longitud total se midió desde el extremo anterior a la altura de la boca hasta el extremo distal de la aleta caudal. El peso total se obtuvo con una balanza de terreno operada con baterías marca Ohaus Mod. P-11003-0 con una precisión de 0,1 g. La relación longitud/peso se obtuvo conformando una base de datos para cada especie e insertando los datos recopilados en archivos EXCEL utilizando la planilla electrónica para obtener las funciones de regresión y el coeficiente de determinación. La estructura de talla permitió conocer el grado de variación en el crecimiento de los peces y su impacto en la selección de los calibres de las dietas. La tasa de supervivencia/Mortalidad fue calculada cuantificando el número de individuos muertos que aparecen flotando diariamente y obteniendo la suma mensual para conocer la mortalidad total durante el período de cautiverio. El crecimiento fue calculado en función de las variaciones de longitud y peso cada mes.

**Estimar, a través de un modelo de simulación, la capacidad de carga en términos de máximo stock cultivable de especies salmonídeas**

- **Descripción del modelo de simulación 1**

El modelo de simulación será diseñado en función de dos SIG, SIGREL y las cartas bases o carpetas diseñadas con los datos obtenidos durante el proyecto. La carpeta base estará construida considerando el lago Sofía, el río Rivas y el río Sofía e incorporando los chorrillos si estos aportan agua al lago, además de antecedentes sobre los tipos vegetacionales, actividades productivas y usos dados al suelo, etc.. La segunda

carpeta estará basada en los niveles de fósforo registrados durante el estudio, considerando las concentraciones promediadas para periodos de invierno y verano y promediadas en función de los estratos en que se hayan obtenido las muestras (superficie, intermedias y fondo). La tercera carpeta estará constituida por los aportes de nitrógeno existentes en el lago y afluentes. La cuarta carpeta estará orientada a describir la densidad de peces cultivados en el lago. La quinta carpeta considerará los aportes de aguas lluvia y su contribución al balance de P y N hacia el lago. La sexta carpeta incorporará los datos del balance másico y del balance de P y N. La séptima carpeta incluirá los datos de N y P que son exportados desde la columna de agua hacia los sedimentos.

Con las bases de datos con que se diseñarán estas carpetas se procederá posteriormente a preparar una carta o carpeta general en la cual será posible efectuar predicciones en forma gráfica a través del software ArcView 2.0.1 y Arc Info 7.2.1.- Con estos softwares se logrará manipular, integrar y superponer la información recopilada en las bases de datos y con ello poder predecir nuevas situaciones. Además ofrece la oportunidad representar situaciones teóricas y salida de datos espacialmente georeferenciados. Estas bases de datos serán entregadas al FIP para que se pueda llegar a predecir el impacto al incorporar nuevos centros de cultivo, aumentar la densidad de peces dentro de una misma empresa, cambiando los factores de conversión del alimento o modificando los tamaños de los peces.

Las bases de datos y las carpetas serán procesadas en el CERE de la UMAG utilizando un computador Dell Pentium II, 125 RAM y disco duro de 6 GB.

También Barg (1994) cita el modelo de enriquecimiento orgánico del bentos, el cual se basa en el supuesto que la dispersión y carga de desechos de partículas orgánicas en el sedimento dependerá de la cantidad de desechos producidos, superficie cubierta por el centro de cultivo, profundidad del sitio, velocidad de la corriente y la tasa de sedimentación de las partículas de desechos (fecas y restos de alimento). Gowen et al (1989, citado por Barg, op. cit.), plantea la siguiente ecuación para estimar la distancia en la cual sedimentos van sobre el fondo:

$$d = D * Cv/V$$

donde,

d = distancia horizontal de dispersión recorrida por las partículas

D = profundidad del sitio

Cv = Velocidad promedio de la corriente

V = tasa de sedimentación de las partículas de desecho.

Este modelo tiene como limitaciones que no considera que las tasas de sedimentación de las fecas y el alimento son diferentes. Otras limitaciones son que no considera posible consumo de peces nativos, del alimento no consumido, posible resuspensión del material ya sedimentado, características del fondo (erosivo v/s deposicional), efecto de los organismos bentónicos sobre estas partículas y otros procesos microbiológicos y químicos relacionados con la metabolización de la materia orgánica.

### **Estimar el aporte de quimioterapéuticos y su persistencia en el medio ambiente, por parte de los centros de cultivo que operan en el lago**

- **Catastro de quimioterapéuticos**

Se efectuó una revisión bibliográfica acerca de los tipos de productos quimioterapéuticos existentes en el mercado nacional y que son utilizados en la salmonicultura (Anexo I). Esta se complementó con una encuesta realizada a las principales empresas vendedoras de productos quimioterapéuticos en el mercado nacional. Ambas actividades se concentraron en conocer los nombres comerciales, los microorganismos sobre los cuales actúan, el compuesto activo, si corresponden a productos terapéuticos, vacunas o desinfectantes, conocer la persistencia en el medio ambiente y el destino (agua/sedimentos) y por último conocer los potenciales impactos ambientales a la fauna silvestre.

- **Selección de compuestos quimioterapéuticos a analizar**

En primer término se entrevistó al encargado de la sanidad animal de la empresa Acuimag y se le consultó acerca de los productos más utilizados y se le solicitó a la empresa la posibilidad de entregar antecedentes acerca de los volúmenes utilizados anualmente y para que tipo de controles sanitarios han sido utilizados.

De acuerdo al presupuesto disponible, se seleccionaron cinco tipos de productos quimioterapéuticos, en el caso que la empresa los utilice habitualmente. Estos productos serán seleccionados principalmente sobre la base de tiempo de residencia en los sedimentos y en evidencia documentada que indique que producen impactos significativos sobre la fauna local.



- **Diseño de muestreo**

Originalmente, se planteó analizar el contenido de productos quimioterapéuticos en los sedimentos ubicados bajo las balsas-jaulas (estación 1) y en una estación control (estación 2). Sin embargo, la Dra. San Martín (Universidad de Chile) planteó que para calibrar sus equipos, los que normalmente están calibrados para cuantificar la presencia de productos quimioterapéuticos en carne de salmones, requeriría establecer nuevos protocolos de análisis, los que elevarían los costos por sobre lo estimado originalmente. Por esta razón, se acordó con la Dra. San Martín efectuar los análisis sólo en carne de salmones. Esto implicó que solamente los análisis efectuados en la estación 1.

La cuantificación de productos quimioterapéuticos se estimaron en dos períodos del año en que exista presencia de peces en el lago. Las muestras fueron enviadas por avión hasta Santiago dentro de un plazo de 48 horas de tomadas éstas, siendo enviadas en cajas térmicas enfriadas para mantener la temperatura. En el sitio control se obtuvieron dos muestras tanto en invierno como en verano, mientras que bajo las balsas jaulas se obtendrán 3 muestras en cada oportunidad.

De acuerdo a la reformulación de este objetivo por parte de los evaluadores del proyecto, nuestra propuesta propuso que de acuerdo al Programa de Control de Residuos de medicamentos implementado por el Servicio Nacional de Pesca desde 1997, se consideraría los análisis de carne de salmones para detectar la presencia de los siguientes productos:

- Oxitetraciclina (sensibilidad de 10 ppb)
- Enrofloxacina (sensibilidad de 5 ppb)
- Flumequina (sensibilidad de 5 ppb)
- Acido oxolínico (sensibilidad de 5 ppb)
- Eritromicina (no se cuenta con esta información)

Las metodologías analíticas para determinar la cantidad de residuos de estos productos se encuentran estandarizadas por este laboratorio, utilizando cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

## Determinar las áreas más apropiadas para establecer centros de cultivo de salmónidos

### • Heterogeneidad espacial (IH) de las orillas o márgenes del lago

Se analizará para determinar el número de ensenadas o bahías protegidas que permitirían el establecimiento de nuevos centros de cultivo. Este análisis se efectuará a través de la siguiente fórmula:

$$IH = PL/PR$$

donde,

PL = es el perímetro de cada margen del lago, determinado en forma lineal

PR = es el perímetro de cada margen del lago siguiendo la curvatura y accidentes reales

Si  $IH = 1$ , entonces la ribera del lago sería demasiado recta y expuesta a los vientos y por lo cual no sería recomendable un nuevo uso. Si PR es demasiado grande e IH tiende a 0, indicador de una ribera heterogénea y con mayor disponibilidad de sitios para la acuicultura, se señalarán en cartas los potenciales lugares que podrían ser utilizados para esta actividad.

### • La batimetría del lago

De acuerdo a los datos obtenidos al realizar la carta batimétrica del lago Sofía, se determinará el porcentaje de áreas con profundidades entre 5 y 25 m, para ser consideradas aptas para la acuicultura. De acuerdo a la conformación geológica del lago, el borde norte presentaría grandes acantilados y el extremo opuesto sectores someros.

### • Distribución espacial de los sedimentos

En la presente propuesta se propone efectuar análisis sedimentológicos del lago para obtener una carta de distribución espacial con los diferentes tipos de sedimentos. En cada oportunidad se obtendrán muestras de sedimento con una draga Ekman de 225 cm<sup>2</sup> de mordida en un total de 30 estaciones distribuidas en 6 transectas paralelas. Las estaciones serán posicionadas con un GPS marca GARMIN Mod. GPS III.

De las muestras de sedimentos se efectuarán los siguientes análisis:

- Composición granulométrica basado en la escala de Wenworth.
- Distribución espacial de los sedimentos

### • Accesos al lago

Actualmente existen dos accesos al lago, abarcando ambos una pequeña fracción del perímetro total del lago. Por esta razón, en nuestra propuesta se analizarán las vías de acceso a éste, las que serán señaladas en

una carta a escala de 1:50.000. Se efectuarán consultas en el Gobierno Regional para conocer los futuros planes en relación a obras camineras que abarquen o consideren sitios aledaños a la ruta Cueva del Milodón y Ruta Parque Nacional Torres del Paine.

- **Dinámica de los vientos**

Para conocer la dinámica temporal de la intensidad y dirección de los vientos se solicitarán estos antecedentes a la estación meteorológica existente en el aeropuerto local de Puerto Natales. Con ello se mapeará cuales son las máximas intensidades alcanzadas en la zona y cuales son las direcciones predominantes, en particular en verano, que es el lapso en el cual se dedica al alevinaje y esmoltificación en agua dulce. De existir oportunidades de filmar en terreno o fotografiar días en que exista mal tiempo se complementará la información obteniendo material gráfico de altura para identificar las zonas más protegidas a los vientos.

**Sensibilizar el modelo aplicado en función de la incorporación de nuevos centros de cultivo a los ya autorizados**

Esta actividad fue desarrollada de acuerdo a la metodología utilizada en forma tradicional por diversas instituciones nacionales dedicadas a determinar la capacidad de carga en sistemas de lagos (Campos et al. 1993, Campos et al. 1998, Campos et al. 1999, Prado et al. 1999). Otros detalles propios de nuestro trabajo se señalan en el capítulo respectivo.

## RESULTADOS

La presentación de los resultados se resume en 20 capítulos independientes, cuyos títulos son:

- Capítulo N° 1: Antecedentes del lago Sofía
- Capítulo N° 2: Uso del suelo y caracterización de las cuencas y subcuencas
- Capítulo N° 3: Ingreso de nutrientes por los afluentes
- Capítulo N° 4: Exportación de nutrientes por los efluentes
- Capítulo N° 5: Ingreso de nutrientes por precipitaciones y balance hídrico en la cuenca del lago Sofía
- Capítulo N° 6: Ingreso de N y P total al lago Sofía por el centro de cultivo
- Capítulo N° 7: Cuantificación de la producción de peces salmonídeos en el lago Sofía
- Capítulo N° 8: Contenido de nitrógeno y fósforo en la columna de agua del lago Sofía
- Capítulo N° 9: Contenido de nitrógeno y fósforo en los sedimentos del lago Sofía (muestreo intensivo)
- Capítulo N° 10: Otras fuentes probables de enriquecimiento del lago Sofía
- Capítulo N° 11: Balance de fósforo y nitrógeno total del lago
- Capítulo N° 12: Determinación de capacidad de carga en términos de stock cultivable de salmones en el lago Sofía y capacidad de cultivo
- Capítulo N° 13: Modelo de simulación de fósforo y nitrógeno aportado por centros de cultivo de salmonídeos
- Capítulo N° 14: Selección de áreas apropiadas para establecer centros de cultivo
- Capítulo N° 15: Análisis de productos quimioterapéuticos en peces cultivados y sedimentos del lago Sofía
- Capítulo N° 16: Macrobentos lago Sofía
- Capítulo N° 17: Zooplancton lago Sofía
- Capítulo N° 18: Fitoplancton del lago Sofía
- Capítulo N° 19: Filmación subacuática como medio de descripción del fondo bajo balsas jaulas y sitio control
- Capítulo N° 20: La rotación de áreas como estrategia de manejo para desarrollar sostenidamente la salmonicultura en lagos

## CAPITULO N° 1

### • ANTECEDENTES DEL LAGO SOFIA

La laguna Sofía o lago Sofía se encuentra localizada en la Provincia de Ultima Esperanza (Fig. 1) a aproximadamente 30 km de Puerto Natales y a aproximadamente 300 km al norte de la ciudad de Punta Arenas, perteneciendo a un grupo de lagos formados durante la última glaciación en la zona de Magallanes (Clapperton 1993), entre los que se incluyen los lagos localizados en el Parque Nacional Torres del Paine. La posición geográfica del área en que se localiza el lago corresponde a una latitud de 50°40' y la longitud es de 72°40' O, localizándose a aproximadamente 25 m sobre el nivel del mar (Fig. 1).

El lago ocupa un valle pleistocénico modelado por la acción glacial y delimitado por el costado norte por altas montañas (cerro Prat y Señoret). La edad geológica se estima en aproximadamente 15.000 años, que corresponde al período de retracción de los glaciares patagónicos (Markgraf 1993). El extremo norte del lago se caracteriza por la existencia de fuertes pendientes (10-15%), con claras evidencias de erosión eólica e hídrica.

El lago Sofía posee una longitud total de 7,2 km y un ancho máximo de 2,8 km (Tabla 1). En su interior se localizan dos pequeñas islas, ubicadas en el extremo sur oeste del lago. El desarrollo de línea costera muestra un alto valor, indicando que la laguna posee forma irregular (Varela 1978) (Tabla 1).

Los principales aportes de agua del lago son provistos por el derretimiento de la nieve depositada en las cumbres de los cerros localizados en el extremo norte de éste. El derretimiento de la nieve a lo largo del tiempo ha provocado la aparición de importantes cauces pequeños (< 2 m de ancho y menos de 0,3 m de profundidad) del tipo "chorrillos" (Watershed en inglés; Hedin & Campos 1991) ubicados en el margen norte que a su vez han dado origen a profundas quebradas. De acuerdo a las fotografías aéreas (Fig. 2) y a la carta IGM del área se han logrado identificar seis chorrillos que aportan agua de origen nival en forma directa al lago Sofía, que a su vez son alimentados por otros más pequeños ubicados en la parte superior del Cerro Manuel Señoret. Estos chorrillos no están activos en forma permanente por lo cual en la medida que disminuye la nieve acumulada van dejando de aportar agua al lago.

Aparte de los chorrillos, el principal afluente al lago es el río Rivas, que en la zona cercana a la desembocadura alcanza una profundidad de 2,0 m y alcanza un ancho de hasta 4,5 m. Las aguas muestran escasa velocidad.

El principal efluente del lago Sofía es el río Sofía, el cual después de una corta trayectoria une sus aguas con las del río Prat, y a través de éste descarga las aguas al Seno de Ultima Esperanza. La zona que conecta al río Sofía con el lago posee baja profundidad (< 2,0 m) y abarca un ancho de aproximadamente 100 m.

Posteriormente, el río alcanza una profundidad máxima de 0,6 m. La zona que conecta al lago con el río Sofia muestra indicios de encontrarse en un proceso de fuerte sedimentación, la cual se ve complementada por la presencia de abundante plantas acuáticas de tipo juncácea (*Scirpus californicus*) que actúan como trampa de sedimentos finos. El ancho del río a medida que se distancia del lago, no supera los 4 m de ancho y la profundidad es inferior a 0,6 m.

El mapa batimétrico desarrollado durante este estudio indica que posee una profundidad máxima de 40 m, con una profundidad promedio de 17,7 m (N = 87 ecoregistros). Las máximas profundidades (30 a 40 m) se concentran en una hoya extendida en el eje este-oeste y abarca aproximadamente una franja de 3,5 km (50% de la longitud total del lago) (Tabla1)

De acuerdo a la data limnológica obtenida en las diferentes campañas efectuadas en estos 6 meses muestran que el lago es de tipo meso-eutrófico, con una visibilidad del disco secchi variable entre 5 y 7 m de profundidad, concentración de clorofila a activa  $> 0,05 \mu\text{g l}^{-1}$ , concentraciones de P total  $> 20 \mu\text{g l}^{-1}$ , concentraciones de N total  $> 400 \mu\text{g l}^{-1}$ . Según los perfiles verticales de temperatura se observa que no existen diferencias claras entre la temperatura superficial y de fondo (hasta 15 m de profundidad), no detectándose la presencia de una termoclina, por lo cual posee una columna de agua relativamente homogénea en términos térmicos, de conductividad, color, turbidez, pH, contenido de oxígeno y concentración de pigmentos. En general, la columna de agua del lago esta permanentemente oxigenada, lo que se denota en la presencia de sedimentos de color pardo a amarillos del tipo limo-arcillosos en la zona central del lago.

En el lago opera solamente una empresa de cultivo de peces dedicada al alevinaje y producción de smolts, que posee una autorización para mantener hasta 12 balsas de 10x10 m.

En general, se puede señalar que el lago Sofia es un lago somero respecto a los estudiados por Soto et al. (1994) en el Parque Nacional Torres del Paine. También muestra una gran irregularidad en su línea de desarrollo de costa (Fig. 3). Posee un área cercana a  $9 \text{ km}^2$ , un perímetro cercano a 20 km, y un volumen máximo de  $247.159.742,8 \text{ m}^3$ .

Las curvas de nivel y sus proyecciones (Fig. 4) muestran que el lago por el costado norte está bordeado por montañas que alcanzan alturas de hasta 1268 m, mientras que por el lado sur se observan cerros de menor altura (máxima altura 556 m; Cerro Benitez). Por el costado sur-oeste se observan planicies que se extienden y/o disminuyen de tamaño desde el lago hasta alcanzar la zona costera correspondiente al Seno de Ultima Esperanza. El lado norte o cordillerano representa la zona de acumulación de nieve y de aporte de agua de origen nival al lago. La subcuenca originada por el río Rivas muestra baja altura ( $< 90 \text{ m}$ ). Observando el



contorno de la curva de nivel de 50 m, se puede constatar que el lago se encuentra muy próximo al nivel del mar ( $\leq 25$  m s.n.m) (Fig. 4).

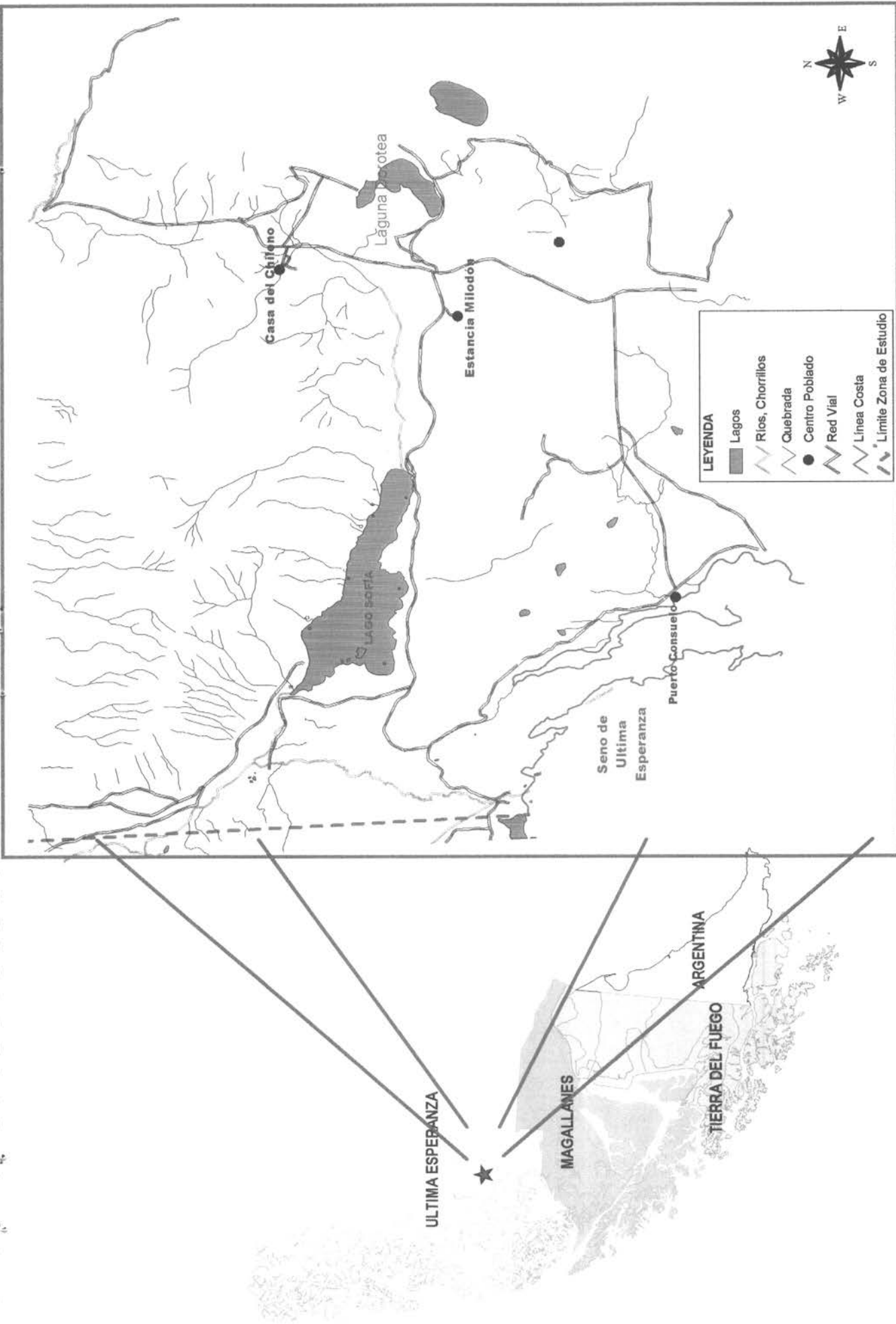
**Tabla 1.-** Parámetros morfométricos del lago Sofía, XII Región, Chile. De acuerdo a las fluctuaciones del nivel de agua del lago registradas durante enero, este valor se modificará posteriormente, ya que en este mes hubo un descenso significativo en el nivel del lago (60 cm de altura).

### PARAMETROS MORFOMETRICOS LAGO SOFIA

---

• Latitud	= 51°30'30" S
• Longitud	= 72°40'00" O
• Latitud (escala UTM)	= 663280 (centro lago)
• Longitud (escala UTM)	= 4288500 (centro lago)
• Altitud Promedio (m s.n.m.)	= 25
• Longitud máxima, L, m	= 7194
• Ancho máximo (m), a, m	= 2650
• Ancho promedio (m), $\bar{a}$ , m	= 1275
• Area de la superficie, A, km <sup>2</sup>	= 8,922228
• Perímetro, P, km	= 19,65
• Desarrollo de línea costera: $L / 2 * (\pi A)^{0.5}$	= 19,04
• Profundidad media (m) (n = 87 registros de ecosonda)	= 17,7
• Profundidad Máxima (m) s. registro ecosonda	= 40
• Profundidad Media (z) = $V/A$ , m	= 22,81
• Volumen máximo, $V_{\text{máx.}}$ , m <sup>3</sup> (estimado según SIG)	= 247.159.742
• Volumen durante el estudio (m <sup>3</sup> )	= 247.159.742 (*)
• Porcentaje de áreas someras, < 30 m (%)	= 59,48
• Porcentaje de áreas < 15 m profundidad (%)	= 16,11

---



**FIGURA N°1: Localización Geográfica del Lago Sofía en la XII Región**

**UNIVERSIDAD DE  
MAGALLANES**

**ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26**

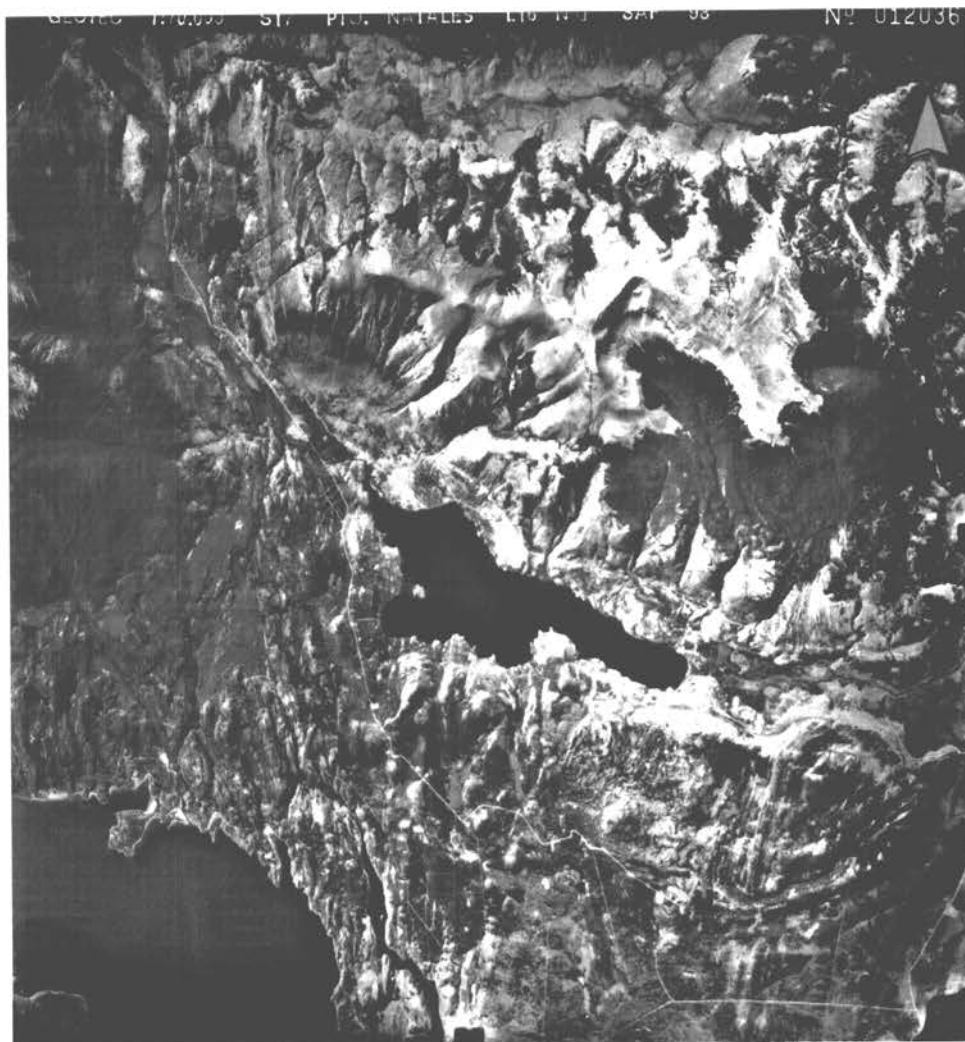
**JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE**

2000  
Escala 1: 50.000

Mapa en  
Coordenadas UTM

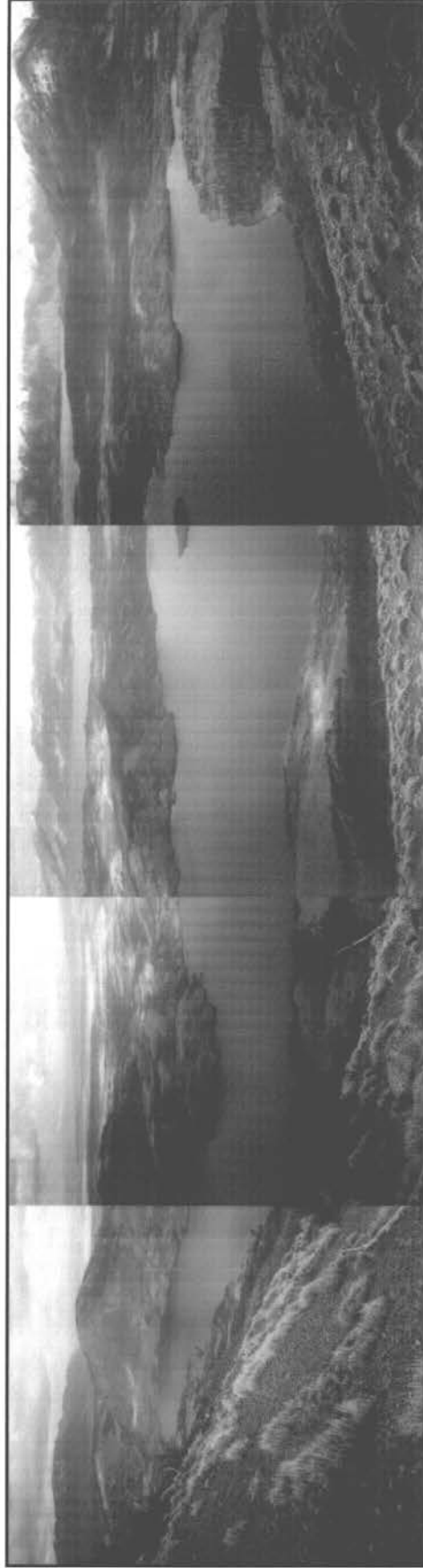
Software  
Arc View 3.2

Gráfica: Centro de Estudio de los  
Recursos Energéticos



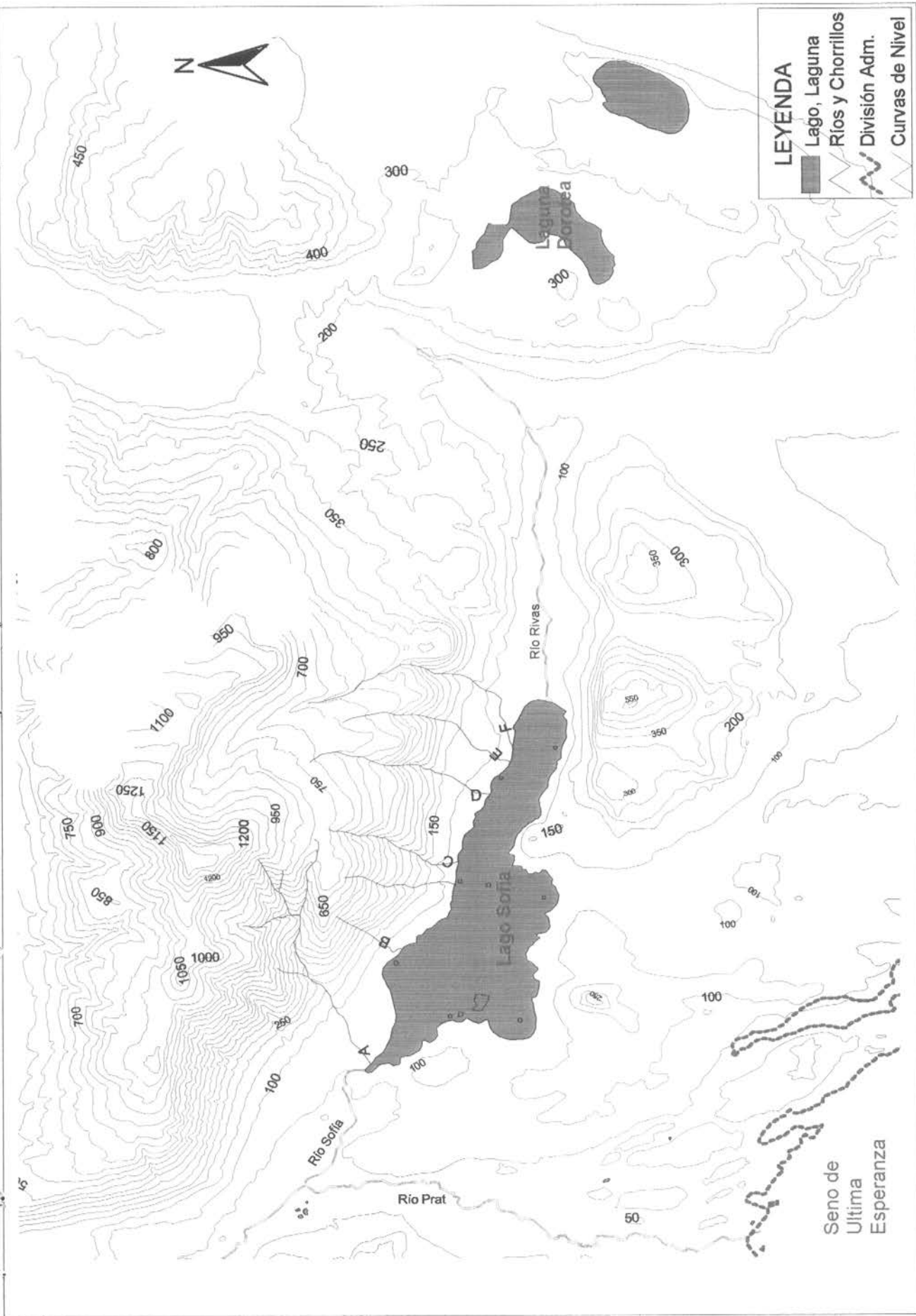
**FIGURA N°2 : Fotografía Aérea N°012036**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>			<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Enero 2000 Escala 1: 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software :ArcView 3.2	<b>Diseño Gráfico: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos</b>



**FIGURA N° 3 : Mosaico de Fotos del Lago Sofía XII Región.**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000		Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



**FIGURA N° 4: Distribución de las Curvas de Nivel en la Zona de la Cuenca del Lago Sofia.**

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26		JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE
	2000 Escala: 1: 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2
			Grafica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

## CAPITULO Nº 2

### USO DEL SUELO Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS Y SUBCUENCAS

La función de este capítulo es la de caracterizar geoespacialmente la cuenca hidrográfica lacustre del lago Sofía, considerando distintos tipos de factores físicos, actividades productivas, de uso y características de las agrupaciones humanas existentes alrededor del lago. De igual manera la información obtenida en este capítulo permitirá asociar las interrelaciones que se dan al interior del lago y sus cuencas o subcuencas de drenaje. En este sentido, en esta fase del estudio se describen las condiciones ecológicas y limnológicas actuales del lago. Se describen las laderas de las cuencas en función de unidades homogéneas de pendientes. También se describen los subsistemas hídricos que forman parte de la cuenca.

El contenido de agua de un lago representa la suma total de agua recibida desde su cuenca de drenaje e indirectamente de las subcuencas de los tributarios o de pequeños arroyuelos o chorrillos que confluyen al mismo. De igual forma, el uso dado en cada una de dichas cuencas de drenaje define en forma importante la concentración de nutrientes que ingresan al lago y reflejan el nivel de alteración de los sistemas naturales asociados a la cuenca de drenaje. En este contexto se destacan los tipos de usos dados al suelo a través de la actividad forestal, de la cantidad de áreas desprovistas en las zonas ocupadas con nieves y glaciares y se consideran también los usos de tipo agropecuario o de valor turístico efectuado al interior de la cuenca hidrográfica (Fig. 1).

#### CUENCA DEL LAGO SOFIA

La cuenca hidrográfica del lago (Fig. 4) es una cuenca hidrográfica trasandina, con forma de L, conformada por los macisos del cordón Dorotea por el este, por la cordillera Manuel Señoret por el Norte y por dos cerros de <500 m de altura ubicados al sureste del lago. Tiene una superficie aproximada de 63,6 km<sup>2</sup>, en su curso inferior se localiza el espejo de agua del lago, con una superficie de 8,9 km<sup>2</sup>. Siguiendo una orientación este-oeste, esta cuenca desagua a través del río Sofía a la gran cuenca del río Prat, y partir de éste las aguas son descargadas finalmente en el Seno de Última Esperanza. El principal río afluente de esta cuenca tanto por su extensión como por el aporte de agua que hace al lago es el río Rivas, el que nace en el sector nor-este de la cordillera Manuel Señoret, a aproximadamente 800 m de altura y hace un recorrido aproximado de 8,3 km, antes de evacuar en el lago Sofía.



## SUBCUENCAS HIDRICAS

En la cuenca del lago Sofía se identificaron 3 subcuencas hídricas, correspondientes a chorrillos (o watershed, en inglés) que drenan las vertientes por el costado norte y lado nor-este del lago. La subcuenca más importante por la superficie que cubre es la del río Rivas o subcuenca N° 3, que drena en la cabecera de la cuenca. Debido a que presenta una superficie de 40,79 km<sup>2</sup> representa más de un 457% de la superficie total del lago. Forman parte de esta subcuenca las llanuras que bordean la laguna Dorotea y otra laguna sin nombre conocido, que independientemente descargan sus aguas al río Rivas a la altura de la Estancia El Chileno. Estas lagunas durante mayo del 2000 se encontraban descargando agua al río Rivas, mientras que en abril los cauces se encontraban secos, implicando que existe una conexión intermitente entre éstas y el río (Fig. 5)

En segundo lugar, se encuentra la subcuenca N° 2, la que se encuentra representada por una serie de quebradas que dividen un macizo del lado norte, generando al menos siete chorrillos, cuatro de los cuales estuvieron activos durante este estudio (los más próximos a la cabeza del lago). Los cuatro chorrillos tienen su origen en la cordillera Manuel Señoret a una altura que fluctúa entre 600 y 750 m s.n.m. Cada uno de los 4 chorrillos presentan una extensión aproximada de 1 (Chorrillo C) a 4,6 km (Chorrillo F). Esta subcuenca posee un área de 17,5 km<sup>2</sup>

Por último, la subcuenca N° 1 se origina a partir de diferentes quebradas localizadas en la parte alta, sector oeste, del cerro Mocho que drenan a través de un cañadón central que posteriormente descarga las aguas al lago Sofía a través de una planicie de escasa pendiente que actúa produciendo una dispersión del caudal principal. El sitio de descarga se localiza aproximadamente a 700 m del origen de único efluente del lago, el río Sofía. El chorrillo (A) que da origen esta subcuenca tiene una longitud de 1,9 km si no se consideran las quebradas que lo originan, o de 4,5 km si se consideran a éstas. El área que cubre esta subcuenca es de aproximadamente 5,4 km<sup>2</sup> y corresponde al 60,52% de la superficie del lago Sofía.

Considerando el bajo número de subcuencas, se consideraron en el análisis las tres. En la subcuenca N° 2, se había considerado analizar cinco chorrillos (B, C, D, E y F), pero el identificado como B, nunca presentó aportes de agua al lago.

La información base y el modelo digital, tridimensional, de terreno que caracteriza el relieve de la cuenca se muestra en la Fig. 6.

## UNIDADES GEOMORFOLOGICAS ASOCIADAS A LA CUENCA DEL LAGO SOFIA

La Fig. 7 muestra las unidades geomorfológicas identificadas en la cuenca del lago Sofía por el SIGREL. En ella se puede observar que una gran superficie de terreno presenta nulas posibilidades de desarrollo de actividades productivas por las fuertes pendientes existentes sobre la terraza fluvial. En este sentido, la terraza fluvial y algunos sectores de la cuenca glacial se caracterizan por el uso dado en ganadería, que a noviembre de 1999, sostenía la presencia de 4.100 cabezas de ganado ovino, vacuno y caballar (Información proporcionada por el Servicio Agrícola Ganadero).

La cuenca de tipo glacial presenta suelos del tipo plano a ligeramente ondulados, mientras la terraza fluvial que rodea por el lado norte al lago se caracteriza por la existencia de suelos del tipo plano deposicional.

### • CARTAS DE USO DEL SUELO

La superficie territorial que se describe corresponde a la que abarca la imagen satelital de la vegetación existente en la cuenca del lago Sofía, generada a través del software ArcView a partir de la imagen Landsat TM proporcionada por el Servicio Agrícola y Ganadero de la XII Región (Fig 8), y que fuera interpretada en la Fig. 9.

El valle del lago Sofía fué labrado por los glaciares pleistocénicos en rocas sedimentarias cretácicas (Cortés 1985). Este lago está flanqueado al norte por la cordillera Manuel Señoret y el cerro Mocho (M) y una alargada terraza lacustre en la cota de 150 m al pie de la cordillera mencionada. Esta terraza lacustre (T) alta, tuvo su origen en el embalsamiento de un lago glacial de gran extensión regional ocurrido durante el receso paulatino de los hielos (Weischetr 1956, Cortés 1985, Zamora & Dollenz 1985). Al sur y en el extremo oeste del lago Sofía se extienden serranías rocosas muy bajas con ondulaciones suaves (P). En el extremo este se encuentra el humedal del río Rivas (H) y también en el sureste del lago se levantan cerros rocosos (R) fuertemente erosionados (Fig. 10).

Casi el 100 % del área estudiada era originalmente boscosa. El proceso de colonización del área en las primeras décadas del siglo XX, contemplaba como procedimiento normal el incendio y tala de los bosques para abrir campos a la ganadería. De aquí que en la actualidad, las formaciones vegetacionales del valle Sofía se encuentran profundamente alteradas y se distribuyen espacialmente en mosaico o en parches irregulares y sus límites no tienen concordancia ajustada con la geomorfología del lugar. A consecuencia de ello, las unidades de paisaje delimitadas en la fotointerpretación con criterio geomorfológico, las montañas (M), la terraza lacustre (T), las planicies rocosas (P), el humedal (H) y los roqueríos (R) erosionados presentan una vegetación de parches variados (Fig. 9), con una flora que presenta varias especies introducidas con algunas malezas muy abundantes y persistentes, debido al pastoreo fuerte de ganado bovino, ovino y caballares.

En el valle se distinguen cinco unidades de paisaje, cada una de las cuales presenta una composición florística distinta (Fig. 7):

### Las montañas del norte del lago

Coironales, *Festuca gracillima* (70%), *Bellis perennis*, *Azorella fuegiana*, *Chiliotrichum diffusum*, *Valeriana carnososa*, *Lathyrus magellanicus*, *Deschampsia flexuosa*, *Discaria chacaye*, *Luzula alopecurus*, *Armeria maritima*, *Chloraea magellanica*, *Cerastium arvense*, *Vicia magellanica*, *Viola maculata*, *Baccharis magellanica*, *Empetrum rubrum*, *Anarthrophyllum desideratum*, *Calceolaria uniflora*, *Gaultheria mucronata*, *Hypochaeris radicata*, *Poa alopecurus*. Suelos arenosos delgados.

Roqueríos. Suelo (50%) litosuelos delgados, afloramientos rocosos. *Gaultheria mucronata*, *Baccharis magellanica*, *Acaena sericea*, *Bolax gummifera*, *Viola reichei*, *Hypochaeris incana*, *Cerastium arvense*, *Perezia recurvata*, *Berberis buxifolia*, *Acaena pinnatifida*, *Anarthrophyllum desideratum*, *Nassauvia darwinii*, *Calceolaria uniflora*, *Calceolaria biflora*, *Trisetum spicatum*, *Hypochaeris radicata*, *Luzula alopecurus*, *Festuca gracillima*, *Gavilea lutea*, *Rumex acetosella*, *Festuca magellanica*.

### La terraza lacustre

Bosque de lenga. Cobertura 100%. *Nothofagus pumilio* 12 m, 50 cm diámetro, pendiente 40°, 70 % cobertura. *Osmorhiza chilensis*, *Galium aparine*, *Chiliotrichum diffusum* (15%), *Acaena ovalifolia*, *Deschampsia flexuosa*, *Festuca ovina*, *Cerastium arvense*, *Codonorchis lessonii*, *Maytenus magellanica*, *Embothrium coccineum*, *Holcus lanatus*, *Berberis buxifolia*, *Poa alopecurus*, *Phacelia secunda*, *Myoschilos oblonga*. Franco.

Ladera pastizal. *Phleum alpinum*, *Holcus lanatus*, *Deschampsia flexuosa*, *Berberis buxifolia* (10 %) *Perezia recurvata*, *Calceolaria biflora*, *Acaena pinnatifida*, *Rumex acetosella*, *Luzula alopecurus*, *Hypochaeris radicata*, *Baccharis magellanica*, *Festuca magellanica*, *Geranium magellanicum*, *Acaena magellanica*, *Dactylis glomerata*, *Nassauvia darwinii*, *Leptinella scariosa*, *Agropyron magellanicum*. *Chiliotrichum diffusum*, *Myosotis discolor*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*, *Cerastium arvense*, *Poa pratensis*, *Poa patagonica*. Franco arenoso.

### El humedal del río Rivas

Humedal del río Rivas. Suelo arcilloso. *Hippuris vulgaris*, *Carex banksii*, *Carex curta*, *Ranunculus peduncularis*, *Alopecurus magellanicus*. Pastizal húmedo. *Poa pratensis* (80%) *Taraxacum officinale* (20%) *Holcus lanatus*, *Acaena magellanica*, *Dactylis glomerata*, *Rumex crispus*.

Vega plana de gramíneas. Suelo arcilloso. *Nothofagus antarctica* bosquecillo abierto 20%. *Agropyron magellanicum*, *Gunnera magellanica*, *Agrostis stolonifera*, *Taraxacum officinale*, *Juncus scheuchzerioides*, *Poa pratensis*, *Vicia magellanica*, *Acaena magellanica*, *Holcus lanatus*, *Escallonia virgata* (5%), *Bellis perennis*, *Alopecurus magellanicus*, *Cerastium fontanum*, *Ranunculus peduncularis*, *Trifolium repens* (bosta vacuno).

### **Planicies onduladas rocosas**

Extremo lago Sofía. *Nothofagus pumilio*, *Nothofagus antarctica*, *Embothrium coccineum*, *Chiliodendron diffusum*, *Berberis buxifolia*, *Poa pratensis* (40%), *Taraxacum officinale* (30%), *Rumex acetosella*, *Holcus lanatus* (20%), *Myosotis discolor*, *Acaena pinnatifida*, *Acaena magellanica*, *Cerastium arvense*, *Plantago lanceolata*, *Armeria maritima*, *Viola maculata*, *Arjona patagonica*, *Poa alopecurus*.

Valle del otro extremo. Vega con *Escallonia virgata* (50%) y *Nothofagus antarctica*, *Agrostis stolonifera* (50%), *Poa pratensis*, *Holcus lanatus*, *Taraxacum officinale*, *Trifolium repens*, *Acaena magellanica*, *Berberis buxifolia*. Suelo arcilloso.

### **Cerros bajos erosionados**

Roqueríos del extremo. *Berberis buxifolia*, *Chiliodendron diffusum*, *Escallonia virgata*, *Senecio patagonicus*, *Nothofagus antarctica*, *Baccharis patagonica*, *Agrostis flavidula*, (30%) *Poa pratensis*, *Viola reichei*, *Acaena pinnatifida*, *Hypochaeris radicata*, *Aira cariphyllea*, *Luzula alopecurus*, *Geranium magellanicum*, *Calceolaria biflora*, *Cerastium arvense*, *Dactylis glomerata*, *Baccharis magellanica*, *Armeria maritima*, *Trifolium repens*, *Rumex acetosella*, *Trifolium dubium*, *Festuca pyrogea*. Suelo erosionado, delgado sobre roca sedimentaria.

### **El paisaje del valle del lago Sofía**

La superficie territorial que se describe corresponde a la que abarca la imagen satelital de la vegetación (Fig. 8) del valle del lago Sofía, generada en Arc View a partir de una imagen LANDSAT TM proporcionada por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) XIIa. Región.

La vegetación del área fue descrita por Roig et al. (1985) la que fue complementada y actualizada con muestreos de terreno georeferenciados efectuados en el presente estudio. En la zona de estudio la única actividad de la tierra es la ganadería, no hay agricultura, silvicultura ni minería. Predomina el ganado bovino (SAG, comm.pers.). La superficie cubierta por las unidades de vegetación en la totalidad de la imagen satelital se presenta en la Tabla 2, mientras que aquellas pertenecientes a la cobertura de los diferentes tipos vegetacionales de cada subcuenca se muestran en la Tabla 3.

La composición florística de las unidades vegetacionales encontradas en el área de estudio se presenta en la Tabla 4 y estas unidades corresponden a:

1. Zona andina con vegetación de cobertura insignificante. Sustrato arenoso pedregoso.
2. Coironales de *Festuca gracillima*. Suelo arenoso muy delgado, erosión severa (Fg).
3. Bosques de lenga, *Nothofagus pumilio*. Suelo franco, profundidad hasta 25 cm. (Np).
4. Pastizales secundarios derivados de la tala y quema de bosques:
  - Pastizales de pasto ovillo, *Dactylis glomerata* y pasto miel, *Holcus lanatus* (DH). Suelo de humedad media, franco arenoso, profundidad hasta 15 cm, erosión moderada.
  - Vega de *Poa pratensis* y diente de león, *Taraxacum officinale* (PT). Suelo de humedad alta, franco arcilloso, profundidad hasta 40 cm.
  - Pastizal de chépica, *Agrostis flavidula* con arbustos dispersos (Af). Suelo arenoso, erosión severa, afloramientos rocosos.
5. Bosque de ñire, *Nothofagus antarctica*. El ñire, tiene una amplia distribución espacial en el área y gran amplitud ecológica (Fig. 8): se encuentra en la cordillera M. Señoret marcando el límite superior del bosque, en el humedal del río Rivas, en las serranías bajas rocosas y también en el bosque de lenga, formando parches y bandas arbóreas de baja altura, en gran parte remanentes de un bosquecillo de cobertura continua fragmentado por incendios y talas. El piso herbáceo de este bosque corresponde en su mayor parte a los pastizales secundarios de *Poa* y *Taraxacum* (PT, Tabla 5) y *Dactylis* y *Holcus* (DH, Tabla 5) dependiendo del grado de humedad del suelo.

De acuerdo a los estudios existentes sobre clasificación de suelos en la región de Magallanes (Díaz, 1960), a las unidades vegetacionales analizadas por Lara & Cruz (1987) y a las unidades climáticas identificadas para la región (INIA 1982), el área en que se encuentra localizado el lago Sofía se caracterizaría por la existencia de suelos pardo-podsólicos y tipo podsoles. Los primeros se caracterizan por ocupar una posición intermedia entre los suelos de praderas ácidos de la zona húmeda y los suelos podsoles en posiciones altas y de mayor precipitación que los suelos de praderas ácidos con una vegetación de bosques deciduos. Los segundos se caracterizan por ocupar posiciones altas de la precordillera subandina oriental, con una precipitación levemente superior a 600 mm al año. Su vegetación corresponde a bosques deciduos y se caracterizan por poseer un horizonte gris claro entre 7 y 15 cm y otro pardo amarillento-rojizo a mayores profundidades (Sáez 1995). Esta autora plantea de acuerdo a estudios de fertilidad de suelos en las proximidades del lago Sofía que los suelos

pardo-podsólicos (pradera naturalizada) y podsólicos (bosques) aportan entre 2,5 y 1,2% de nitrógeno, respectivamente.

De la misma manera, Sáez (1995) señala que la disponibilidad de fósforo en suelos pardo-podsólicos y podsólicos es muy baja, siendo  $< 5$  ppm, indicando que este tipo de suelos carece de un historial de fertilización en el área de estudio. En aquellos lugares de suelos de praderas habilitadas a partir de bosques aparecen valores de P total levemente superior posiblemente derivados del contenido de P de las cenizas de los bosques quemados. Sin embargo, ella plantea también que la capacidad de retención de P de los suelos en comento tiende a ser muy alta.

Según Lara & Cruz (1987), de acuerdo al mapa de erosión diseñado por el INIA, la zona en que se encuentra localizado el lago Sofía presenta una erosión geológica en la zona montañosa (norte del lago) y principalmente erosión severa y muy severa de tipo antropogénica (lado sur, sureste y suroeste del lago).

**Tabla 2.-** Superficie (hectáreas) de diferentes unidades de paisaje generadas a partir de la imagen satelital Landsat mostrada Fig. 8.

Vegetación	Superficie (há)
Lago Sofía	892,2
Laguna Dorotea	166,9
Aguas	1157,3
Sombra	4455,5
Bosque de Ñire	5748
Bosque de Ñire y Lengua	5772
Bosque de Lengua	4440
Coironales	5280
Vegas	5966
Nieve y rocas	3879
Nieve	6289
No clasificado	0
<b>TOTAL</b>	<b>44.046</b>



**Tabla 3.-** Superficie (hectáreas) cubiertas por cada una de las unidades vegetacionales identificadas en cada una de las tres subcuencas asociadas al Lago Sofía.

Vegetación / Subcuencas	Sofía 1	Señoret 2	Río Rivas 3	TOTAL
Agua y sombras	213	613	526	1352
Bosque de Ñire	113	319	344	776
Bosque de Ñire y Lengua	19	244	569	832
Bosque de Lengua	6	56	732	794
Coironales	19	138	532	689
Vegas	6	94	814	914
Nieve y rocas	81	163	207	451
Nieve	75	94	319	488

**Tabla 4.-** Composición florística identificada en cada una de las unidades de suelos y/o geomorfológicas existentes alrededor de la cuenca del lago Sofía. \*= especies introducidas.

Especies \ Unidad vegetacional	Fg	DH	PT	Af	Np
<b>Arboles</b>					
<i>Nothofagus antarctica</i>			x	x	x
<i>Nothofagus pumilio</i>					x
<i>Embothrium coccineum</i>					x
<i>Maytenus magellanica</i>					x
<b>Arbustos</b>					
<i>Chiliodendron diffusum</i>	x	x		x	x
<i>Berberis buxifolia</i>	x	x	x	x	x
<i>Gaultheria mucronata</i>	x				
<i>Anarthrophyllum desideratum</i>	x				
<i>Senecio patagonicus</i>				x	
<i>Adesmia boronioides</i>				x	
<i>Baccharis patagonica</i>				x	
<i>Myoschilos oblonga</i>					x
<i>Escallonia virgata</i>			x	x	
<b>Hierbas</b>					
<i>Festuca gracillima</i>	x				
<i>Azorella fuegiana</i>	x				
<i>Bellis perennis</i> *	x		x		
<i>Valeriana camosa</i>	x				
<i>Lathyrus magellanicus</i>	x				
<i>Deschampsia flexuosa</i>	x	x			x
<i>Discaria chacaye</i>	x				
<i>Luzula alopecurus</i>	x	x		x	
<i>Armeria maritima</i>	x			x	x
<i>Chloraea magellanica</i>	x				
<i>Cerastium arvense</i>	x	x		x	x

<i>Vicia magellanica</i>	x		x		
<i>Viola maculata</i>	x				x
<i>Nassauvia darwinii</i>	x	x			
<i>Empetrum rubrum</i>	x				
<i>Calceolaria uniflora</i>	x				
<i>Calceolaria biflora</i>	x	x		x	
<i>Hypochaeris radicata</i> *	x	x		x	
<i>Poa alopecurus</i>	x				x
<i>Baccharis magellanica</i>	x	x		x	
<i>Acaena sericea</i>	x				
<i>Bolax gummifera</i>	x				
<i>Viola reichei</i>	x			x	
<i>Hypochaeris incana</i>	x				
<i>Perezia recurvata</i>	x	x			
<i>Acaena pinnatifida</i>	x	x		x	x
<i>Trisetum spicatum</i>	x				
<i>Gavilea lutea</i>	x				
<i>Rumex acetosella</i> *	x	x		x	x
<i>Festuca magellanica</i>	x	x			
<i>Dactylis glomerata</i> *		x	x	x	
<i>Holcus lanatus</i> *		x	x		x
<i>Poa pratensis</i> *		x	x	x	x
<i>Taraxacum officinale</i> *		x	x		x
<i>Phleum alpinum</i>		x			
<i>Geranium magellanicum</i>		x		x	
<i>Acaena magellanica</i>		x	x		x
<i>Leptinella scariosa</i>		x			
<i>Agropyron magellanicum</i>		x	x		
<i>Myosotis discolor</i> *		x			x
<i>Trifolium repens</i> *		x	x	x	
<i>Poa patagonica</i>		x			
<i>Hippuris vulgaris</i>			x		
<i>Carex banksii</i>			x		
<i>Carex curta</i>			x		
<i>Ranunculus peduncularis</i>			x		
<i>Alopecurus magellanicus</i>			x		
<i>Rumex crispus</i> *			x		
<i>Gunnera magellanica</i>			x		
<i>Agrostis stolonifera</i>			x		
<i>Juncus scheuchzerioides</i>			x		
<i>Cerastium fontanum</i> *			x		
<i>Agrostis flavidula</i>				x	
<i>Aira caryophyllea</i> *				x	
<i>Trifolium aureum</i> *				x	
<i>Festuca pyrogea</i>				x	
<i>Osmorhiza chilensis</i>					x
<i>Galium aparine</i>					x
<i>Acaena ovalifolia</i>					x

<i>Festuca ovina</i> *					X
<i>Codonorchis lessonii</i>					X
<i>Phacelia secunda</i>					X
<i>Plantago lanceolata</i> *					X
<i>Arjona patagonica</i>					X

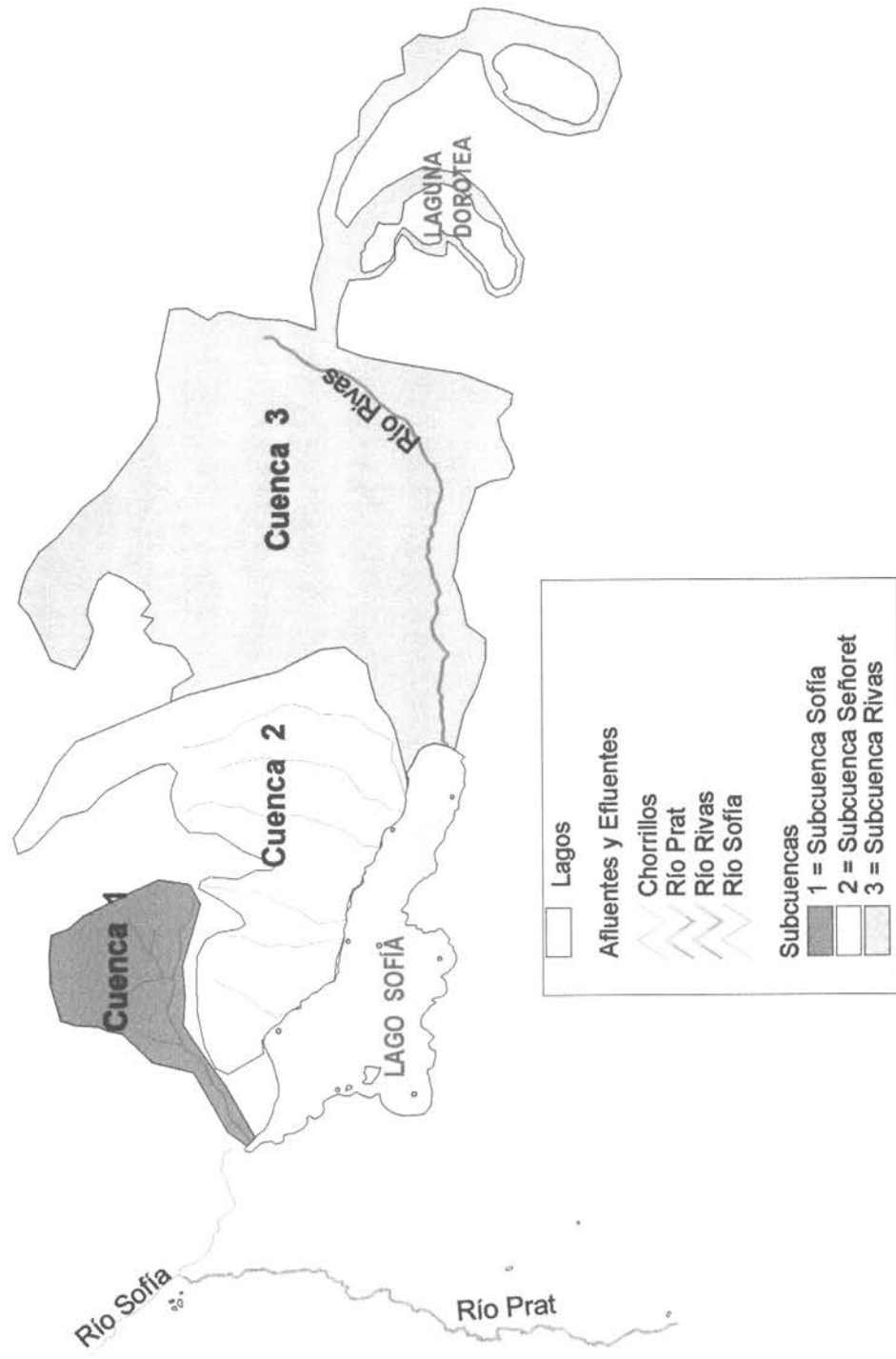
Fg = coironales de *Festuca gracillima*

DH = pastizales de *Dactylis* y *Holcus*

PT = pastizales de *Poa* y *Taraxacum*

Af = pastizales de *Agrostis*

Np = Bosques de *Nothofagus pumilio*



**FIGURA N° 5 : Subcuencas del Lago Sofía XII Región**

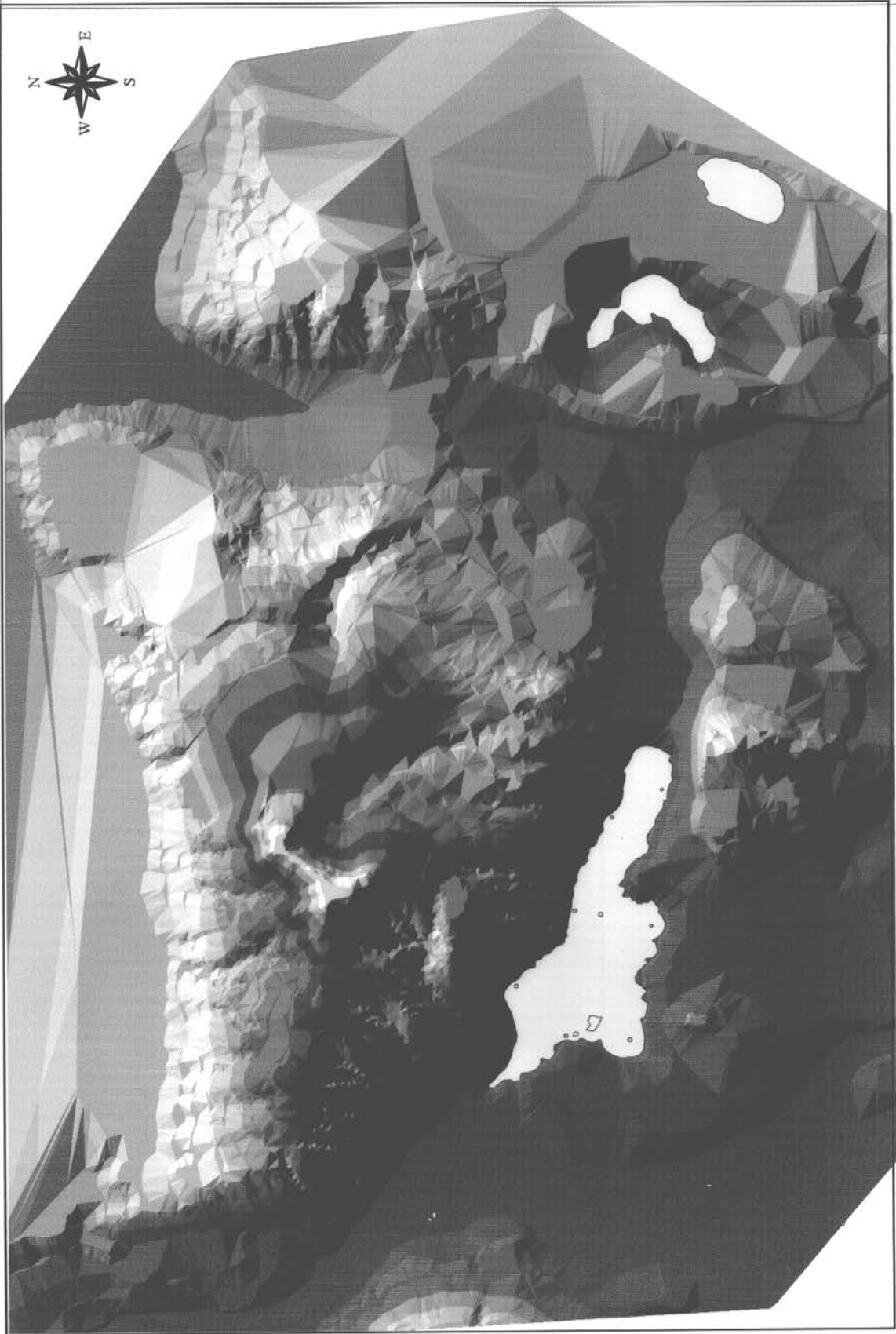
<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	2000 Escala: 1 : 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2
			Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

**LEYENDA**

□ Lagos, Lagunas

Rangos de Elevación (m)

- 0 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- 100 - 120
- 120 - 140
- 140 - 160
- 160 - 180
- 180 - 200
- 200 - 220
- 220 - 240
- 240 - 260
- 260 - 280
- 280 - 300
- 300 - 320
- 320 - 340
- 340 - 360
- 360 - 380
- 380 - 400
- 400 - 420
- 420 - 440
- 440 - 460
- 460 - 480
- 480 - 500
- 500 - 520
- 520 - 540
- 540 - 560
- 560 - 580
- 580 - 600
- 600 - 620
- 630 - 650
- 650 - 670
- 670 - 690
- 690 - 710
- 710 - 730
- 730 - 750
- 750 - 770
- 770 - 790
- 790 - 810
- 810 - 830
- 830 - 850
- 850 - 870
- 870 - 890
- 890 - 910
- 910 - 930
- 930 - 950
- 950 - 970
- 970 - 990
- 990 - 1010
- 1010 - 1030
- 1030 - 1050
- 1050 - 1070
- 1070 - 1090
- 1090 - 1110
- 1110 - 1130
- 1130 - 1150
- 1150 - 1180
- 1180 - 1200
- 1200 - 1220
- 1220 - 1240
- 1240 - 1260
- 1260 - 1280
- 1280 - 1300



**FIGURA N°6: Modelo Digital de Terreno de la Zona del Lago Sofía, XII Región.**

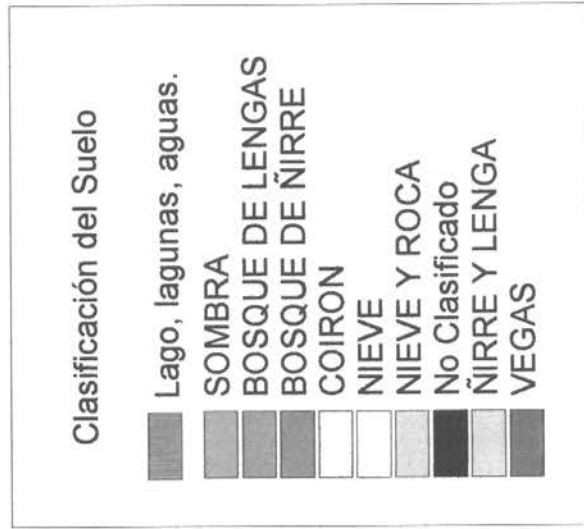
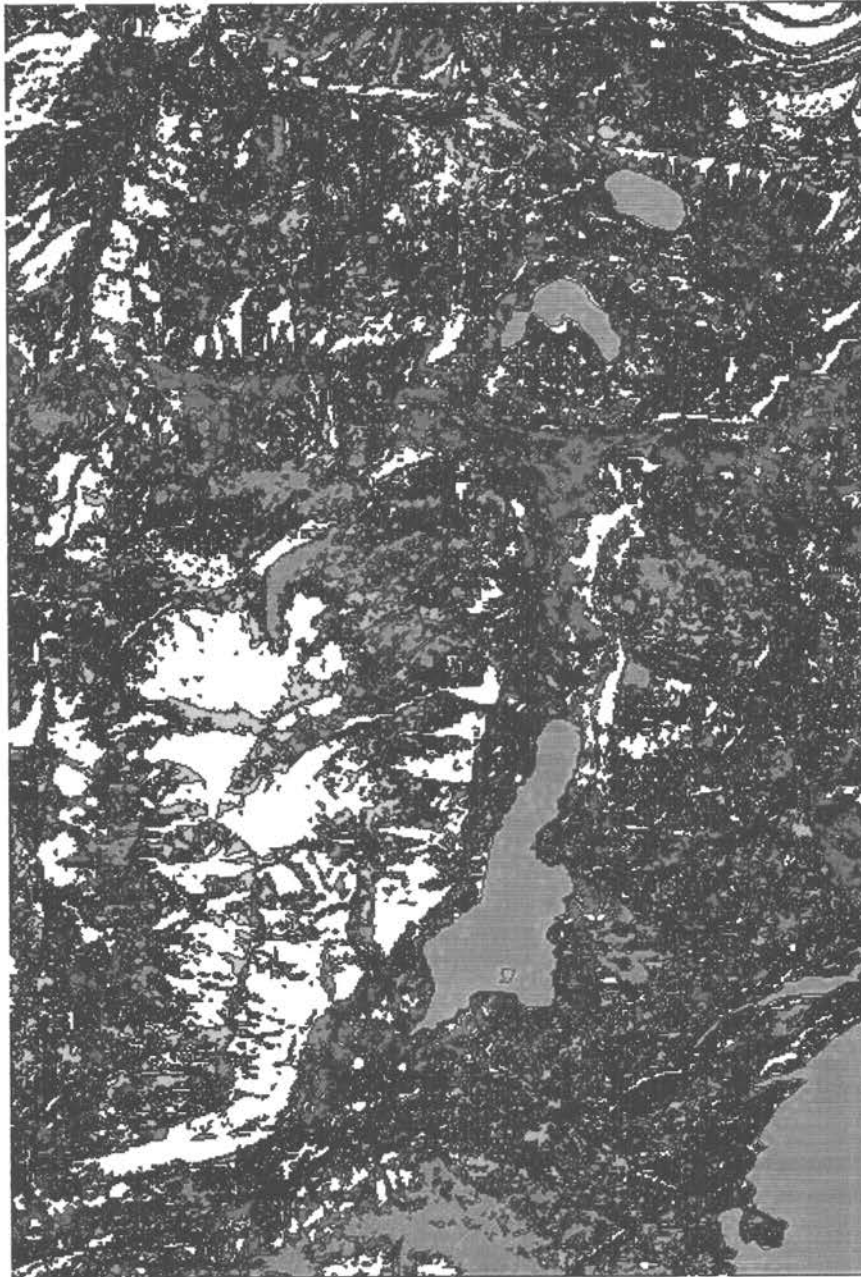
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26		JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE	
	2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2	Grafica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos
	Escala: 1: 50.000			



**FIGURA N° 8 : Imágen Satelital Lansat de la Zona de Estudio del Lago Sofía, XII Región**

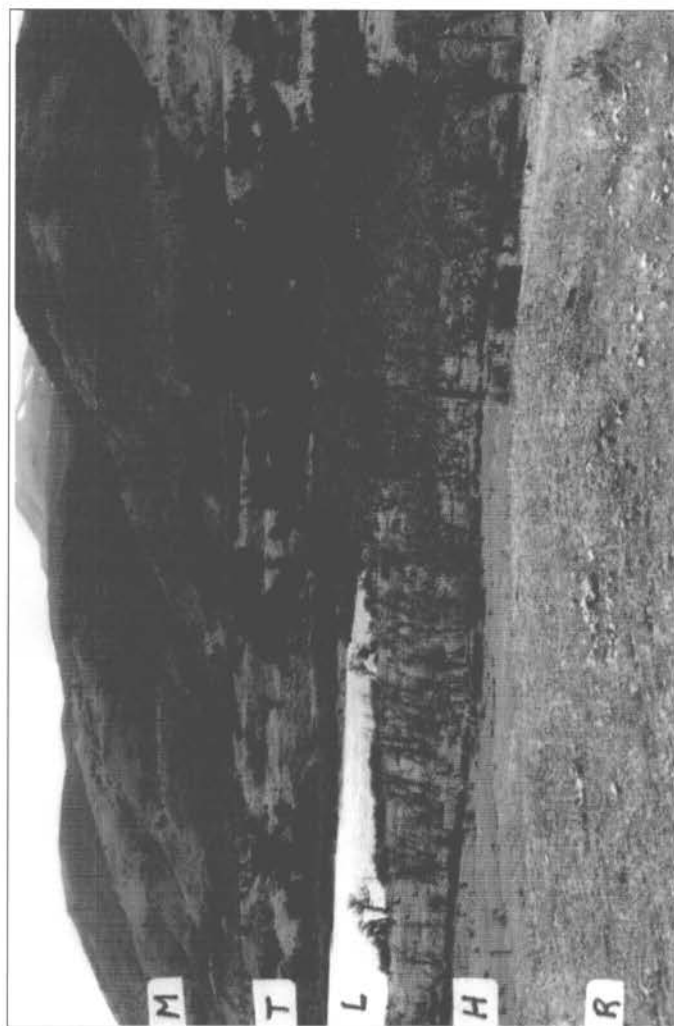
<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	2000 Escala: 1: 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2 Grafica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos





**FIGURA Nº9: Clasificación de Suelos en la Zona del Lago Sofia**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>	
	2000 Escala: 1: 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2	Grafica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



**LEYENDA**

M = Montañas

L = Lago

T = Terraza Lacustre

H = Humedal

R = Cerros Erosionados

**FIGURA N°10 : Identificación de Unidades Geomorfológicas en la Zona del Lago Sofia**

UNIVERSIDAD DE  
MAGALLANES

ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26

Enero 2000  
Escala 1 : 50.000

Mapa en  
Coordenadas UTM

Software :ArcView 3.2

JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE

Diseño Gráfico: Centro de Estudio de los  
Recursos Energéticos

## CAPITULO N°3

### INGRESO DE NUTRIENTES POR LOS AFLUENTES

- **RIO RIVAS (Tabla 5)**

- **Morfometría:** Es el afluente principal del lago, se ubica en el extremo este del lago, tiene un recorrido aproximado de 8 km y en la zona próxima al lago presenta hasta 2 m de profundidad y en las riberas se localiza un importante bosque de Ñirre.
- **Caudal:** El río Rivas presentó un caudal promedio máximo de  $0,58 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  durante agosto, 2000 y un mínimo de  $0,07 \text{ m}^3 \text{ seg}^{-1}$  durante enero, presentando variaciones en un factor de 10. Este último valor se debió principalmente al congelamiento de las capas superiores del lago, conformando una capa de aproximadamente 40 cm de grosor.
- **Factores físicos:** La temperatura fluctuó entre 1,2 (Julio) y  $16,8 \text{ }^\circ\text{C}$  (enero). De acuerdo al color se observa que este río posee alta cantidad de sólidos en suspensión y otras sustancias húmicas que le dan un tono pardo oscuro, registrándose entre 0 (julio) a 44 unidades Pt/Co (septiembre y enero). La turbidez fluctuó entre 4 (julio) y  $11 \text{ mg l}^{-1}$  (septiembre y enero).
- **Factores químicos:** el pH presenta valores que indican que las aguas del río tienden a la neutralidad, fluctuando entre 7,45 (mayo) a 8,72 (agosto). La conductividad se mantuvo baja en casi todos los muestreos ( $< 200 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), aunque en julio llegó a registrarse un valor de 310. El contenido de oxígeno fluctuó entre  $8,4 \text{ mg l}^{-1}$  en enero a  $14,2 \text{ mg l}^{-1}$  registrado en septiembre. Se observa que existe un proceso de sobresaturación de oxígeno durante todo el lapso que duró el estudio. La concentración promedio de nitrato fue de  $24,96 \mu\text{g/l}$  dentro de un rango que varía entre  $1,4 \mu\text{g/l}$  (enero) a  $98 \mu\text{g/l}$  (mayo). El nitrito presentó un promedio de  $0,5 \mu\text{g/l}$  y un rango de  $0,14 \mu\text{g/l}$  (agosto-septiembre) a  $0,98 \mu\text{g/l}$  (julio). La concentración del compuesto se presentó sin mayores cambios dentro del período de muestreo. El amonio no fue detectado durante los meses de enero y julio, y registró una concentración máxima de  $11,9 \mu\text{g/l}$  en el mes de mayo y su promedio fue de  $9,46 \mu\text{g/l}$ . Para el nitrógeno total se registró una concentración promedio de  $3120,2 \mu\text{g/l}$  y un rango entre 1373 y  $6128 \mu\text{g/l}$  en los meses de enero y mayo respectivamente. En relación al ortofosfato, éste presentó una concentración promedio de  $8,92 \mu\text{g/l}$  y su rango varió entre  $5 \mu\text{g/l}$  en noviembre a  $17 \mu\text{g/l}$  en mayo. El fósforo total presentó un promedio de  $43,46 \mu\text{g/l}$  con una concentración mínima presentada de  $27,3 \mu\text{g/l}$  en julio y una máxima en mayo de  $80,5 \mu\text{g/l}$ .

- Sestón: En el río Rivas se registró una concentración promedio de 0,93 mg/l valor que corresponde al promedio más bajo medido entre los afluentes y presentó un rango de variación entre 0,05 mg/l en agosto a 2,47 mg/l en mayo.

El Chorrillo A (Tabla 6) se encuentra localizado en una planicie arenosa, posee alta velocidad, es muy somero (< 20 cm profundidad) y posee un escaso ancho (< 1 m). Por esta razón, posee altas temperaturas, la conductividad es baja en comparación al río Rivas al igual que el contenido de oxígeno (8,2 a 9,8 mg/l). El contenido de P total es relativamente similar al detectado en el río Rivas, aunque el contenido de N total es cuatro veces menor que el detectado en el río Rivas (Tabla 5).

El Chorrillo C (Tabla 7) se encuentra localizado en un sitio con una fuerte pendiente por lo cual se registraron en septiembre fuertes velocidades, que posteriormente disminuyeron significativamente por el derretimiento de las nieves acontecido entre octubre y noviembre. La temperatura al igual como en los otros sitios se incrementó casi en 4 °C entre septiembre y noviembre. El color se mantiene entre 18 y 21 unid. Pt/Co y la turbidez muestra baja concentración de sustancias disueltas en el agua. El pH al igual como en otros lugares se mantiene cercano a la neutralidad y con valores normales para agua dulce. El chorrillo es bastante oxigenado y posee una concentración de N total un 50% menor respecto del río Rivas. El contenido de P total disminuyó en casi un 50% entre septiembre y noviembre, aunque mantiene valores próximos a los registrados en los chorrillos A y B y en el río Rivas (Tabla 7).

El Chorrillo D (Tabla 8) posee baja profundidad, velocidad media que ha fluctuado entre 0,59 y 0,17 m/s en septiembre y noviembre, respectivamente. La conductividad mantiene valores entre 80 y 200  $\mu$ S, al igual como en los otros chorrillos. De modo similar el color y la turbidez no muestran grandes variaciones respecto de los otros chorrillos. También es un chorrillo que aporta aguas oxigenadas al lago. Este Chorrillo aporta altos contenidos de N total y concentraciones relativamente similares a los otros chorrillos de P total (32 a 59  $\mu$ g/l) (Tabla 8).

El Chorrillo E (Tabla 9) solo se observó con agua en septiembre, mientras que en noviembre se mantuvo seco. Este chorrillo se encuentra localizado dentro de una planicie cubierta por vegetación de pantanos (*Scirpus*), posee escasa profundidad y ancho. Presenta valores de color y turbidez relativamente similares a los otros chorrillos, con una baja conductividad o contenido de sales. En septiembre la concentración de N total fue de 2213  $\mu$ g/l, mientras que el contenido de P total fue de 84  $\mu$ g/l (Tabla 9).

El Chorrillo E hizo aportes parciales al lago. En agosto y septiembre contribuyó con un reducido caudal al lago, mientras que en octubre se mantuvo seco, y en mayo y julio se encontraba completamente congelado.

El Chorrillo F (Tabla 10) es el principal chorrillo en términos de los volúmenes de agua que aporta al lago. Posee una fuerte velocidad, escasa profundidad y ancho, el patrón de variación térmica se incrementó casi en 4 veces entre septiembre y noviembre, y el color, turbidez, pH y contenido de oxígeno muestra valores relativamente similares a los detectados en los otros chorrillos. La conductividad, al igual que en el chorrillo E muestra bajos valores ( $< 71 \mu\text{S cm}$ ). El contenido de P total es relativamente bajo ( $< 31 \mu\text{g/l}$ ), al igual que el contenido de N total en comparación a los otros chorrillos (Tabla 10).

Sin embargo, se observó que en todos los Chorrillos como en el río Rivas, durante agosto del 2000 las concentraciones de N total aumentaron respecto de las campañas de muestreo previas.

**Tabla 5.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Río Rivas. Lago Sofía. XII Región. Chile.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL*	AGO	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,12	0,02	0,02	0,09	0,43	0,43	0,18	0,19	0,02	0,43
Profundidad (m)	2,0	2,30	2,20	1,70	0,20	1,80	1,70	0,76	0,20	2,30
Ancho (m)	3,90	8,30	3,40	4,70	1,40	1,50	3,86	2,53	1,40	8,30
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,46	0,19	0,07	0,35	0,54	0,58	0,36	0,20	0,07	0,58
Temperatura (°C)	2,70	8,10	16,8	2,80	1,20	2,80	5,73	5,91	1,20	16,8
Color (unid.Pt/Co)	44	26	44	16	0	33	27,16	17,11	0	44
Turbidez (mg/l)	11	8	11	7	4	6	7,83	2,78	4	11
pH	8,0	7,60	7,75	7,45	7,86	8,72	7,89	0,44	7,45	8,72
Conductividad ( $\mu\text{S}$ )	132,6	166	163,4	13,2	301	210	164,37	94,46	13,2	166
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	14,2	13,0	8,40	11,4	13,2	11,6	11,96	2,03	8,40	14,2
NO <sub>3</sub> ( $\mu\text{g/l}$ )	2,80	2,80	1,40	98	40,6	4,20	24,96	38,85	1,40	98
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g/l}$ )	0,14	0,42	0,42	0,56	0,98	<0,14	0,50	0,30	<0,14	0,98
Amonio ( $\mu\text{g/l}$ )	7,98	11,8	*	11,9	*	6,16	9,46	2,85	6,16	11,9
N total ( $\mu\text{g/l}$ )	2080	1373	1373	6128	4601	3166	3120,2	1919,9	1373	6128
P total ( $\mu\text{g/l}$ )	48,3	38,4	37,8	80,5	27,3	28,5	43,46	19,68	27,3	80,5
PO <sub>4</sub> ( $\mu\text{g/l}$ )	8,36	5,0	7,10	17,0	9,30	6,80	8,92	4,21	5,0	17,0
Seston total (mg/l)	0,90	*	*	2,47	3,32	0,31	1,75	1,38	0,31	3,32

\* durante julio el sitio acostumbrado se encontraba con una capa de hielo de app, 40 cm de grosor, por lo que se debió registrar las variables y tomar las muestras en un sitio descongelado cercano al sitio de ingreso del agua al lago.



**Tabla 6.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo A, Lago Sofía, XII Región, Chile.

	SEP	NOV*	ENE	MAY	JUL	AGO	Promedio	D,E,	Mínimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,35	1,0	0,47	0,54	0,23	*	0,51	0,29	0,23	1
Profundidad (m)	0,20	0,10	0,15	0,15	0,04	*	0,12	0,06	0,04	0,2
Ancho (m)	0,50	0,40	0,55	0,63	1,90	*	0,79	0,62	0,40	1,90
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,017	0,02	0,019	0,025	0,008	*	0,018	0,006	0,008	0,025
Temperatura (°C)	12,8	16,2	11,2	1,40	1,70	*	8,66	6,73	1,40	16,2
Color (unid.Pt/Co)	15,0	23,0	15,0	3,0	0	*	11,2	9,49	0	23,0
Turbidez (mg/l)	6,0	17,0	6,0	15,0	11	*	11	5,04	6,0	17,0
pH	7,50	7,20	8,40	6,90	7,65	*	7,53	0,56	6,90	8,40
Conductividad (µS)	139,6	256,0	104,0	139,2	148,9	*	157,54	57,64	104	256
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	8,20	9,80	8,50	13,2	13,2	*	10,58	2,46	8,20	13,2
NO <sub>3</sub> (µg/l)	4,20	5,60	<1,4	1,40	5,60	*	4,20	1,97	<1,4	5,60
NO <sub>2</sub> (µg/l)	0,42	1,40	0,14	1,54	0,14	*	0,72	0,68	0,14	1,54
Amonio (µg/l)	7,56	9,40	16,5	27,2	*	*	15,16	8,90	7,56	27,2
N total (µg/l)	525	567	147	875	1408	*	704,4	470,62	147	1408
P total (µg/l)	32,2	30,4	155	57,6	88,6	*	72,76	51,68	30,4	155
PO <sub>4</sub> (µg/l)	7,12	10,8	16,4	11,5	23,5	*	13,86	6,319	7,12	23,5
Seston total (mg/l)	7,29	-	-	10,47	6,34	*	8,03	2,16	6,34	10,47

\* Seco durante campaña de muestreo por estar congelada la cumbre del cerro Mocho.

**Tabla 7.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo C, Lago Sofía, XII Región, Chile.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL*	AGO	Promedio	D,E,	Mínimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,32	0,17	0,33	0,50	*	0,42	0,34	0,12	0,17	0,50
Profundidad (m)	0,20	0,10	0,08	0,10	*	0,05	0,10	0,05	0,05	0,20
Ancho (m)	0,86	0,50	0,56	1,30	*	0,80	0,80	0,31	0,50	1,30
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,028	0,004	0,007	0,032	*	0,008	0,016	0,013	0,004	0,032
Temperatura (°C)	4,20	8,90	10,8	2,20	*	4,20	6,06	3,61	2,20	10,8
Color (unid.Pt/Co)	18	21	18	9	*	11	15,4	5,12	9	21
Turbidez (mg/l)	5	6	5	4	*	2	4,40	1,51	2	6
pH	7,90	8,39	8,35	8,27	*	8,52	8,28	0,23	7,90	8,52
Conductividad (µg/l)	108,6	193,5	205	125,6	*	199,0	166,34	45,53	108,6	205
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	11,2	11,6	8,60	13,7	*	6,20	10,26	2,90	6,20	13,7
NO <sub>3</sub> (µg/l)	19,61	4,20	1,40	1,40	*	8,40	7,0	7,60	1,40	19,61
NO <sub>2</sub> (µg/l)	0,14	0,28	<0,14	0,56	*	0,84	0,45	0,31	<0,14	0,84
Amonio(µg/l)	7,56	10,9	19,0	7,14	*	6,58	10,23	5,18	6,58	19,0
N total (µg/l)	756	567	700	1366	*	1541	986	436,66	567	1541
P total (µg/l)	73	30,4	67,5	44,0	*	18	46,58	23,56	18	73
PO <sub>4</sub> (µg/l)	8,36	10,8	15,2	16,7	*	6,80	11,57	4,27	6,80	16,7
Seston total (mg/l)	2,19	*	*	2,71	*	0,91	1,93	0,92	0,91	2,71

\* Congelado totalmente durante muestreo de julio.



**Tabla 8.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo D, Lago Sofía, XII Región, Chile.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL*	AGO	Promedio	D,E	Mínimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,59	0,17	0,40	0,56	*	0,30	0,40	0,17	0,17	0,59
Profundidad (m)	0,10	0,20	0,10	0,12	*	0,07	0,11	0,04	0,07	0,20
Ancho (m)	1,44	1,60	1,60	1,92	*	1,10	1,53	0,29	1,10	1,92
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,042	0,027	0,032	0,064	*	0,011	0,035	0,019	0,011	0,064
Temperatura (°C)	3,80	9,80	10,2	1,60	*	4,0	5,88	3,87	1,60	10,2
Color (unid.Pt/Co)	32	24	32	21	*	22	26,2	5,40	21	32
Turbidez (mg/l)	9	7	9	13	*	4	8,40	3,28	4	13
pH	7,79	7,76	7,91	7,65	*	8,33	7,88	0,26	7,65	8,33
Conductividad (µS)	87,60	129,4	138,4	84,3	*	165,8	121,1	34,7	84,3	165,8
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	9,40	12,90	10,80	14,1	*	6,30	10,7	3,06	6,30	14,1
NO <sub>3</sub> (µg/l)	2,80	19,6	1,40	1,40	*	1,40	5,32	8,0	1,40	19,6
NO <sub>2</sub> (µg/l)	0,14	0,14	0,28	0,28	*	0,14	0,19	0,07	0,14	0,28
Amonio (µg/l)	6,86	9,10	23,0	18,3	*	2,80	12,01	8,36	2,80	23,0
N total (µg/l)	1261	994	238	1632	*	2353	1295,6	781,33	238	2353
P total (µg/l)	59,5	32,2	160	68,8	*	24,8	69,06	54,03	24,8	160
PO <sub>4</sub> (µg/l)	5,89	9,30	9,30	13,6	*	14,2	10,45	3,44	5,89	14,2
Seston total (mg/l)	2,70	-	-	6,50	*	1,07	3,42	2,78	1,07	6,50

\* Congelado totalmente durante muestreo de julio.

**Tabla 9.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo E, Lago Sofía, XII Región, Chile.

	SEP	NOV*	ENE*	MAY	JUL**	AGO	Promedio	D,E	Mínimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,18	-	0,18	-	*	0,05	0,11	0,09	0,05	0,18
Profundidad (m)	0,05	-	0,05	-	*	0,05	0,05	0	0,05	0,05
Ancho (m)	2,30	-	*	-	*	1,10	1,70	0,84	1,10	2,30
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,010	-	-	-	*	0,0013	0,005	0,006	0,0013	0,010
Temperatura (°C)	8,30	-	8,30	-	*	6,10	7,20	1,55	6,10	8,30
Color (unid.Pt/Co)	40	-	40	-	*	41	40,33	0,57	40	41
Turbidez (mg/l)	8	-	8	-	*	9	8,33	0,57	8	9
pH	7,16	-	6,16	-	*	7,99	7,57	0,58	6,16	7,99
Conductividad (µS)	96,30	-	96,3	-	*	125	110,65	20,29	96,3	125
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	8,60	-	8,60	-	*	5,30	6,95	2,33	5,30	8,60
NO <sub>3</sub> (µg/l)	2,80	-	-	-	*	2,80	2,80	0	2,80	2,80
NO <sub>2</sub> (µg/l)	0,42	-	-	-	*	0,70	0,56	0,19	0,42	0,70
Amonio (µg/l)	6,30	-	-	-	*	1,96	4,13	3,06	1,96	6,30
N total (µg/l)	6,30	-	-	-	*	3278	2745,5	753,07	2213	3278
P total (µg/l)	2213	-	-	-	*	43,4	63,7	28,70	43,4	84
PO <sub>4</sub> (µg/l)	84,0	-	-	-	*	4,0	6,64	3,740	4,0	9,29
Seston total (mg/l)	9,29	-	-	-	*	0,80	0,95	0,21	0,80	1,10

\* se encontraba seco durante noviembre y enero; en mayo, congelada el área del pantano; \*\* Congelado totalmente durante muestreo de julio.

**Tabla 10.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del Chorrillo F, Lago Sofía, XII Región, Chile.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL*	AGO	Promedio	D,E,	Minimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	0,59	0,33	0,33	1,0	0,64	0,25	0,52	0,28	0,25	0,64
Profundidad (m)	0,22	0,35	0,22	0,25	0,13	0,18	0,22	0,07	0,13	0,35
Ancho (m)	1,95	1,95	2,30	2,0	1,90	1,80	1,98	0,16	1,80	2,30
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	0,12	0,11	0,083	0,25	0,079	0,04	0,11	0,072	0,04	0,12
Temperatura (°C)	2,70	8,60	10,2	2,20	1,20	3,80	4,78	3,70	1,20	10,2
Color (unid.Pt/Co)	39	25	39	11	9	25	24,66	12,98	9	39
Turbidez (mg/l)	8	3	8	9	6	4	6,33	2,42	3	9
pH	7,67	7,70	7,33	7,29	7,41	8,38	7,63	0,40	7,29	8,38
Conductividad (μS)	62,4	71,4	74,8	61,6	93,7	121,4	80,88	23,0	61,6	121,4
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	10,60	12,2	8,0	13,9	14,1	6,20	10,83	3,20	6,20	14,1
NO <sub>3</sub> (μg/l)	19,61	2,80	2,80	2,80	4,20	5,60	6,30	6,61	2,80	19,61
NO <sub>2</sub> (μg/l)	0,28	1,80	<0,14	0,42	0,70	0,14	0,66	0,66	<0,14	1,80
Amonio (μg/l)	9,94	9,70	17,6	16,4	*	5,60	11,84	5,02	5,60	17,6
N total (μg/l)	889	371	385	1758	1254	3299	1326	1102,1	371	3299
P total (μg/l)	31,6	28,5	22,3	28,5	32,2	16,1	26,53	6,20	16,1	32,2
PO <sub>4</sub> (μg/l)	6,19	5,60	4,60	6,20	8,40	5,30	6,04	1,29	4,60	8,40
Seston total (mg/l)	2,87	-	-	3,87	7,07	0,38	3,54	2,76	0,38	7,07

## CAPITULO N° 4

### EXPORTACION DE NUTRIENTES POR LOS EFLUENTES ( RIO SOFIA)

#### **Velocidad**

La velocidad promedio del cauce del río Sofía presentó un valor de 0,81 m/seg, con un valor mínimo de 0,4 m/seg en julio, 2000 y de 1,5 m/seg en septiembre, 1999. De igual manera se concluye que existe salida permanente de agua desde el lago a durante el período de estudio (Tabla 11).

#### **Profundidad**

La profundidad del río en el sector seleccionado mostró variaciones de hasta un 20% entre el máximo y mínimo caudal. En general, aún en el lapso en que ocurrió el deshielo en 1999 (septiembre), la profundidad nunca sobrepasó de 60 cm (Tabla 11).

#### **Caudal**

El máximo caudal fue detectado en septiembre, mientras que durante el invierno el caudal disminuyó, fluctuando entre 0,24 y 0,54 m<sup>3</sup>/seg. El caudal promedio durante el lapso del estudio fue de 0,88 m<sup>3</sup>/seg (Tabla 11).

#### **Temperatura**

Los valores de los registros de temperatura del río Sofía fueron claramente superiores respecto de las registradas en la columna de agua del lago durante todo el lapso que duró el estudio, alcanzado el máximo valor durante enero. En esta situación parece influir la poca profundidad que posee el río, la escasa profundidad que posee el sector del lago aledaño al río y el posible efecto retensivo de las aguas que puedan ofrecer las plantas acuáticas existentes en este lado del río tal como la especie *Scirpus californicus* (Tabla 11).

#### **Color**

En el trayecto entre el lago y el sitio de muestreo en el río Sofía, el cauce del río adquiere un gran aporte de material sedimentario que hizo que el color de las muestras fuera superior al detectado en el lago, en especial en septiembre y noviembre, 1999. En condiciones de invierno tiende a disminuir, pero igual muestra valores superiores que en la columna de agua del lago (Tabla 11).

**Turbidez**

Se detectó bajos valores de turbidez, siendo  $< 6$  mg/l (Tabla 11).

**pH**

El pH muestra valores dentro de los rangos considerados normales para aguas dulces. Valores más próximos a la neutralidad fueron detectados en mayo y julio, 2000 (Tabla 11).

**Conductividad**

La conductividad del cauce del río Sofía no mostró grandes variaciones a lo largo del estudio y los valores fueron casi similares a los detectados en la columna de agua del lago. Estos valores podrían ser catalogados como de magnitud intermedia en comparación con aquellos determinados por Soto et al. (1994) para algunos lagos del parque Nacional Torres del Paine (Tabla 11).

**Contenido de oxígeno**

Las aguas del río Sofía poseen niveles de concentración de oxígeno disuelto relativamente similares a las detectadas en el lago. Al igual como en el lago, durante agosto, 2000, se determinó la concentración más baja de oxígeno disuelto (Tabla 11).

**Nitrato**

Las concentraciones de nitrato en el río Sofía aumentaron desde el verano hasta alcanzar un máximo en agosto. Esta situación refleja una fuerte variabilidad de este compuesto en el río. Los valores detectados son relativamente similares a los observados en los chorrillos como en el lago Sofía (Tabla 11).

**Nitrito**

Las concentraciones de nitrito en el río Sofía fueron poco variables durante el estudio y los valores fueron bajos y de similar magnitud a los detectados en los chorrillos como en el lago (Tabla 11).

**Amonio**

La concentración de amonio en el río Sofía fue de la misma magnitud a las detectadas en los chorrillos como en la columna de agua del lago. La concentración promedio durante el estudio fue de  $8,27$   $\mu\text{g/l}$  (Tabla 11).

**Nitrógeno total**

Las concentraciones de nitrógeno total en el río Sofía mostró valores y rangos relativamente similares a los observados en el lago como en los chorrillos. El máximo valor fue detectado en agosto, 2000, y fue igual a 3.292  $\mu\text{g/l}$  (Tabla 11).

**Fósforo total**

Los valores fluctuaron entre 3,7 (agosto) y 38,4  $\mu\text{g/l}$  (noviembre), con un valor promedio de 22,68  $\mu\text{g/l}$ . Este rango se asemeja más a los valores observados en la columna de agua del lago, y son casi un 50% inferior respecto de los valores determinados en los chorrillos y río Rivas (Tabla 11).

**Fosfato**

las concentraciones de fosfato fluctuaron entre 2,5 y 9,3  $\mu\text{g/l}$ , siendo más bajas (3 a 4 veces) que las determinadas en los chorrillos, columna de agua del lago y en el río Rivas (Tabla 11).

**Seston total**

Las concentraciones de seston en el río Sofía mostraron los mismos niveles que los observados en los chorrillos, en el lago y en el río Rivas. En el río Sofía los valores fluctuaron entre 0,05 y 3,83  $\text{mg/l}$ (Tabla 11). El límite inferior detectado en el río Sofía coincidió con lo reportado para el mismo mes en el río Rivas y en los chorrillos (Tabla 5-10).

**Tabla 11.-** Parámetros morfométricos, físicos y químicos del río Sofia, XII Región, Chile.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	Promedio	D.E.	Minimo	Máximo
Velocidad (m seg <sup>-1</sup> )	1,5	1,2	0,74	0,53	0,4	0,47	0,81	0,45	0,4	1,5
Profundidad (m)	0,6	0,54	0,49	0,4	0,32	0,47	0,47	0,09	0,6	0,4
Ancho (m)	4	4,4	4,7	3,9	3,8	4,9	4,28	0,45	3,8	4,9
Caudal(m <sup>3</sup> seg <sup>-1</sup> )(Qm)	1,8	1,42	0,85	0,41	0,24	0,54	0,88	0,61	0,456	1,47
Temperatura (°C)	6,2	10,1	15,1	7,7	2,6	4,2	7,65	4,49	2,6	15,1
Color (unid.Pt/Co)	18	21	*	12	0	17	13,6	8,26	12	18
Turbidez (mg/l)	5	6	*	1	2	2	3,2	2,16	1	6
pH	8,1	8,2	8,03	7,75	7,87	8,53	8,08	0,27	7,75	8,53
Conductividad (µS cm <sup>-1</sup> )	167	153	162	166,7	172,2	168,1	164,83	6,65	153	172,2
Oxígeno (mg l <sup>-1</sup> )	9,8	12	9	11,4	13,2	6	10,23	2,56	6	13,2
NO <sub>3</sub> (µg/l)	*	2,8	1,4	4,2	9,8	16,8	7	6,33	1,4	16,8
NO <sub>2</sub> (µg/l)	*	0,42	0,42	0,28	0,28	0,14	0,31	0,12	0,14	0,42
Amonio (µg/l)	*	9,7	*	8,82	*	6,3	8,27	1,76	6,3	9,7
N total (µg/l)	*	1373	1009	3285	1926	3292	2177	1065,89	1009	3285
P total (µg/l)	*	38,4	21,7	15,5	34,1	3,7	22,68	14,06	15,5	38,4
PO <sub>4</sub> (µg/l)	*	5	2,5	3,1	9,3	3,1	4,6	2,79	2,5	9,3
Seston total (mg/l)	*	*	*	0,8	3,83	0,05	1,56	2,005	0,05	3,83



## CAPITULO N°5

### INGRESO DE NUTRIENTES POR PRECIPITACIONES Y BALANCE HIDRICO EN LA CUENCA DEL LAGO SOFÍA

#### PRECIPITACIONES

Durante el presente estudio no se logró captar aguas lluvias que permitieran desarrollar los análisis químicos para determinar la concentración de P y N total a través de esta vía de ingreso en el lago. Las veces que se logró captar aguas-lluvia éstas no ha servieron por la larga exposición a la temperatura ambiente (15 días) y su potencial influencia sobre la calidad de los resultados

Al inicio del proyecto, para determinar los aportes de agua-lluvia que llega desde la cuenca por precipitación se instalaron dos pluviómetros totalizadores; uno en los terrenos del centro de cultivo, y el otro en una casa ubicada cerca del chorrillo F. Ninguno de los dos captaron lluvia en las tres primeras campañas por lo cual se decidió utilizar los registros de precipitaciones diarios obtenidos por el Servicio de Aeronáutica Civil en el aeropuerto de la ciudad de Puerto Natales, localizado a aproximadamente a 120 m sobre el nivel del mar y a una distancia lineal de 25 km del lago Sofía.

Durante las campañas de invierno se pudo observar que las precipitaciones son mínimas (< 15 mm), y aparentemente las cumbres de las montañas que rodean al lago Sofía por el norte y por el oeste retienen las precipitaciones en forma de nieve. De igual forma, se logró constatar que entre julio, 1999 y agosto, 2000 se han acumulado 431,6 mm de agua-lluvia. El análisis del coeficiente de variación ((Desviación estándar/promedio) \*100) en cada mes demuestra que las precipitaciones son ampliamente variables en términos de cantidad como en frecuencia. El análisis de estos antecedentes permitió detectar que durante 15 a 20 días de cada mes no hay lluvia (Tabla 12).

De acuerdo a Santana (1984), quién basado en las variaciones de las precipitaciones en un lapso de 97 años en la ciudad de Punta Arenas, planteó la conformación de cinco categorías de año según el nivel de pluviosidad:

- Años muy secos : aquellos que reciben precipitaciones < 338,4 mm
- Años secos : aquellos que reciben precipitaciones entre 338,4 y 397,3 mm
- Años normales : aquellos que reciben precipitaciones entre 397,3 y 450,7 mm
- Años lluviosos : precipitaciones entre 450,7 y 503,5 mm, y
- Años muy lluviosos : precipitaciones > 503,5 mm.

Por esta razón el lapso de estudio, en términos de precipitaciones, se puede catalogar como año seco.

Los aportes de agua por precipitación que alcanzaron la superficie del lago en el lapso comprendido entre julio 1999 y junio 2000 fue de 3.354.758 m<sup>3</sup>, de los cuales el 27% corresponde a los meses en que se efectuaron las campañas de muestreo.

Por último es importante destacar que existen resultados previos de otros trabajos que han caracterizado la composición iónica y la disponibilidad de algunos compuestos nitrogenados en aguas lluvia en la zona del Parque Nacional Torres del Paine (Galloway et al, 1996), que podrían ser de gran utilidad en el caso de no lograr captar aguas lluvias en lo que resta del proyecto. Según este autor las precipitaciones del Parque Nacional Torres del Paine se caracterizarían por presentar concentración de ión cloruro igual a 17 µeq l<sup>-1</sup>, del ión amonio igual a 0,6 µeq l<sup>-1</sup>, nitrato igual a 0,5 µeq l<sup>-1</sup> y ortofosfato con concentraciones iguales a 0,06 µmol l<sup>-1</sup>.

Las tasas de deposición húmeda del ion amonio en el Parque Nacional Torres del Paine es igual a 4,5 eq hectárea<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, para el ion nitrato la tasa de deposición húmeda es de 3,6 eq hectárea<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y para el fósforo es de 0,5 mol hectárea<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

De acuerdo a Galloway et al, (1996), las precipitaciones en el Parque Nacional Torres del Paine son levemente ácidas (pH = 4,96), con componentes de agua de mar diluidos. De igual manera, Dentener & Crutzen (1994), utilizando un modelo tridimensional para estimar la distribución a escala global de las emisiones y deposición húmeda del NH<sub>x</sub>, predicen para la zona del Parque, y a la vez para el Lago Sofía, una tasa de deposición húmeda igual a 20 a 50 mg N m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. Estos autores plantean que de acuerdo a la información recopilada indica que los suelos en los alrededores del Parque son escasos en nutrientes y al parecer existe limitación de nitrógeno en los lagos (Soto et al, 1994). Según Melillo et al, (1993) un ecosistema terrestre localizado a la altura del parque como en el lago Sofía requiere de 0,5 a 3,7 g N m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> para sostener la producción primaria.

#### • BALANCE HIDRICO

El conocer el balance hídrico es un antecedente indispensable para estimar la capacidad de carga, la dinámica y el balance de nutrientes en una cuenca lacustre. El método aplicado en el presente estudio es relativamente similar al planteado por diferentes autores que han desarrollado este tipo de investigaciones en Chile bajo el patrocinio financiero del FIP.

Para estimar el balance hídrico de una cuenca es necesario cuantificar cada uno de los componentes del ciclo hídrico:

$$P + Q_a - Q_e + \Delta W - E_{tr} - E_v = 0,$$

donde,

$P$  = representa el aporte por precipitación.

$Q_a$  = Caudal del afluente (río Rivas).

$Q_e$  = Caudal del efluente (río Sofía).

Delta  $W$  = Variación temporal del contenido de agua del lago, como consecuencia de la diferencia del nivel del lago entre dos periodos consecutivos.

$Ev_{tr}$  = Evapotranspiración y variación del contenido de agua edáfica de las vertientes o escorrentías.

$Ev$  = Evaporación desde la superficie del lago.

A continuación se hace una breve reseña sobre la metodología y se indican los resultados obtenidos.

#### • Precipitación

Los aportes de agua por precipitación que alcanzaron la superficie del lago en el lapso comprendido entre julio 1999 y agosto 2000 fue de 3.850.836 m<sup>3</sup>, de los cuales el 27% corresponde a los meses en que se efectuaron las campañas de muestreo.

#### • Aportes de los Chorrillos (afluentes)

La variación temporal de la cantidad de agua aportada al lago Sofía a través de cinco chorrillos (Tabla 13) ubicados en el lado norte del lago (Fig.11), muestra que el chorrillo más importante por el volumen de los aportes al lago y su persistencia a lo largo del año es el Chorrillo F, el que aportó 1.833.319 m<sup>3</sup> (65,2%), La suma de los aportes parciales de los cinco chorrillos produjo entre septiembre, 1999 y agosto, 2000 un aporte de 2.811.170 m<sup>3</sup>. La carencia de aporte de agua a través de algunos de estos chorrillos se debió a la ausencia de nieve en la cumbre de la montaña (enero) o por encontrarse congelado la parte superior del cauce (invierno). En el Chorrillo B nunca se presenció caudal ni evidencias de escorrentías.

#### • Aporte del Río Rivas (afluente)

Durante el desarrollo del estudio, el río Rivas (Tabla 14) aportó un total de 4.587.283 m<sup>3</sup>, que representa el 62,0% del aporte entregado por los afluentes al lago Sofía durante el lapso del estudio. La suma de los aportes del río Rivas y los chorrillos acumula un total de 7.398.453 m<sup>3</sup>.

- **Variación temporal del caudal del Río Sofía (efluente)**

Durante el lapso del estudio, el lago descargó 14.329.255 m<sup>3</sup> a través del río Sofía (Tabla 15). Si se aplica un cociente entre la suma de los afluentes (7.398.453 m<sup>3</sup>) y la descarga del efluente se puede visualizar que por cada m<sup>3</sup> que ingresa al lago, dos salen.

- **Pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del lago**

Las pérdidas acumuladas estimadas durante el lapso del estudio fueron de 1.207.177 m<sup>3</sup> (Tabla 16), produciéndose las mayores tasas de evaporación durante los meses de verano por producirse un incremento de la temperatura asociado con un aumento en la intensidad de los vientos.

- **Variación temporal del volumen de agua del lago Sofía**

En la Tabla 17 se presenta la variación periódica de la reserva de agua del lago Sofía. Ella es producto de la variación de la altura del nivel del espejo de agua. Durante la primera inspección efectuada en el lago durante abril, 1999, se instaló una tablilla graduada en torno a un pilote del muelle con menor uso (de forma tal que no fuera a ser alterada), dejando alrededor de 15 cm enterrada en el sedimento hasta alcanzar un nivel 0 en la superficie. A partir de estos registros se observaron las fluctuaciones del lago Sofía en los meses venideros. De igual forma, se hicieron las consultas a las personas más antiguas que laboran en el centro de cultivo y se efectuaron observaciones pertinentes en el borde del lago para confirmar que el nivel no ha experimentado grandes fluctuaciones en los últimos 10 años, excepto en los meses de verano.

- **Estimación del balance hídrico para el lago Sofía**

El valor de cada uno de los componentes del balance hídrico del lago Sofía, considerando una base anual (los resultados recopilados en las seis campañas multiplicadas por dos) (Tabla 18) se muestra en el siguiente cuadro:

$$P + Q_a - Q_e + \Delta W + Av - Ev$$

**Tabla 12.-** Variación mensual (1999-2000) de los aportes de agua por precipitación en el lago Sofía. En negritas meses en que se efectuaron las campañas de muestreo.

Mes	Agua caída (mm)	A, acumulada (mm)	Coficiente Variación mensual (%)	Precipitación sobre el lago (m <sup>3</sup> )
Julio, 99	50,6	50,6	218	451.465
Agosto, 99	47,4	98,0	185	422.914
<b>Septiembre, 99</b>	<b>45,6</b>	<b>143,6</b>	<b>216</b>	<b>406.854</b>
Octubre, 99	13,3	156,9	217	118.666
<b>Noviembre, 99</b>	<b>21,6</b>	<b>178,5</b>	<b>296</b>	<b>192.720</b>
Diciembre, 99	48,8	227,3	161	435.405
<b>Enero, 2000</b>	<b>23,6</b>	<b>250,9</b>	<b>204</b>	<b>210.565</b>
Febrero, 2000	4,4	255,3	186	39.258
Marzo, 2000	32,3	287,6	220	288.188
Abril, 2000	66,4	354	218	592.436
<b>Mayo, 2000</b>	<b>10,9</b>	<b>364,9</b>	<b>255</b>	<b>97.252</b>
Junio, 2000	11,0	375,9	159	98.145
<b>Julio, 2000</b>	<b>39,8</b>	<b>415,7</b>	<b>156</b>	<b>355.105</b>
<b>Agosto, 2000</b>	<b>15,9</b>	<b>431,6</b>	<b>172</b>	<b>141.863</b>

\* Datos en fase de análisis.

**Tabla 13.-** Aportes mensuales (m<sup>3</sup>) de Chorrillos al lago Sofía, XII Región, Chile.

Meses	Aportes mensuales Chorrillos (m <sup>3</sup> )				
	A	C	D	E	F
Septiembre, 2000	45.360	73.561	110.108	26.827	328.031
Noviembre, 1999	51.840	11.016	70.502	*	291.892
Enero, 2000	51.927	19.799	85.709	*	223.620
Mayo, 2000	68.339	87.048	172.789	*	669.600
Julio, 2000	23.409	22.499	*	*	211.701
Agosto, 2000	*	22.499	30.936	3.683	108.475
<b>TOTAL</b>	<b>240.875</b>	<b>236.422</b>	<b>470.044</b>	<b>30.510</b>	<b>1.833.319</b>
<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>8,57</b>	<b>8,41</b>	<b>16,72</b>	<b>1,09</b>	<b>65,22</b>

**Tabla 14.-** Aportes mensuales del río Rivas al lago Sofía, XII Región, Chile.

	Sep. 99	Nov. 99	Ene. 00	May. 00	Jul.00*	Ago.00
Caudal (m <sup>3</sup> )	1.213.056	494.813	200.344	963.019	161.240	1.554.811

**Tabla 15.-** Descargas mensuales de el efluente del lago Sofía (río Sofía), XII Región, Chile.

	Sep. 99	Nov. 99	Ene. 00	May. 00	Jul. 00	Ago. 00
Caudal (m <sup>3</sup> )	4.665.600	3.695.115	2.282.291	1.107.251	651.387	1.927.611

**Tabla 16.-** Pérdidas de agua por evaporación desde la superficie del lago Sofia, Bandeja de evaporación perpendicular tipo A.

	Sep.99	Nov. 99	Ene.00	May. 00	Jul.00	Ago.00
Evaporación (mm mes <sup>-1</sup> )	1,7	6,8	12	1*	1*	0,8
Evaporación (m <sup>3</sup> )	15.168	60.671	1.106.356	8.922	8.922	7.138

- Valores de aplicación dudosa por cuanto el agua de la bandeja de evaporación se congeló y la presencia de abundante nubosidad baja en estos meses produjo condensación de agua en torno a los bordes de la bandeja, produciendo incluso un aumento de volumen.

**Tabla 17.-** Variación temporal del volumen (m<sup>3</sup>) de agua del lago Sofia.

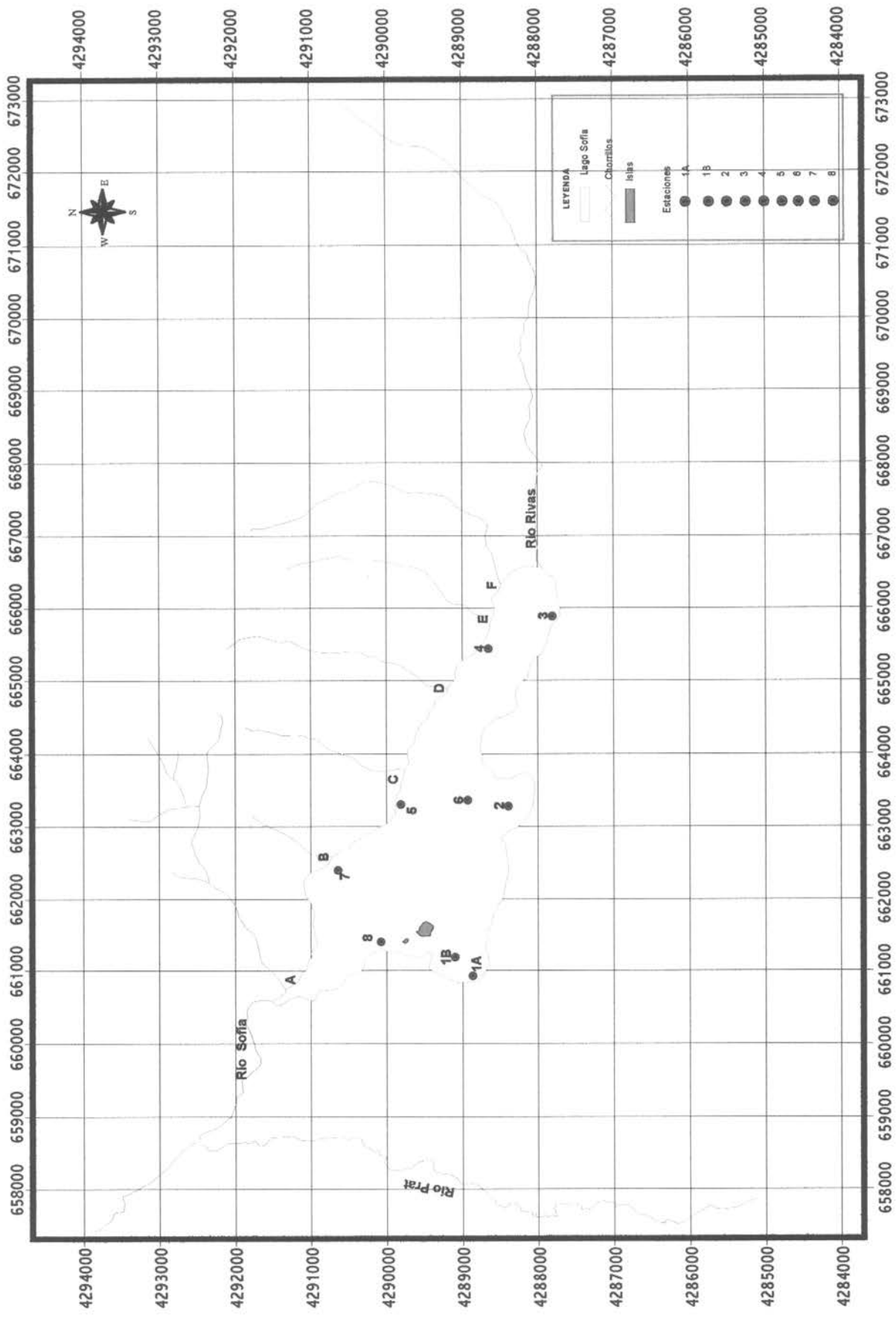
	Sep. 99	Nov. 99	Ene.00	May. 00	Jul. 00	Ago. 00
Altura espejo (mm)	32	18	47	4	7	13
Volumen del lago (m <sup>3</sup> )	285.511	160.600	419.345	35.689	62.455	115.989

**Tabla 18.-** Variación total de los Componentes del balance hídrico del Lago Sofia, (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>).

Meses	P	Qa	Qe	Delta W	Av	Ev
Septiembre	406.853	1.213.056	4.665.600	-2.476.972	583.887	15.168
Noviembre	192.720	494.813	3.695.115	-2.643.003	425.250	60.671
Enero	210.565	200.344	2.282.291	-2.596.683	381.055	1.106.356
Mayo	97.252	963.019	1.107.251	941.874	997.776	8.922
Julio	355,10	161.240	651.387	-241.105	257.609	8.922
Agosto	141,86	1.554.811	1.927.611	-214.203	165.593	7.138
<b>Total</b>	<b>907.887</b>	<b>4.587.283</b>	<b>14.329.255</b>	<b>-7.230.092</b>	<b>2.811.170</b>	<b>1.207.177</b>

- P= Precipitación; Qa= Caudal del afluente; Qe= Caudal del efluente; Delta W=Variación del contenido de agua del Lago; Av= Aportes de Chorrillos; Ev= Evaporación.





**FIGURA N°11 : Localización Geográfica de los principales afluentes y efluentes del Lago Sofía**

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26		JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE
	2000 Escala: 1: 50.000	Mapa en Coordenadas UTM	Software ArcView 3.2
			Grafica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

## CAPITULO N° 6

### INGRESO DE N Y P TOTAL AL LAGO SOFIA POR EL CENTRO DE CULTIVO

Para determinar los aportes de P y N provenientes de las actividades acuícolas desarrolladas por la empresa Acuimag S.A. en el Lago Sofía, se tomó en consideración solamente una fracción del alimento suministrado es incorporado por los peces, otra fracción es liberada a la columna de agua durante el proceso de sedimentación y por último, la fracción restante sedimenta en el fondo. Por esta razón, para establecer el balance de estos compuestos es necesario efectuar los siguientes análisis:

- Análisis de la composición de alimento. A continuación se describe la metodología utilizada para conocer cada una de estas determinaciones.
- Ingreso de N y P por sedimentación de excrementos de peces y alimento.
- Contenido de P y N total en sedimentos del centro de cultivo y otras estaciones.

#### • ANALISIS DE ALIMENTO SUMINISTRADOS A LOS SALMONES

El análisis de los alimentos suministrados a los peces se efectuó mediante muestras tomadas directamente desde los recipientes de alimentación ubicados en las balsas. Este muestreo se efectuó durante la fase de operación primaveral, considerando toma de muestras en septiembre y noviembre. Los análisis fueron efectuados en el laboratorio de control de calidad de la empresa TECNOLAB S.A. considerando el contenido de fósforo y nitrógeno total existente en el alimento (Tabla 19).

La toma de muestras de alimento implicó extraer directamente desde los recipientes de alimentación de las balsas jaulas, sacando una muestra representativa de los diferentes calibres utilizados en cada lapso de muestreo de este período primavera/verano 1999/2000 (crumble 2).

Las muestras de alimento fueron conservadas en seco y trasladadas hasta el laboratorio de TECNOLAB localizado en Punta Arenas dentro de 24 horas de tomadas. En este laboratorio se procedió a determinar el contenido de materia seca, nitrógeno total y fósforo total contenido en el alimento.

La determinación de la materia seca se efectuará a través del método gravimétrico después de secar la muestra a 105 °C por 48 horas, expresando los resultados en términos porcentuales. El contenido de nitrógeno total se efectuó mediante el método de micro Kjeldhal, expresando los resultados en términos porcentuales.

Finalmente durante enero, a través de la empresa Acuimag S.A. se solicitó a la empresa Alitec Ltda. la composición de los alimentos utilizados por el centro de cultivo, la cual fue remitida a través de una carta firmada por el Gerente de Productos Golden (Tabla 20). Entre los alimentos utilizados por el centro se señalan Crumble's N° 1, 2 y 3 y un extruido 1,5 (Anexo II).

Los resultados indican que tanto los valores certificados por TECNOLAB para el calibre "Cumple 2" como los indicados por la empresa coinciden, existiendo un 8% de Nitrógeno total y un 1,2% de fósforo.

#### • DETERMINACION DE LA TASA DE SEDIMENTACION

La velocidad de sedimentación del alimento fue medida in situ en dos oportunidades utilizando una balsa sin peces: enero y agosto, 2000. En enero, durante la noche, se ubicó un plástico de 1 m<sup>2</sup> unido en sus cuatro puntas a lienzas que permitieron unirlo a las esquinas de la parte superior de una de las balsas, logrando ubicarlo en el centro de la balsa y manteniéndolo a 2 m de profundidad. Al día siguiente, en la mañana se procedió a arrojar 0,5 kg de alimento al voleo (crumble 2) y se determinó el tiempo demorado en alcanzar la superficie de plástico. Posteriormente, se izó cuidadosamente esta bolsa y se procedió a pesar el material remanente. Este fue considerado la tasa de sedimentación 1.

En agosto se utilizó un procedimiento distinto, arrojando en la mañana 0,5 kg de alimento (crumble 2) en torno a un área de aproximadamente 1 m de diámetro y se procedió a colocar una madera graduada de 120 cm de longitud en posición vertical. Se arrojó el alimento al agua y se esperó hasta el momento en que la masa mayor de alimento sobrepasó la marca de 100 cm. Esta operación se repitió en 3 oportunidades, registrando el tiempo requerido. Esta fue considerada la tasa de sedimentación 2.

El análisis de las tasas de sedimentación del alimento ofertado a los salmones permitió estimar a través de ambos sistemas aplicado que esta variable fluctúa entre 0,0025 (tasa sedimentación 1) y 0,0033 m seg<sup>-1</sup> (tasa sedimentación 2). Estas tasas permiten predecir que en el lapso aproximado de una hora, los restos de alimento alcanzarían el fondo (10 m de profundidad), en ausencia de corrientes.

#### • ESTIMACION DE INGRESO DE N Y P TOTAL POR SEDIMENTACION DE EXCREMENTOS DE LOS PECES Y RESTOS DE ALIMENTO

Los resultados obtenidos indicaron que en un lapso de 30 días se acumularon entre 23 y 34 g de materia seca en la estación localizada en el centro de cultivo (0,77 a 1,1 g día<sup>-1</sup>), el cual fue 40 veces superior respecto de la Estación Control (0,02 g día<sup>-1</sup>). Aproximadamente el 93% del peso total es aportado por restos de alimento

muy fino y fecas en la zona del centro de cultivo. Asumiendo que en un día se entrega alimento en las 12 balsas, ofertando 12.000 g por día, implicaría que las pérdidas hacia el fondo son muy bajas (0,0083%).

En la estación control, se determinó que el porcentaje de N y P total fluctuaron entre 0,43 y 0,57% y entre 0,30 y 0,33%, respectivamente. En cambio, en la estación del centro de cultivo, el porcentaje de N total fluctuó entre 1,27 y 2,24% (N = 4; promedio = 1,78), y el contenido de P total, fluctuó entre 0,26 y 1,58% (N = 4; promedio = 0,92), (Tabla 21).

#### • **CONTENIDO DE N Y P TOTAL EN LOS SEDIMENTOS DEL FONDO (MUESTREO INTENSIVO)**

Durante las seis campañas de muestreo se obtuvo una muestra de 500 g de las capas superiores de la columna de sedimentos en cada una de las estaciones localizadas en el lago (Fig. 11) para efectuar análisis de N y P total (muestreo sistemático). De igual forma se acordó con el FIP cambiar un muestreo de granulometría en condiciones invernales por un catastro de la distribución espacial de N y P total en sedimentos del lago, los que se identifican como muestreo intensivo; Capítulo 10 y 13.

Las muestras fueron colectadas con la ayuda de una draga tipo Ekman de 0,0225 m<sup>2</sup> de superficie de mordida y posteriormente se depositaron en bolsas con cierre del tipo Ziploc, previamente rotuladas. Se guardaron en oscuridad y se aplicó un golpe de frío de aproximadamente 12 a 14 horas antes de ser enviadas por avión a Valparaíso. El análisis de las muestras fue realizado en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Universidad Católica de Valparaíso (Prof. Nelson Silva), siguiendo similar procedimiento al utilizado para determinación de N y P en el material retenido en las trampas de sedimento.

#### • **Nitrógeno**

Los resultados obtenidos en cada una de las estaciones durante seis campañas de muestreo indicaron que basado en las concentraciones promedio, en el centro de cultivo existen 24 veces más nitrógeno (0,29-2,81) que en el resto de las estaciones (Tabla 22a). Sin embargo, si se descartan los valores de julio, que corresponden al nuevo sitio de emplazamiento del centro de cultivo (St 1B), se observa que el área en que se localizaba el centro de cultivo existía 33 veces más nitrógeno (1,79-2,81%) que en las estaciones con ausencia de actividad acuícola. De igual forma, se observa que en sitio nuevo (St 1B), la concentración de N determinada en julio coincide con los valores detectados en las estaciones profundas (> 20 m; Sts, 5, 6, 7 y 8).

El análisis espacial basado en las campañas de muestreo de tipo sistemática (8 estaciones) permite visualizar que existen 3 zonas claramente definidas con diferentes grados de enriquecimiento por nitrógeno, que en forma decreciente son: i) el centro de cultivo (1,91%), ii) las estaciones profundas (0,19-0,27), y iii) las

estaciones someras (0,08-0,11%). La relación de proporciones entre sitios es igual a 1:10:24 ó 33, respectivamente.

En julio se observa que después de seis meses de haber comenzado a hacer uso del nuevo sitio los niveles de nitrógeno mantienen concentraciones similares a las observadas en las estaciones profundas (> 20 m).

#### • Fósforo

Los resultados obtenidos en cada una de las estaciones durante cinco campañas de muestreo indicaron que basado en las concentraciones promedio, en el centro de cultivo existen valores casi similares entre las estaciones profundas y el centro de cultivo (0,14 a 0,18%), siendo 9 veces superior a los valores detectados en las estaciones someras (Tabla 22b). Las proporciones se mantienen casi constantes entre diferentes campañas de muestreo, indicando un alto grado de conservación del grado de enriquecimiento existente en el lago. El análisis espacial basado en las campañas de muestreo de tipo sistemática (8 estaciones) permite visualizar que existen solamente 2 zonas claramente definidas con diferentes grados de enriquecimiento por fósforo, que en forma decreciente son: i) el centro de cultivo y estaciones profundas, y ii) las estaciones someras, La relación de proporciones entre sitios es igual a 1:10, respectivamente.

En julio se puede observar que después de cinco meses de haber comenzado a hacer uso del nuevo sitio los niveles de fósforo han alcanzado concentraciones similares a las observadas en las estaciones profundas (> 20 m).

**Tabla 19.-** Características de tamaño y composición química de los alimentos extruidos producidos por la empresa Alitec Ltda. (Golden Activa) y que son utilizados en la alimentación de salmónidos en la fase de agua dulce en el lago Sofía por parte de la empresa Acuimag S.A. Análisis de N y P total realizado en TECNOLAB S.A. (Examen N° 4555-PA del 2 de noviembre de 1999).

Característica del alimento	Salmón Atlántico	Salmón Coho
Proteína cruda (%)	50	50
Lípidos (%)	16	16
Fibra cruda (%)	1,5	1,5
Cenizas (%)	10,0	10,0
Humedad	9,0	9,0
Energía bruta (MJ/kg)	20,69	20,69
Fósforo total (%) "Crumble 2"	2,02	2,02
Nitrógeno total (%) "Crumble 2"	8,41	8,41
Tamaño "crumble 2", mm	1,1-1,4	1,1-1,4
Recomendación de uso gr/gr pez	2,0-5,0	1,5-4,5

**Tabla 20.-** Composición química de cuatro tipos de alimento producidos por la empresa Alitec Ltda. (información aportada por la empresa Alitec Ltda. al Sr.Fredy Carrasco).

Variable	Crumble 1	Crumble 2	Crumble 3	Extruido 1,5
Proteínas (%)	54	50	50	50
Lípidos (%)	16	16	16	20
Humedad (%)	10	10	10	10
Cenizas (%)	10	10	10	10
N total (%)	8,6	8	8	8
P total (%)	1,2-1,3	1,2-1,3	1,2-1,3	1,2-1,3

**Tabla 21.-** Contenido de P y N total en muestras de trampas de sedimento ubicadas entre el 15 de diciembre, 1999 y el 15 de enero, 2000 en dos estaciones del lago Sofía: Estación 1, centro de cultivo de salmones; Estación 2, estación control.

Estación	Peso muestra (g peso seco)	Réplica N°	% N	% P
1	34,104	1	1,27	1,51
1	*	2	1,47	1,58
1	23,058	1	2,17	0,33
1	*	2	2,24	0,26
2	0,706	1	0,57	0,33
2	*	2	0,56	*
2	0,699	1	0,42	0,30
3	*	2	0,43	*

\* = muestra insuficiente para realizar la determinación.

**Tabla 22a.-** Variación temporal del contenido de N total en los sedimentos del lago Sofía. St 1 representa sitio del centro de cultivo de salmones. \* datos obtenidos en la St 1B; datos restantes de la St 1A. D.E. = Desviación estándar.

Estaciones	Sep.99	Nov. 99	Ene.00	May.00	Jul.00*	Ago.00*	Promedio (%)	D.E (%)
1	1,79	2,81	2,39	2,25	0,29	0,68	1,70	1,00
2	-	0,07	0,1	0,08	0,06	0,07	0,07	0,02
3	-	0,16	0,145	0,08	0,07	0,16	0,12	0,04
4	-	0,08	0,07	0,13	0,09	0,09	0,09	0,02
5	-	0,14	0,155	0,215	0,24	0,25	0,2	0,05
6	-	0,275	0,275	0,27	0,27	0,26	0,27	0,01
7	-	0,25	0,23	0,25	0,26	0,26	0,25	0,01
8	-	0,21	0,25	0,21	0,3	0,20	0,23	0,04



**Tabla 22b.-** Variación temporal del contenido de P total en los sedimentos del lago Sofia. St 1 representa sitio del centro de cultivo de salmones. \* datos obtenidos en la St 1B; datos restantes de la St 1ª.

Estaciones	Sep.99	Nov. 99	Ene.00	May. 00	Jul.00*	Ago.00*	Promedio(%)	DE(%)
1	0,09	0,27	0,16	0,165	0,03	0,05	0,13	0,09
2	-	0,02	0,105	0,08	0,05	0,09	0,07	0,03
3	-	0,02	0,015	0,055	*	0,04	0,03	0,02
4	-	0,02	0,03	0,045	0	0,09	0,04	0,03
5	-	0,03	0,175	0,14	0,27	0,20	0,16	0,09
6	-	0,17	0,215	0,13	0,21	0,18	0,18	0,03
7	-	0,07	0,155	0,185	0,19	0,12	0,14	0,05
8	-	0,03	0,165	0,2	0,2	0,11	0,14	0,07

## CAPITULO N° 7

### CUANTIFICACION DE LA PRODUCCION DE PECES SALMONIDEOS EN EL LAGO SOFIA

#### • IDENTIFICAR LAS ESPECIES A SER CULTIVADAS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO Y AQUELLAS QUE HAN SIDO CULTIVADAS EN EL PASADO

La Tabla 23 y 24 muestran la lista de especies de peces salmonídeos que han sido cultivados entre 1991 y febrero de 1999 en la concesión de la empresa Acuimag S.A. como también las estadísticas individuales para el año 1999 y 2000. Este centro es el único centro que actualmente cuenta con una autorización para desarrollar actividades asociadas con la producción de smolts de salmónidos en la XII Región. Hasta el presente se han cultivado tres especies: la trucha arco iris (*O. mykiss*), el salmón coho (*O. kisutch*) y el salmón del Atlántico (*Salmo salar*). Durante la temporada 1999/2000 se han mantenido individuos de las tres especies.

De ambas tablas se desprende que la especie utilizada con mayor frecuencia es el Salmón del Atlántico, siendo considerada por la empresa como la especie objetivo del centro de cultivo. En la temporada 1999/2000, se identificaron tres ciclos de producción: i) ingreso semipermanente de alevines de salmón Atlántico, extendido entre julio 1999 a mayo, 2000, ii) incorporación de alevines del Salmón Coho entre octubre y diciembre, 1999 y iii) incorporación de Trucha Arco Iris a partir de junio, 2000, además de mantener un stock de Salmón Atlántico. Se observó también que en al menos 4 meses no hubo ingreso de peces al lago (agosto y noviembre, 1999, y enero-febrero, 2000), manteniendo los stock ingresados en los meses previos. En tres oportunidades, el lago fue utilizado principalmente para hacer una corta aclimatación de los peces (2 a 20 días) antes de ser transferidos finalmente a centros de cultivo instalados en áreas de mayor salinidad del seno de Ultima Esperanza (Tabla 24).

También se desprende que en 1999 se introdujeron al lago aproximadamente 2.137.800 ejemplares, aportando una biomasa inicial aproximada de 10 toneladas, mientras que entre marzo y julio, 2000, se estima que aproximadamente 2.000.000 individuos han permanecido en el lago, aportando una biomasa inicial de aproximadamente 11 toneladas. Un hecho que llama la atención es la fuerte mortalidad que ha acontecido en algunos lapsos, la que parece estar atribuidas a enfermedades fúngicas y a posible sobrecarga de individuos en cada balsa.

Para conocer que ocurre con las estadísticas individuales a nivel de balsas y con los aportes de alimento y las variaciones en estas variables e identificar cuáles son los factores a los que se atribuye esta variación, se acordó con la empresa durante julio, 2000, hacer un análisis de las estadísticas de Crianza Semanal y Uso de Alimento para determinar cuál es el grado de variabilidad existente en cada unidad de cultivo o balsa, tomando como referencia la semana extendida entre el 31 de julio al 6 de agosto. Los resultados indican que en este lapso

se mantuvieron 545.533 individuos de la especie Salmón Atlántico y 196.365 individuos de la especie Trucha Arco Iris. La densidad promedio de cada especie fue de 49.594 individuos por balsa (N = 11; coeficiente de variación = 36,76%) para el Salmón Atlántico y de 49.091 individuos por balsa en la Trucha (N = 4; coeficiente de variación = 139,0%) (Tabla 25).

Con la finalidad de conocer con más detalles lo acontecido con las posibles fluctuaciones de los niveles de alimento aportado y a objeto de sintonizar con mayor precisión el posterior modelo de enriquecimiento del lago con aportes de P y N total provenientes de la alimentación (simulación), se solicitó a la empresa el utilizar las estadísticas de esta misma semana para conocer las tasas de mortalidad semanal y de aporte de alimento en algunas balsas seleccionadas (Tabla 26).

- **ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA PRODUCCIÓN DE SALMONIDOS CULTIVADOS EN EL LAGO SOFIA POR PARTE DE LA EMPRESA ACUIMAG S.A.**

La Tabla 23 muestra el registro histórico de peces salmonídeos cultivados en el lago Sofía. Hasta marzo de 1999 se habían cultivado 3.071.550 peces de las 3 especies en conjunto. En esta misma tabla se puede observar que a partir de 1996 ha ido disminuyendo el tamaño o peso de ingreso de los peces en el lago acortando la permanencia en la fase de agua dulce. En 1999 sólo se han mantenido individuos de las especies Salmón Coho y Salmón del Atlántico. Por otra parte, se puede constatar que, independiente de la especie, los períodos de permanencia de los peces en el lago no ha sobrepasado de 12 meses (1996, salmón coho) y a partir de 1999 la permanencia en el lago se ha intentado acortar al máximo debido al manejo de mayores densidades (> 100.000 individuos) y a la presencia de algunas enfermedades provocadas por hongos que implican una rápida transferencia a zonas marinas de mayor salinidad.

La talla de cosecha también ha ido reduciéndose paulatinamente, disminuyendo desde un peso de 350 g (abril, 1991) a 13,7 g (marzo, 1999).

En forma resumida se puede señalar que la fase de cultivo de agua dulce de las especies salmonídeas en el lago Sofía desde 1991 a 1999 han implicado utilizar 71.205 toneladas de alimento peletizado con un factor de conversión de aproximadamente 1:1.

#### • **PARAMETROS BIOLÓGICOS ESPECIES CULTIVADAS: RELACION LONGITUD/PESO**

La Fig.12 (a, b y c) muestra las gráficas de dispersión de los valores obtenidos al relacionar la longitud (cm) y el peso (g) para las tres especies cultivadas en el lago Sofia en el centro de la empresa Acuimag S.A. De esta figura se desprende que los peces ingresan al lago con una talla de aproximadamente 5 cm y se mantienen hasta aproximadamente alcanzar una talla de 20 cm.

#### • **DESCRIPCION DEL SISTEMA OPERACIONAL DE LA EMPRESA**

La empresa Acuimag Ltda, inició actividades en el lago Sofia a través de una autorización de la Subsecretaría de Pesca para cultivar 100.000 alevines de Salmón Plateado en el año 1989 (Resol. N° 1928 de fecha 7 de diciembre de 1989), considerando el uso de 6 balsas jaulas. Posteriormente, en 1991 solicitó una nueva autorización para cultivar en el lago alevines de las especies Salmón Coho y Trucha Arco Iris (Resol.N° 732 del 17 de junio de 1991), la cual lo autorizó a ocupar un área tal de la concesión que permitiera incorporar 30 balsas jaulas de 10x10 m (100 m<sup>2</sup>).

Sin embargo, a la fecha actual y durante el período en que se ha desarrollado este estudio, la empresa ha mantenido en el lago entre 12 y 16 balsas jaulas de 10x10 m, distribuidos en dos trenes de 6 balsas c/u, cubriendo una superficie total aproximada de 3600 m<sup>2</sup>. En agosto de 2000 se contabilizaron 16 balsas-jaulas de similares características a las ya existentes.

La principal actividad de la empresa es la producción de ovas, alevines y smolt de peces salmonídeos para empresas salmoneras de la X a la XII región como también para autosostener la producción de salmones que posee la misma empresa en el sector de Puerto Prat, en el Seno de Ultima Esperanza. De igual forma, la empresa tiene en su giro comercial la reproducción de peces y mariscos, comercialización, compra, venta, importación y exportación de éstos. En el lago, la empresa trabaja con 1 a 3 personas los que se dedican principalmente a dar alimento a los peces y a mantener en condiciones operativas las balsas-jaulas.

Los antecedentes de tipo legal de la empresa son los siguientes:

- **Empresa** : ACUIMAG s.a.
- **R.U.T** : 78.754.560-2.
- **Domicilio** : Gabriela Mistral N°676. Pto. Natales.
- **Teléfono** : (61)-411882.
- **Rep. Legal** : Fernando Fredy Carrasco.
- **R.U.T** : 6.985.067-7.

- Domicilio : Gabriela Mistral N°676. Pto. Natales.
- Teléfono : (61)-411882.
- Direc. Electrónica : [acuimag@ctcinternet.cl](mailto:acuimag@ctcinternet.cl)

**Tabla 23.- Producción de peces salmonídeos cultivados en el lago Sofía, provincia de Última Esperanza, XII región, Chile, entre 1991 y 1999 por parte de la empresa Acuimag S.A. FC= Factor de Conversión del alimento**

año	Especie	Nombre común	n° peces	peso prom. ingreso(gr)	Mes ingreso	peso prom. cosecha(gr)	Mes cosecha	Incremento biomasa(kg)	Alimento suministrado(kg)	factor conversión
1991	O. mykiss	trucha	2600	60	dic-90	200	mar-91	364	400	1,1
1991	O. mykiss	trucha	2000	60	dic-90	350	abr-91	580	600	1,03
1992	O. mykiss	trucha	150	50	dic-91	300	may-92	38	40	1,07
1992	O. mykiss	trucha	5660	50	dic-91	231	feb-92	1024	1170	1,14
1993	O. kisutch	coho	80500	11	may-92	60	feb-93	3945	4200	1,06
1994	O. mykiss	trucha	4475	68,7	dic-93	190	may-94	543	570	1,05
1996	O. kisutch	coho	100000	5,3	feb-96	15	ago-96	970	1000	1,03
1996	O. mykiss	trucha	50000	6	jun-96	40	nov-96	1700	1770	1,04
1996	O. kisutch	coho	250000	5	feb-96	31,2	nov-96	6550	6750	1,03
1996	O. mykiss	trucha	200000	6	jun-96	38	dic-96	6400	6580	1,03
1996	O. kisutch	coho	167872	5	feb-96	31,2	dic-96	4398	4425	1,01
1997	O. kisutch	coho	10000	5	feb-96	40	ene-97	350	375	1,07
1997	O. mykiss	trucha	70000	6	jun-96	40	ene-97	2380	2475	1,04
1997	O. kisutch	coho	200010	2,5	ene-97	45	nov-97	8500	9000	1,06
1997	O. kisutch	coho	105000	2,5	ene-97	40	dic-97	3938	4175	1,06
1997	O. kisutch	coho	105000	2,5	ene-97	44	dic-97	4358	4575	1,05
1998	O. kisutch	coho	200000	7	abr-98	7	abr-98	0	0	0
1998	O. mykiss	trucha	9800	6	jun-96	145	abr-98	1362	1400	1,03
1998	O. mykiss	trucha	40000	15	may-97	70	jul-98	2200	2350	1,07
1998	O. kisutch	coho	56520	1	oct-97	35	ago-98	1922	2025	1,05
1998	O. mykiss	trucha	68630	16	abr-98	58	ago-98	2882	3000	1,04
1998	O. kisutch	coho	260000	16	abr-98	29	sep-98	3380	3750	1,11
1998	O. mykiss	trucha	30000	16	abr-98	79	sep-98	1890	2025	1,07
1998	S. salar	salar	65000	15	nov-98	15	nov-98	0	0	0
1999	S. salar	salar	111900	5,8	feb-99	5,8	feb-99	0	0	0
1999	O. kisutch	coho	416433	5	feb-99	13,7	mar-99	3623	3725	1,03
1999	O. kisutch	coho	350000	1,5	nov-98	13	mar-99	4025	4250	1,06
1999	O. kisutch	coho	110000	5	feb-99	10	mar-99	550	575	1,05
Totales			3071550					67872	71205	0,942142857



**Tabla 24.-** Producción anual de smolts (1999-2000) de tres especies de salmónidos cultivados por la empresa Acuímag S.A. en el lago Sofía, XII Región, Chile.

Mes Ingreso	Especie	Cantidad inicial		N° jaulas	Peso		Mortalidad (N° Indiv.)	Permanencia en el lago (días)	Stock final	
		N° Indiv.	kilos		Inicial (g)	Final (g)			N° indiv.	Kilos
Jul.99	SA	17.800	71,2	3	4,0	23,0	NC	60	16.000	368
	SA	500.000	2.000	7	4,0	30,0	340.000	150	160.000	4.800
Ago.99	SIN INGRESO DE PECES EN EL LAGO									
Sep.99	SA	800.000	4.640	10	5,8	5,8	0	2	800.000	4.640
Oct.99	SA	150.000	600	5	4,0	5,8	102.000	20	120.000	696
	SC	250.000	1.000	5	4,0	20,0	150.000	90	100.000	697
Nov.99	SIN INGRESO DE PECES EN EL LAGO									
Dic.99	SA	320.000	960	5	3,0	48,0	120.000	120	200.000	9.600
	SC	100.000	697	5	7,0	20,0	20.000	120	80.000	1.600
Ene.00	SIN INGRESO DE PECES EN EL LAGO									
Feb.00	SIN INGRESO DE PECES EN EL LAGO									
Mar.00	SA	540.000	2.160	7	4	4	0	10	540.000	2.160
Abr.00	SA	30.000	1.440	3	4,8	4,8	0	2	30.000	1.440
May.00	SA	943.900	6.052	8	6,4	5,3- 13,4	300.900	60	643.000	3.408-8.616
Jun.00	TA	134.000	536	4	4	NC	-	-	-	-
Jul.00	TA(*)	146.000	584	0	4	—	146.000	0	0	0

(\*) Estos ejemplares murieron por congelamiento del agua del camión cisterna en que se encontraban dispuestas para ser descargadas en el lago.

**Tabla 25.-** Estadística de peces por balsa.

Balsa N°	Especie	Densidad (N° Indiv.)
7	Salmón Atlántico	75.480
8	Salmón Atlántico	26.458
9	Salmón Atlántico	78.714
15	Salmón Atlántico	59.578
16	Salmón Atlántico	58.414
17	Salmón Atlántico	51.875
18	Salmón Atlántico	23.174
19	Salmón Atlántico	40.389
20	Salmón Atlántico	43.627
21	Salmón Atlántico	33.808
22	Salmón Atlántico	54.016
23	Trucha Arco Iris	151.407
25	Trucha Arco Iris	10.388
26	Trucha Arco Iris	14.790
27	Trucha Arco Iris	19.780

**Tabla 26.-**Dinámica semanal (31 julio al 6 de agosto) de la densidad, mortalidad, peso promedio de los peces y aporte semanal de alimento ofertado a smolts de dos especies de salmónidos (Salmón Atlántico, SA, y Trucha Arco Iris, TAI.)

Balsa N°	Especie	Densidad inicial (N° Indiv.)	Densidad final (N° Indiv.)	Mortalidad (N° Indiv.)	Peso Promedio (g)	Alimento semanal (kg día <sup>-1</sup> )
7	SA	75.780	75.480	300	5,3	1,0
8	SA	26.728	26.458	270	13,4	0,5
9	SA	78.720	78.714	6	9,5	1,0
15	SA	59.598	59.578	20	7,3	0,5
23	TAI	151.407	151.398	9	3,3	0,5
25	TAI	10.388	10.183	205	4,0	0,5
26	TAI	14.790	14.783	7	4,0	0,5

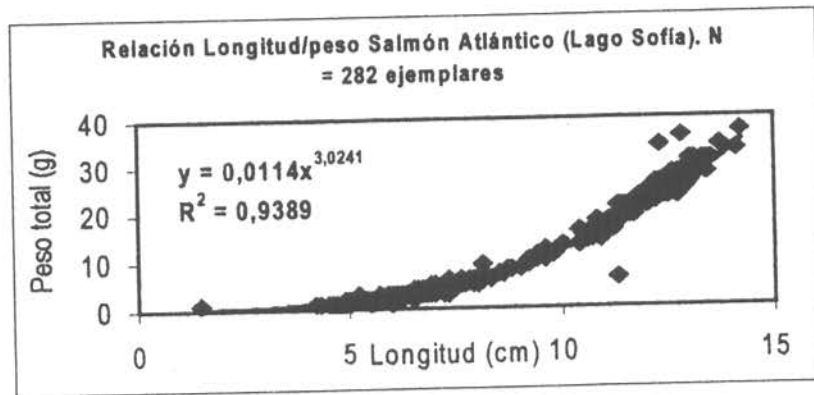


Fig 12 a.- Relación longitud/ peso para Salmón del Atlántico (*Salmo salar*).

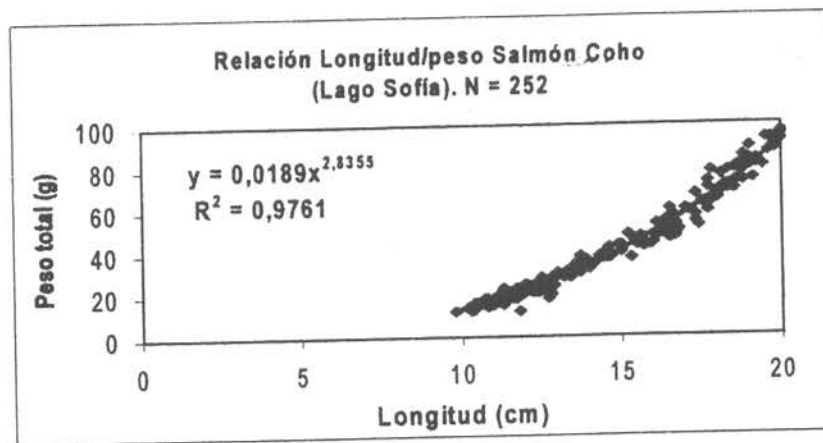


Fig 12b.- Relación Longitud/ peso para Salmón Coho (*Oncorhynchus kisuth*).

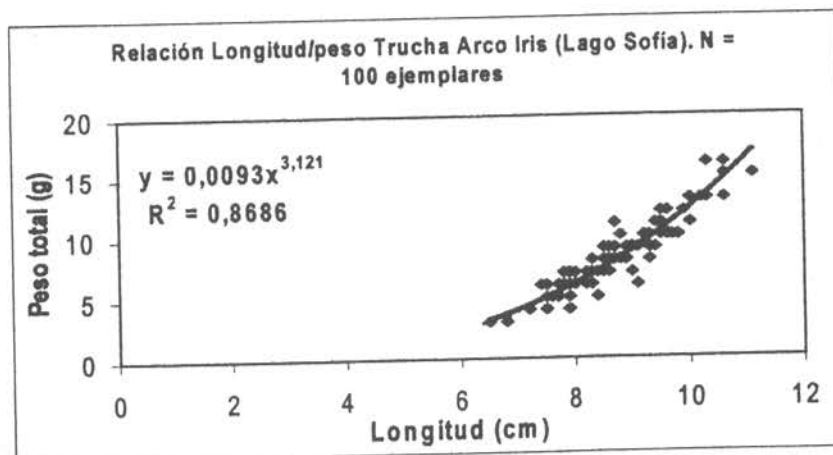


Fig 12c.- Relación longitud/peso para Trucha Arco iris

## CAPITULO N° 8

### CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO Y CARACTERISTICAS LIMOLOGICAS DE LA COLUMNA DE AGUA DEL LAGO SOFIA

En el presente capítulo se describen las principales características químicas y físicas de la columna de agua del lago, representada por la toma de muestras en 6 campañas de monitoreo efectuadas entre septiembre de 1999 y agosto, 2000. Las características biológicas (composición del fitoplancton y variación temporal de la clorofila a y el zooplancton) se muestran capítulos posteriores en forma separada.

#### COMPUESTOS NITROGENADOS

##### Nitrógeno total

En la superficie, las concentraciones promedio de N total en la columna de agua fluctuaron entre 1668 y 2210  $\mu\text{g/l}$ , mostrando un estrecho rango de variación dentro de cada estación (< 67%). Estacionalmente, y en la superficie (0 m), se observó que en las campañas efectuadas durante condiciones invernales los valores se incrementaron significativamente en aproximadamente 2,5 veces respecto de los meses de primavera y verano. De igual manera, se observó que los valores detectados en el centro de cultivo se encuentran dentro del rango determinado para las estaciones restantes.

Las concentraciones se mantuvieron dentro del mismo rango en el estrato intermedio como en el estrato profundo (Tabla 27), indicando que la columna de agua del lago se encuentra principalmente mezclada a lo largo del año.

##### Nitrato

En la superficie, las concentraciones de nitrato fluctuaron estacionalmente entre 1,4 y 29,41  $\mu\text{g/l}$ , con aproximadamente el 88% de los valores presentaron valores < 10  $\mu\text{g/l}$ . De igual manera, se observó que no existen claras diferencias en la disponibilidad de nitrato en la estación del centro de cultivo respecto de las otras estaciones carentes de actividad acuícola (Tabla 28).

A nivel vertical o en profundidad se observó que la concentración promedio de la superficie (6,62  $\mu\text{g/l}$ ), considerando todas las estaciones, mostró escasas variaciones respecto del estrato intermedio (6,67  $\mu\text{g/l}$ ), y fue levemente superior respecto del estrato profundo (4, 26  $\mu\text{g/l}$ ).

Los valores obtenidos en el lago Sofía son una o dos órdenes de magnitud más bajo respecto de los detectados por Soto et al. (1994) para algunos lagos y lagunas del sector del Parque Nacional Torres del Paine.

### Nitrito

A nivel superficial, la concentración de nitrito fluctuó entre 0,14 y 4,06  $\mu\text{g/l}$ , no existiendo diferencias entre estaciones sin actividad acuícola y la zona en que se emplaza el centro de cultivo. Las concentraciones promedio fueron siempre  $< 0,88 \mu\text{g/l}$ . Además se observó que el 94% de los valores registrados presentaron concentraciones  $< 1 \mu\text{g/l}$ .

Considerando la variación vertical en la concentración del nitrito, se observó que las concentraciones promedio se incrementaron de acuerdo a la profundidad, determinándose que el valor promedio a 0 m fue de 0,41  $\mu\text{g/l}$ , mientras que en el estrato profundo se encontró un valor de 0,64  $\mu\text{g/l}$ . En general, los valores más frecuentes en los estratos más profundos fueron siempre  $< 1 \mu\text{g/l}$ , indicando una cierta homogeneidad vertical en la distribución de este compuesto químico (Tabla 29).

Estacionalmente, los valores se mantuvieron relativamente constante entre las diferentes campañas de monitoreo, aunque al analizar en forma conjunta los datos del lapso septiembre 1999 a enero, 2000 y aquellos obtenidos en el lapso mayo-agosto, 2000, se distingue que durante las condiciones invernales la concentración de nitrito fue levemente superior (0,74  $\mu\text{g/l}$ ) respecto del período primaveral-estival (0,31  $\mu\text{g/l}$ ).

### Amonio

La distribución superficial de esta forma nitrogenada mostraron valores intermedios en gran parte del lago entre distintas campañas de monitoreo, fluctuando entre 0,98 (agosto, St 8) y 60,9  $\mu\text{g/l}$  (enero, St 3). En general, el 60% de los valores obtenidos mostraron concentraciones  $< 10 \mu\text{g/l}$ , coincidiendo los valores máximos con los análisis efectuados en enero en las estaciones someras (Sts 1, 2 y 3), es decir en las estaciones localizadas en el lado sur del lago. En septiembre, 1999 y en mayo y agosto, 2000, los valores fueron  $< 10 \mu\text{g/l}$  (Tabla 30)

En profundidad, las concentraciones se mantuvieron en el mismo rango reportado para la superficie, con mayores valores en las estaciones someras y detectándose los máximos valores durante enero.

La mayor producción de amonio durante el período estival se pudo haber debido a la mayor concentración de zooplancton y al aumento de la temperatura en el agua.

## Fósforo total

El contenido del fósforo total en la lago Sofia presenta un grado intermedio de concentración, con valores en superficie que fluctuaron entre 5,0 y 55,8  $\mu\text{g/l}$ , observándose que solamente un 25% de las determinaciones presentaron valores  $< 10 \mu\text{g/l}$  (Tabla 31) y un 50% de éstas fluctuaron entre 10 y 20  $\mu\text{g/l}$ . El resto de las determinaciones (25% restante) fueron  $> 20 \mu\text{g/l}$ , con un máximo de 55,8  $\mu\text{g/l}$ . Sin embargo, al considerar las variaciones entre estaciones se observó que el contenido de P total en la columna de agua fluctuaron entre 14,05 y 30,25  $\mu\text{g/l}$ .

La columna de agua asociada al centro de cultivo presentó valores de contenido de P total inferiores (19,53  $\mu\text{g/l}$ ) respecto a la zona central del lago (30,25  $\mu\text{g/l}$ ) y levemente superiores respecto de las estaciones 3, 5, 7 y 8 (14,05 y 15,28  $\mu\text{g/l}$ ).

De acuerdo a Wetzel (1981), quién estableció relaciones entre la productividad de lagos y las concentraciones medias del P total epilimnético, las aguas del lago Sofia debieran ser catalogadas principalmente del tipo meso-eutróficas por cuanto los rangos de valores de P total fluctuaron entre 10 y 30  $\mu\text{g/l}$ .

En profundidad, se observó que la columna de agua no experimentó grandes variaciones respecto del contenido de P total determinado en las muestras de agua de la superficie. En la zona intermedia se detectaron valores que fluctuaron entre 3,1 y 53,3  $\mu\text{g/l}$ , mientras que en el estrato profundo, fluctuaron entre 3,1 y 136  $\mu\text{g/l}$  (Tabla 30).

En general, se observa que el patrón espacial y temporal de distribución vertical y horizontal de este elemento, es bastante heterogéneo, existiendo variaciones de hasta dos órdenes de magnitud en las concentraciones.

## Fosfato

El fosfato (ortofosfato) representa la fracción soluble del fósforo, el cual es asimilado rápidamente por los organismos (Wetzel, 1981). En la superficie de la columna de agua del lago Sofia, este compuesto presentó concentraciones relativamente bajas que fluctuaron entre  $< 0,3$  y 16,1  $\mu\text{g/l}$ , estando representados principalmente valores  $< 10 \mu\text{g/l}$  (94%) (Tabla32).

En general, se observa una distribución espacial relativamente homogénea a nivel superficial, detectándose valores superiores en las estaciones someras (Sts. 2., 3 y 4). En el centro de cultivo se observaron valores relativamente bajos ( $< 2,8 \mu\text{g/l}$ ). De igual manera, excepto en algunas estaciones, no se observó un



patrón claro respecto de la variación del contenido de fosfato en la superficie y los meses en que se efectuaron las campañas de monitoreo.

En términos de profundidad, se observó que la columna de agua presenta valores relativamente similares entre los tres estratos de profundidad, con valores levemente superiores en el estrato superior y en el estrato profundo, y valores menores en las zona intermedia (Tabla 32).

### **Temperatura**

La zona superficial de la columna de agua del lago Sofía presentó escasas variaciones térmicas entre los distintos puntos de muestreo, siendo afectada principalmente por la estacionalidad. Los rangos de variación fluctuaron entre 2,1 y 13,4 °C, detectándose los valores mínimos en julio y agosto y los máximos en noviembre 1999 y enero, 2000 (Tabla 33). Los máximos incrementos de temperatura se detectaron entre septiembre y noviembre, 1999 (aproximadamente 5,6 °C) y los máximos decrementos entre mayo y julio, 2000 (aproximadamente 5 °C).

Las bajas temperaturas existentes durante las campañas efectuadas en invierno queda reflejado por la presencia de hielo y témpanos en la orilla del lago, abarcando una extensión lineal de aproximadamente 4 a 5 m. Esta situación se observó claramente en las proximidades del río Rivas y en la zona del muelle, frente al centro de cultivo.

En relación a la variación vertical de la temperatura, se observó que la columna de agua superior se mostró bastante homogénea tanto en condiciones de verano como de invierno. La generación de este patrón térmico puede ser ocasionado por el fuerte estrés eólico que ocasiona el viento magallánico.

La fuerte mezcla observada en la columna de agua del lago Sofía parece afectar no solo a esta variable sino que produjo situaciones similares en otros parámetros de tipo físicos y químicos. La ausencia de termoclina en la columna de agua parece estar determinado por la escasa profundidad existente en gran parte del lago.

### **pH**

El pH del lago Sofía es levemente superior a la neutralidad fluctuando entre 7,7 y 8,68. No se observaron variaciones significativas entre condiciones invernales y estivales, y no se detectan variaciones respecto de la profundidad en que fueron tomadas las muestras (Tabla 34).

## Conductividad

La conductividad a nivel superficial mostró escasas variaciones entre las distintas estaciones, observándose un leve aumento en los meses de invierno (aproximadamente  $170 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) en función de los valores obtenidos en primavera y verano (aproximadamente  $160 \mu\text{S}/\text{cm}$ ). A nivel vertical, se observó que existe una leve tendencia a aumentar la conductividad a medida que se incrementa la profundidad (Tabla 35). El patrón de variación estacional de la conductividad en los estratos más profundos mostró un esquema similar al detectado en la superficie, aumentando en los meses de invierno.

## Contenido de Oxígeno disuelto

En superficie, la columna de agua del lago Sofía se muestra permanentemente oxigenada, con valores promedio que fluctuaron entre 8,48 y 9,4 mg/l. Sin embargo, al comparar los valores en función de los meses en que se efectuaron las campañas de monitoreo se observa que en septiembre, 1999 y agosto, 2000, se detectaron las concentraciones mínimas de oxígeno, y éstas tienden a aumentar durante enero y en los meses de mayo y julio (Tabla 36).

Al analizar las variaciones del contenido de oxígeno entre distintas estaciones limnológicas se observan que el lago muestra una gran homogeneidad, mostrándose principalmente como un sistema oxigenado.

Sin embargo, al aumentar la profundidad se observa que en la mayoría de las estaciones limnológicas se observa una disminución leve respecto de la superficie (Tabla 36), aunque la reducción en el contenido de oxígeno se acrecentó en el mes de agosto, 2000, alcanzado valores de hasta 3,7 mg/l en la St 8.

## Color

Se observó que en función de esta variable el lago Sofía muestra dos regímenes. En los meses de otoño e invierno, con excepción del área correspondiente al centro de cultivo, en la mayoría de las otras estaciones no se detectó color en toda la columna de agua. En cambio en los meses de primavera, verano y fines de invierno (agosto) se observaron valores que fluctuaron entre 2 y 25 unid. Pt/Co (Tabla 37).

Al comparar las variaciones del color respecto de la profundidad, se observó que esta variable muestra una gran homogeneidad vertical.

Los valores determinados permiten sugerir que el lago Sofía presenta aguas relativamente limpias, si se considera que un valor de 300 unid. Pt/Co son característica de aguas muy turbias (Wetzel 1981).

## **Turbidez**

A nivel superficial, la turbidez fluctuó entre 0 y 8 mg/l entre las distintas estaciones y en los diferentes meses en que se efectuaron las campañas de monitoreo. Se registraron 35 valores de los 48 obtenidos en el lapso del estudio cuya concentración fluctuó entre 0 y 2 mg/l (72,92%). Analizando los valores promedio por estación, se observó que las St 6, 7 y 8 poseen cifras inferiores a las detectadas en sitios más someros.

Estacionalmente, se observó que los valores promedio fueron mayores en noviembre y en julio; en noviembre la explicación puede estar dada por el aumento de la abundancia del zoo y fitoplancton y el derretimiento de las nieves que produjo un transporte de sedimentos hacia las riberas del lago, mientras que en julio, parece haber afectado la existencia de un temporal los días previos al muestreo.

En el sentido vertical, se observó cierto grado de homogeneidad en los valores determinados en las muestras de agua de superficie respecto de aquellos valores determinados en el estrato intermedio y de fondo, aunque la fracción de valores determinados en el rango entre 0 y 2 mg/l fueron inferiores (62,5 y 64%), lo que denota un leve aumento de la turbidez a medida que aumenta la profundidad.

## **Seston**

En superficie, la concentración promedio de seston total en la columna de agua del lago Sofía fluctuó entre 0,06 y 18,19 mg/l. Especialmente, se observó que la concentración promedio de seston fue levemente superior en las St 1, 2, 6 y 7 respecto de las otras estaciones. En general, en la parte superior de la columna de agua del lago existe una baja concentración de seston ya que el 94% de los valores medidos fueron < 10 mg/l.

Estacionalmente se observó que en noviembre y enero y entre julio y agosto se observó un aumento en la concentración de seston total respecto de los otros meses.

En términos verticales, la concentración de seston en la columna de agua mostró escasas variaciones entre los diferentes estratos de profundidad, presentando valores normalmente < 10 mg/l.

## **Trasparencia**

Los valores medidos de transparencia de la columna de agua del lago Sofía en las distintas campañas de monitoreo demostró que la columna de agua podría ser catalogada como mesoeutrófica, ya que los valores promedio fluctuaron en torno a 5,5 y 7,1 m. La transparencia de la columna de agua de la estación en que se localiza el centro de cultivo no mostró diferencias respecto de las estaciones sin acción antrópica directa.

Estacionalmente se observó que la reducción de la visibilidad del disco detectada en julio y agosto parece ser afectada por el escaso nivel de luz diurna durante condiciones invernales.

**Tabla 27.-**Concentración de N total ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	1030	889	1030	1170	1261	1030	707	980
NOV	854	945	1940	994	945	854	1135	1135
ENE	854	910	1310	910	833	952	651	1149
MAY	3264	2430	5127	2794	3712	3011	2626	3145
JUL	2605	2430	1751	1835	1240	3243	3565	1884
AGO	2479	2409	2101	3145	2885	3110	2647	3208
PROM/ST	1848	1668,8	2209,8	1808	1813	2033,3	1888,5	1916,8
D.E.	1060	826,38	1483,7	962,97	1192	1195,4	1218,6	1025,2
C.V	57,39	49,51	67,1	53,26	65,75	58,79	64,52	53,48
Min.	854	889	1030	910	833	854	707	980
Max.	3264	2430	5127	3145	3712	3243	3565	3208

Concentración de N total ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel intermedio del lago (5-6 m)

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	1163	1121	1030	1758	1534	1940	980	1303
NOV	805	1093	1184	1135	1233	1324	1044	805
ENE	805	1135	1177	1142	819	1219	1149	924
MAY	2381	2472	1688	3229	2754	2073	2157	2325
JUL	2248	1940	1160	1863	2269	2234	2528	2185
AGO	2234	2598	2073	2416	2199	2206	2157	2423
PROM/ST	1606	1726,5	1385,3	1923,8	1801	1832,7	1669,2	1660,8
D.E.	759,8	704,09	406,32	801,3	727,2	448,34	685,55	734,87
C.V	47,31	40,78	29,33	41,65	40,37	24,46	41,07	44,24
Min.	805	1093	1030	1135	819	1219	980	805
Max.	2381	2598	2073	3229	2754	2234	2528	2423

Concentración de N total ( $\mu\text{g/l}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12- 15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	1121	*	*	1625	1527	1625	1254
NOV	*	1464	*	*	1513	945	1044	994
ENE	*	952	*	*	784	924	966	924
MAY	*	3411	*	*	3054	2374	2374	2724
JUL	*	*	*	*	2661	2409	2318	2696
AGO	*	3292	*	*	3019	2682	2857	2311
PROM/ST	*	2048	*	*	2109	1810,2	1864	1817,2
D.E.	*	1204,9	*	*	935	781,1	773,07	852,18
C.V	*	58,83	*	*	44,33	43,15	41,47	46,89
Min.	*	952	*	*	784	924	966	924
Max.	*	3411	*	*	3054	2682	2857	2724

**Tabla 28.-**Concentración de  $\text{NO}_3$  ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	2,8	29,41	5,6	5,6	2,8	4,2	4,2	5,6
NOV	4,2	29,4	5,6	5,6	11,2	2,8	8,4	8,4
ENE	4,2	1,4	1,4	1,4	2,8	1,4	1,4	1,4
MAY	4,2	2,8	1,4	2,8	4,2	1,4	1,4	5,6
JUL	5,6	5,6	4,2	7,0	2,8	8,4	28	23,8
AGO	5,6	14	5,6	2,8	7,0	8,4	7,0	7,0
PROM/ST	4,43	13,76	3,96	4,2	5,13	4,43	8,4	8,63
D.E.	1,05	12,87	2,06	2,16	3,39	3,24	10,01	7,79
C.V	23,77	93,52	51,95	51,64	66,06	73,15	119,26	90,24
Min.	2,8	1,4	1,4	1,4	2,8	1,4	1,4	1,4
Max.	5,6	29,41	5,6	5,6	11,2	8,4	28	23,8

Concentración de  $\text{NO}_3$  ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	25,21	5,6	25,21	11,2	28,01	1,4	4,2	5,6
NOV	7,0	5,6	5,6	25,2	28	4,2	4,2	5,6
ENE	7,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
MAY	1,4	2,8	4,2	1,4	1,4	1,4	1,4	2,8
JUL	4,2	7,0	*	2,8	2,8	5,6	4,2	5,6
AGO	8,4	7,0	7,0	4,2	8,4	5,6	5,6	7,0
PROM/ST	8,86	4,9	8,68	7,7	11,67	3,26	3,5	4,66
D.E.	8,38	2,30	9,46	9,31	12,91	2,10	1,71	2,10
C.V	94,59	46,94	109,06	121,01	110,7	64,52	48,99	45,16
Min	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Max.	25,21	7,0	25,21	25,2	28,01	5,6	5,6	7,0

Concentración de  $\text{NO}_3$  ( $\mu\text{g/l}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	4,2	*	*		8,4	8,4	5,6
NOV	*	4,2	*	*	2,8	1,4	4,2	5,6
ENE	*	1,4	*	*	1,4	1,4	1,4	1,4
MAY	*	8,4	*	*	1,4	1,4	1,4	2,8
JUL	*	*	*	*	5,6	5,6	5,6	1,4
AGO	*	7,0	*	*	8,4	5,6	5,6	7,0
PROM/ST	*	5,04	*	*	3,92	3,96	4,43	3,96
D.E.	*	2,72	*	*	3,03	2,99	2,71	2,41
C.V	*	54,14	*	*	77,43	75,42	61,28	60,79
Min	*	1,4	*	*	1,4	1,4	1,4	1,4
Max.	*	8,4	*	*	8,4	8,4	8,4	7,0



**Tabla 29.-** Concentración de NO<sub>2</sub> (µg/l) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	0,56	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,42	0,7
NOV	0,28	0,28	0,14	0,42	0,28	0,42	0,28	0,28
ENE	0,28	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
MAY	0,14	1,12	0,14	0,14	0,42	0,98	0,84	0,28
JUL	0,14	0,14	0,98	0,42	0,28	0,84	0,14	0,28
AGO	0,14	0,7	0,56	4,06	0,14	0,42	0,56	0,14
PROM/ST	0,25	0,42	0,35	0,88	0,23	0,49	0,39	0,30
D.E.	0,16	0,40	0,35	1,56	0,11	0,35	0,27	0,20
C.V	63,77	96,60	100,4	176,01	48,99	71,71	68,49	67,93
Min	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Max.	0,56	1,12	0,98	4,06	0,42	0,98	0,84	0,7

Concentración de NO<sub>2</sub> (µg/l) al nivel intermedio del lago (5 m).

5m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	0,28	0,42	0,28	0,28	0,14	0,28	0,28	0,56
NOV	0,28	0,14	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,56
ENE	0,28	0,14	0,42	1,12	0,14	0,28	0,14	0,14
MAY	0,14	0,42	0,14	1,4	0,14	0,28	0,42	0,28
JUL	0,14	<0,14	*	1,12	1,4	0,28	0,28	0,98
AGO	0,14	<0,14	0,14	5,74	0,14	0,14	0,42	<0,14
PROM/ST	0,21	0,28	0,25	1,65	0,37	0,25	0,30	0,50
D.E.	0,07	0,16	0,11	2,05	0,50	0,05	0,10	0,32
C.V	36,51	57,73	46,48	124,02	135,6	22,26	34,74	63,94
Min	0,14	<0,14	0,14	0,28	0,14	0,14	0,14	<0,14
Max.	0,28	0,42	0,42	5,74	1,4	0,28	0,42	0,98

Concentración de NO<sub>2</sub> (µg/l) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	0,28	*	*	*	0,84	0,14	0,42
NOV	*	0,7	*	*	0,56	0,84	0,42	0,42
ENE	*	0,14	*	*	0,14	0,14	0,14	<0,14
MAY	*	0,14	*	*	0,14	0,28	0,14	6,16
JUL	*	*	*	*	0,28	0,7	0,14	2,24
AGO	*	0,7	*	*	0,28	0,84	0,28	0,28
PROM/ST	*	0,39	*	*	0,28	0,60	0,21	1,90
D.E.	*	0,28	*	*	0,17	0,31	0,11	2,51
C.V	*	73,19	*	*	61,24	51,94	55,77	132,01
Min	*	0,14	*	*	0,14	0,14	0,14	<0,14
Max.	*	0,7	*	*	0,56	0,84	0,42	6,16

**Tabla 30.-**Concentración de Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. \* En julio, por causas desconocidas el reactivo utilizado para fijar el amonio presentó un comportamiento anormal en todas las estaciones, precipitando el fenol. Por esta razón no se utilizaron estas muestras para su análisis.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	7,42	6,3	10,08	8,4	6,72	5,04	8,26	6,86
NOV	14,7	11,3	10,6	17,9	9,0	10,8	6,4	5,5
ENE	56,3	58,4	60,9	14,4	14,4	16,1	14,6	18,2
MAY	5,18	16,7	8,54	7,28	6,86	13,9	7,42	5,46
JUL	*	*	*	*	*	*	*	*
AGO	4,9	4,76	3,5	8,96	3,92	3,36	5,04	0,98
PROM/ST	17,7	19,49	18,72	11,38	8,18	9,84	8,34	7,4
D.E.	21,94	22,24	23,74	4,56	3,91	5,51	3,69	6,43
C.V	123,9	114,14	126,81	40,04	47,89	56,03	44,31	86,92
Min	4,9	4,76	3,5	7,28	3,92	3,36	5,04	0,98
Max.	56,3	58,4	60,9	17,9	14,4	16,1	14,6	6,86

Concentración de Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	10,51	8,54	19,89	22,41	12,05	6,3	9,52	6,02
NOV	12,9	11,3	18,2	8,7	9,7	10,1	4,6	3,9
ENE	12,9	57,8	19,7	14,4	16,4	14,3	19,3	12,9
MAY	7,98	7,42	7,56	*	4,48	5,88	4,9	5,04
JUL	*	*	*	*	*	*	*	*
AGO	3,78	2,1	1,12	*	1,96	0,7	1,82	1,96
PROM/ST	9,61	17,43	13,29	15,17	8,91	7,45	8,02	5,96
D.E.	3,84	22,81	8,51	6,88	5,79	5,08	6,88	4,16
C.V	39,98	130,86	64,01	45,40	65,03	68,15	85,70	69,76
Min	3,78	2,1	1,12	8,7	1,96	0,7	1,82	1,96
Max.	12,9	57,8	19,89	22,41	16,4	14,3	19,3	12,9

Concentración de Amonio ( $\mu\text{g/l}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	6,02	*	*	9,7	5,32	10,65	6,44
NOV	*	10,9	*	*	8,8	12,5	7,0	4,6
ENE	*	56,2	*	*	16,4	15,7	19	20,4
MAY	*	*	*	*	8,4	6,86	4,48	10,1
JUL	*	*	*	*	*	*	*	*
AGO	*	*	*	*	3,36	4,9	0,98	1,26
PROM/ST	*	24,33	*	*	9,33	9,05	8,42	8,56
D.E.	*	27,67	*	*	4,66	4,79	6,88	7,34
C.V	*	113,53	*	*	49,95	52,97	81,79	85,85
Min	*	6,02	*	*	3,36	4,9	0,98	1,26
Max.	*	56,2	*	*	16,4	12,5	10,65	20,4

**Tabla 31.-**Concentración de P total ( $\mu\text{g/l}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	16,7	16,1	19,8	14,9	13,6	15,5	15,5	14,9
NOV	8,1	21,1	18	12,4	11,8	38,4	14,9	6,2
ENE	8,1	46,5	30,4	41,5	12,4	16,1	12,4	9,3
MAY	35,3	47,1	8,7	11,8	30,4	38,4	5,0	21,1
JUL	30,4	8,7	7,4	7,4	8,7	55,8	16,7	15,5
AGO	18,6	5,0	7,4	32,8	10,5	17,3	19,8	21,7
PROM/ST	19,53	24,08	15,28	20,13	14,57	30,25	14,05	14,78
D.E.	11,29	18,47	9,20	13,68	7,93	16,56	5,05	6,19
C.V	57,78	76,69	60,24	67,94	54,48	54,74	35,94	41,91
Min.	8,1	5,0	7,4	7,4	8,7	15,5	5,0	6,2
Max.	35,3	46,5	30,4	41,5	30,4	55,8	19,8	21,7

Concentración de P total ( $\mu\text{g/l}$ ) al nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	18,6	53,3	33,5	19,8	54	39,6	13,6	19,8
NOV	21,1	19,8	22,9	27,9	20,4	9,3	14,9	14,9
ENE	21,1	37,2	39	11,8	12,4	3,1	26	14,2
MAY	16,1	27,1	14,9	9,9	16,1	9,3	11,8	10,5
JUL	17,3	16,1	*	7,4	5,6	8,7	13,6	9,3
AGO	4,3	18	3,1	6,2	4,3	5,6	6,2	1,9
PROM/ST	16,42	28,58	22,68	13,83	18,8	12,6	14,35	11,76
D.E.	6,26	14,36	14,38	8,39	18,3	13,45	6,48	6,08
CV	38,17	50,27	63,41	60,71	97,34	106,79	45,17	51,73
Min.	4,3	16,1	3,1	6,2	4,3	3,1	6,2	1,9
Max.	21,1	53,3	33,5	27,9	54	39,6	26	19,8

Concentración de la P total ( $\mu\text{g/l}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12- 15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	14,2	*	*		25,4	15,5	16,7
NOV	*	15,5	*	*	36,5	9,3	16,1	33,5
ENE	*	136,0	*	*	8,7	9,9	12,4	23,5
MAY	*	66,3	*	*	11,2	12,4	12,4	12,4
JUL	*	*	*	*	8,7	3,7	37,2	10,5
AGO	*	3,1	*	*	5,0	7,4	3,7	14,2
PROM/ST	*	47,02	*	*	14,02	11,35	16,21	18,46
D.E.	*	55,42	*	*	12,76	7,46	11,19	8,63
C.V	*	117,88	*	*	91,01	65,80	69,03	46,76
Min.	*	3,1	*	*	5,0	3,7	3,7	10,5
Max.	*	136,0	*	*	36,5	25,4	37,2	33,5

**Tabla 32.-** Concentración de PO<sub>4</sub> (µg/l) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	2,79	3,1	4,0	2,4	1,2	1,86	0,6	1,24
NOV	0,9	7,7	<0,3	4,6	<0,3	0,6	0,6	<0,3
ENE	0,9	18,9	9,9	16,1	5,0	0,9	<0,3	0,9
MAY	1,5	0,6	3,1	2,5	3,4	5,6	<0,3	1,5
JUL	3,1	11,5	1,9	0,6	0,3	5,0	<0,3	1,2
AGO	0,6	<0,3	0,6	5,6	7,1	5,6	0,9	5,3
PROM/ST	1,63	8,36	3,9	5,3	3,4	3,26	0,7	2,02
D.E.	1,06	7,23	3,58	5,57	2,77	2,39	0,17	1,84
C.V	65,15	86,52	92,04	105,24	81,48	73,34	24,74	90,80
Min.	0,6	0,6	<0,3	0,6	<0,3	0,6	<0,3	<0,3
Max.	3,1	11,5	9,9	16,1	7,1	5,6	0,9	5,3

Concentración de PO<sub>4</sub> (µg/l) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	9,6	8,98	4,8	2,79	1,55	4,65	1,55	1,86
NOV	0,3	1,2	3,4	0,3	0,3	0,3	1,2	<0,3
ENE	7,4	6,8	17	1,9	0,9	0,6	0,9	2,2
MAY	<0,3	0,9	<0,3	0,6	1,9	1,2	0,6	<0,3
JUL	7,4	4,6	*	0,3	1,2	0,6	2,5	1,2
AGO	0,6	<0,3	2,2	1,9	0,9	1,5	<0,3	<0,3
PROM/ST	5,06	4,49	6,85	1,29	1,12	1,47	1,35	1,75
D.E.	4,30	3,50	6,84	1,04	0,56	1,61	0,73	0,50
C.V	85,07	78,02	99,99	80,26	49,79	109,61	54,30	29
Min.	<0,3	<0,3	<0,3	0,3	0,3	0,3	<0,3	<0,3
Max.	9,6	8,98	17	2,79	1,9	4,65	2,5	2,2

Concentración de PO<sub>4</sub> (µg/l) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	9,8	*	*	*	3,41	1,7	3,1
NOV	*	<0,3	*	*	1,2	2,2	0,6	0,6
ENE	*	49,6	*	*	1,9	0,9	3,7	2,2
MAY	*	7,7	*	*	<0,3	0,3	0,6	10,2
JUL	*	*	*	*	2,8	0,3	1,2	1,2
AGO	*	<0,3	*	*	3,4	<0,3	0,3	11,2
PROM/ST	*	22,36	*	*	2,32	1,42	1,35	4,75
D.E.	*	23,60	*	*	0,97	1,35	1,25	4,69
C.V	*	105,55	*	*	41,76	95,31	93,08	98,90
Min.	*	<0,3	*	*	<0,3	<0,3	0,3	0,6
Max.	*	49,6	*	*	3,4	3,41	3,7	11,2

**Tabla 33.-**Variación de la Temperatura (°C) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est 6	Est 7	Est 8
SEP	5,6	4,7	5,5	6,6	7,01	5,6	5,2	5,2
NOV	9,9	10,8	11,8	12,1	11,2	13,4	11,2	10,1
ENE	12,2	12	12,8	12,8	12,5	12	13	12,5
MAY	8,2	8,2	8,2	8,4	8,5	8,3	7,7	8,4
JUL	2,1	3,1	3,7	3,7	3,3	3,2	3,1	3,3
AGO	3,5	2,9	4,4	3,4	3,2	3,2	3,0	3,2
PROM/ST	6,91	6,95	7,73	7,83	7,61	7,61	7,2	7,11
D.E.	3,87	3,95	3,86	4,03	3,89	4,38	4,20	3,82
C.V.	56,02	56,89	50,01	51,52	51,17	57,59	58,38	53,73
Min	2,1	2,9	3,7	3,4	3,2	3,2	3,0	3,2
Max.	12,2	12	12,8	12,8	12,5	13,4	11,2	12,5

Variación de la Temperatura (°C) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	5,0	4,5	2,6	3,4	5,6	4,5	5,0	5,0
NOV	9,8	10,8	11,3	11	10,6	11,7	10,7	9,5
ENE	11,3	12	12,2	12,8	12	12	12,2	12
MAY	7,9	8,01	8,3	8,3	8,5	8,1	7,5	7,7
JUL	2,7	3,3	3,6	2,9	3,0	3,2	3,4	3,5
AGO	3,3	3,0	3,8	3,3	3,3	3,0	2,8	3,1
PROM/ST	6,66	6,93	6,96	6,95	7,16	7,08	6,93	6,8
D.E.	3,54	3,90	4,20	4,35	3,78	4,12	3,88	3,54
C.V.	53,1	56,35	60,34	62,64	52,84	58,19	56,06	52,18
Min	2,7	3,0	2,6	2,9	3,0	3,0	2,8	3,1
Max.	11,3	12	12,2	12,8	12	12	12,2	12

Variación de la Temperatura (°C) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	4,3	*	*	3,55	4,2	4,9	4,5
NOV	*	10,8	*	*	10,6	9,7	10,1	5,9
ENE	*	11,9	*	*	12	12	11,9	12
MAY	*	7,9	*	*	8,5	8,37	7,4	7,9
JUL	*	3,0	*	*	2,9	2,9	3,4	3,0
AGO	*	3,0	*	*	3,1	3,0	2,9	3,1
PROM/ST	*	6,81	*	*	6,77	6,69	6,76	6,06
D.E.	*	3,95	*	*	4,09	3,85	3,67	3,44
C.V.	*	58,07	*	*	60,44	57,56	54,35	56,74
Min	*	3,0	*	*	2,9	2,9	2,9	3,0
Max.	*	11,9	*	*	12	12	11,9	12

**Tabla 34.**-Variación del pH a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	8,3	8,18	7,82	8,23	8,21	8,21	7,85	8,24
NOV	8,01	8,15	8,1	8,2	8,08	8,18	8,38	8,22
ENE	8,1	8,12	8,33	8,4	8,53	8,3	8,2	8,66
MAY	8,12	8,15	8,5	8,2	8,23	7,84	8,2	8,07
JUL	7,92	7,7	7,85	8,07	7,78	7,9	8,18	7,99
AGO	8,46	8,41	8,24	8,1	8,33	8,3	8,43	8,68
PROM/ST	8,15	8,11	8,14	8,2	8,19	8,12	8,20	8,31
D.E.	0,19	0,23	0,26	0,11	0,25	0,20	0,20	0,29
C.V	2,4	2,84	3,31	1,42	3,07	2,48	2,48	3,53
Min	7,92	7,7	7,82	8,07	7,78	7,84	7,85	7,99
Max.	8,46	8,41	8,5	8,4	8,53	8,3	8,43	8,68

Variación del pH a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	8,26	8,58	8,13	7,89	8,24	8,32	8,1	8,01
NOV	8,07	8,45	7,9	8,5	8,4	8,47	8,41	8,4
ENE	8,34	8,25	8,55	8,45	8	8,55	8,33	8,28
MAY	8,18	8,39	8,7	8,5	8,38	7,78	8,24	8,14
JUL	8,31	8,21	8,18	8,47	8,3	8,2	8,3	8,09
AGO	8,63	8,38	8,33	8,54	8,39	8,22	8,52	8,84
PROM/ST	8,29	8,37	8,29	8,39	8,28	8,25	8,31	8,29
D.E.	0,18	0,13	0,29	0,24	0,15	0,27	0,14	0,30
C.V	2,28	1,60	0,28	2,95	1,84	3,28	1,72	3,63
Min	8,07	8,21	7,9	7,89	8	7,78	8,1	8,01
Max.	8,63	8,58	8,7	8,54	8,4	8,55	8,52	8,84

Variación del pH en el estrato de 12 a 15 m.

12-15 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	8,51	*	*	8,3	8,33	8,03	7,99
NOV	*	8,32	*	*	8,41	8,4	8,46	8,14
ENE	*	8,22	*	*	8,54	8,45	8,34	8,2
MAY	*	8,33	*	*	8,32	8,17	8,28	8,24
JUL	*	8,2	*	*	8,26	8,32	7,6	8,32
AGO	*	8,32	*	*	8,4	8,26	8,52	8,47
PROM/ST	*	8,31	*	*	8,37	8,32	8,20	8,22
D.E.	*	0,11	*	*	0,10	0,09	0,34	0,16
C.V	*	1,32	*	*	1,20	1,19	4,16	1,97
Min	*	8,2	*	*	8,26	8,17	7,6	7,99
Max.	*	8,51	*	*	8,54	8,4	8,52	8,47



**Tabla 35.-**Variación de la Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	157	155,6	155,2	155,9	157,7	157,6	158,4	159,4
NOV	154,6	155,5	155,6	155,6	153	156,8	152,5	159,3
ENE	161,1	160,1	161,8	160,7	162,1	162,2	161,3	161,3
MAY	172,2	157,3	167,7	157,1	169,5	169,7	168,5	170
JUL	167,3	166,1	157,6	169,7	168,1	165,5	161,1	169,2
AGO	168,5	171,4	161,6	170,7	168,4	169,9	171	170,1
PROM/ST	163,5	161	159,92	161,62	163,1	163,62	162,13	164,88
D.E.	6,96	6,45	4,75	6,89	6,72	5,73	6,74	5,40
C.V	4,25	4,00	2,9	4,26	4,12	3,50	4,16	3,27
Min	154,6	155,5	155,2	155,6	153	156,8	152,5	159,3
Max.	172,2	171,4	167,7	170,7	169,5	169,9	171	170,1

Variación de la Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	158,3	158,3	158,8	157,4	156,6	156,5	159,1	156
NOV	155,7	159,5	155,5	156,6	153	156	154,7	157,8
ENE	162,4	164,1	161,2	164	162,7	160,2	163,7	162,6
MAY	169,2	170,8	180,5	167,4	167,9	170,4	170,6	177,1
JUL	170,5	168,7	172,1	171,8	170,8	170,3	167,2	171,3
AGO	170,2	171,8	169,6	170,1	170,2	171,6	172,6	173,9
PROM/ST	164,4	165,53	166,28	164,55	163,5	164,17	164,65	166,45
D.E.	6,49	5,79	9,43	6,42	7,43	7,38	6,86	8,84
C.V	3,95	3,49	5,67	3,90	4,54	4,5	4,17	5,31
Min	155,7	158,3	155,5	156,6	153	156	154,7	156
Max.	170,5	171,8	180,5	171,8	170,8	171,6	172,6	177,1

Variación de la Conductividad ( $\mu\text{S}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	156,7	*	*	145,8	156,3	161,8	148,8
NOV	*	152,7	*	*	156,1	151,8	159,7	150,4
ENE	*	163,2	*	*	163,4	162,8	163,2	163,8
MAY	*	168	*	*	168,8	168,6	176,1	169
JUL	*	170,2	*	*	170,8	162,1	168,8	171,5
AGO	*	169,8	*	*	170,8	171,4	171,2	171,6
PROM/ST	*	163,43	*	*	162,6	162,17	166,8	162,52
D.E.	*	7,31	*	*	9,98	7,33	6,29	10,41
C.V	*	4,47	*	*	6,13	4,52	3,77	6,40
Min	*	152,7	*	*	145,8	151,8	159,7	148,8
Max.	*	170,2	*	*	170,8	171,4	176,1	171,6

**Tabla 36.**-Variación del Oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	6,0	5,4	9,4	7,30	7,6	7,8	5,6	5,5
NOV	4,8	6,7	8,5	7,70	8,6	8,4	7,8	6,9
ENE	9,2	10,4	6,9	9,80	12,2	14	10,2	10,2
MAY	11,1	10,9	10,4	10,20	10,6	10,6	10,3	11,1
JUL	13,6	13,2	13,4	12,10	11,2	5,11	11,7	11,1
AGO	6,2	6,3	6,8	6,2	6,2	6,2	6,1	6,3
PROM/ST	8,48	8,81	9,23	8,88	9,4	8,68	8,61	8,51
D.E.	3,42	3,11	2,47	2,19	2,30	3,21	2,48	2,56
C.V	40,32	35,34	26,81	24,67	24,56	37,03	28,87	30,07
Min	4,8	5,4	6,8	6,2	6,2	6,2	5,6	5,5
Max.	13,6	13,2	13,4	12,10	12,2	10,6	11,7	11,1

Variación del Oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ) a nivel intermedio del lago (5-6 m).

5-6m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	6,0	4,2	6,6	6,8	7,3	6,2	5,4	3,5
NOV	3,1	4,8	5,7	5,3	7,4	7,3	6,1	6,4
ENE	10	10,2	5,0	9,2	11,1	13,9	8,4	9,0
MAY	10,5	10,8	9,1	10,2	9,8	10,8	9,0	10,2
JUL	13,1	13,4	13,2	10,8	10,6	4,6	11	10,2
AGO	6,2	5,8	6,1	5,8	5,5	5,8	5,4	5,4
PROM/ST	8,15	8,2	7,61	8,01	8,61	8,1	7,55	7,45
D.E.	3,67	3,77	3,07	2,35	2,21	3,54	2,28	2,77
C.V	45,04	45,99	40,35	29,35	25,65	43,72	30,24	37,21
Min	3,1	4,2	5,0	5,3	5,5	4,6	5,4	3,5
Max.	13,1	13,4	13,2	10,8	11,1	13,9	11	10,2

Variación del Oxígeno ( $\text{mg l}^{-1}$ ) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	3,9	*	*	5,51	5,2	4,1	3,7
NOV	*	3,9	*	*	6,6	7,1	5,3	6,1
ENE	*	9,2	*	*	11,2	13,6	8,8	8,8
MAY	*	10,6	*	*	9,5	10,2	8,7	10
JUL	*	13,4	*	*	10,2	7,45	12,2	10,2
AGO	*	5,2	*	*	5,4	5,8	5,4	5,4
PROM/ST	*	7,7	*	*	8,06	8,22	7,41	7,36
D.E.	*	3,95	*	*	2,53	3,15	3,03	2,68
C.V	*	51,38	*	*	31,46	38,32	40,89	36,39
Min	*	3,9	*	*	5,4	5,2	4,1	3,7
Max.	*	13,4	*	*	11,2	13,6	12,2	10,2

**Tabla 37.-**Variación del Color (unid.Pt/Co) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	11	19	16	15	25	12	19	7
NOV	20	21	18	21	18	18	20	15
ENE	11	7	16	15	25	12	19	7
MAY	9	5	0	0	0	2	0	0
JUL	12	0	0	0	0	0	0	0
AGO	9	3	9	8	2	8	7	9
PROM/ST	12	9,16	9,83	9,83	11,66	8,66	10,83	6,33
D.E.	4,09	8,72	8,20	8,65	12,34	6,77	9,66	5,71
C.V	34,15	95,20	83,46	88,05	105,77	78,14	89,19	90,24
Min	9	0	0	0	0	0	0	0
Max.	20	21	18	21	25	18	20	15

Variación del Color (unid.Pt/Co) a nivel intermedio del lago (5-6m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	11	17	11	18	16	18	3	14
NOV	22	18	18	21	19	17	18	18
ENE	11	9	11	18	16	18	3	14
MAY	0	0	0	1	0	0	0	0
JUL	11	0	0	0	0	0	0	0
AGO	4	2	14	11	2	9	9	9
PROM/ST	9,83	7,66	9	11,5	8,83	10,33	5,5	9,16
D.E.	7,52	8,31	7,42	9,13	9,04	8,68	6,94	7,65
C.V	76,48	108,4	82,55	79,45	102,37	84,06	126,36	83,48
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Max.	22	18	18	21	19	18	18	18

Variación del Color (unid.Pt/Co) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	17	*	*	14	16	3	6
NOV	*	17	*	*	20	18	17	17
ENE	*	7	*	*	*	*	*	6
MAY	*	*	*	*	4	1	0	0
JUL	*	*	*	*	0	0	0	0
AGO	*	*	*	*	8	7	10	10
PROM/ST	*	13,66	*	*	9,2	8,4	6	6,5
D.E.	*	5,77	*	*	7,94	8,32	7,38	6,42
C.V	*	42,24	*	*	86,41	99,10	123,04	99,10
Min	*	7	*	*	0	0	0	0
Max.	*	17	*	*	20	18	17	17

**Tabla 38.**-Variación de la Turbidez (mg/l) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	1	2	2	2	2	1	1	1
NOV	5	5	3	2	5	1	5	1
ENE	1	1	2	2	2	1	1	1
MAY	2	1	2	2	0	2	1	0
JUL	2	4	2	6	8	3	4	1
AGO	2	1	2	0	1	1	1	0
PROM/ST	2,16	2,33	2,16	2,33	3	1,5	2,16	0,66
D.E.	1,47	1,75	0,40	1,96	2,96	0,83	1,83	0,51
C.V	67,93	75,05	18,84	84,27	98,88	55,77	84,68	77,46
Min	1	1	2	0	0	1	1	0
Max.	5	5	3	6	8	3	5	1

Variación de la Turbidez (mg/l) a nivel intermedio del lago (5-6m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	1	2	3	1	1	1	3	1
NOV	6	4	1	5	6	5	4	5
ENE	1	1	3	1	1	1	3	1
MAY	1	1	1	1	1	1	1	1
JUL	3	4	7	0	4	8	1	3
AGO	2	0	0	0	5	1	1	1
PROM/ST	2,33	2	2,5	1,33	3	2,83	2,16	2
D.E.	1,96	1,67	2,51	1,86	2,28	3,2	1,32	1,67
C.V	84,27	83,66	100,4	139,64	76,01	112,94	61,34	83,66
Min	1	0	0	0	1	1	1	1
Max.	6	4	7	5	6	8	4	5

Variación de la Turbidez (mg/l) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	2	*	*	1	2	3	3
NOV	*	5	*	*	5	5	5	5
ENE	*	1	*	*	*	2	*	3
MAY	*	*	*	*	1	1	1	1
JUL	*	*	*	*	1	6	0	0
AGO	*	*	*	*	1	1	1	1
PROM/ST	*	2,66	*	*	1,8	2,83	2	2,16
D.E.	*	2,08	*	*	1,78	2,13	1,75	1,83
C.V	*	78,06	*	*	99,38	75,42	87,5	84,68
Min	*	1	*	*	1	1	0	0
Max.	*	5	*	*	5	6	5	5

**Tabla 39.-**Variación del Seston (mg/l) a nivel superficial del lago (0 m), intermedio (5 a 6 m) y profundo (12-15 m). La St 1 representa el sitio en que se encuentra emplazado el centro de cultivo.

0 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	0,08	0,23	0,06	0,66	0,67	2,06	0,19	0,42
NOV	3,86	3,17	3,41	3,79	2,54	2,04	5,6	2,81
ENE	3,66	2,11	1,79	5,24	4,21	3,81	9,62	7,1
MAY	0,73	0,85	0,58	0,64	2,21	1,28	0,42	0,25
JUL	2,26	4,59	2,77	3,34	4,78	0,33	5,11	2,41
AGO	17,72	17,73	2,07	2,53	3,14	18,19	2,69	1,07
PROM/ST	4,71	4,78	1,78	2,7	2,92	4,61	3,93	2,34
D.E.	6,54	6,53	1,27	1,81	1,47	6,74	3,58	2,55
C.V	138,77	136,74	71,59	67,24	50,43	146,08	91,12	108,88
Min	0,08	0,23	0,06	0,64	0,67	0,33	0,19	0,25
Max.	17,72	17,73	3,41	5,24	4,21	18,19	9,62	7,1

Variación del Seston (mg/l) a nivel intermedio del lago (5-6m).

5-6 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	0,14	0,74	0,25	0,7	1,16	0,44	0,88	0,31
NOV	1,58	2,96	3,28	2,3	1,02	4,12	0,89	1,63
ENE	*	*	*	*	*	*	*	*
MAY	1,1	0,97	1,51	1,22	1,56	0,8	0,54	0,58
JUL	3,05	4,73	54,86	*	2,68	4,34	2,25	5,09
AGO	17,91	2,72	2,37	3,39	4,23	3,62	2,64	1,02
PROM/ST	4,75	2,42	12,45	1,90	2,13	2,66	1,44	1,72
D.E.	7,42	1,63	23,73	1,19	1,34	1,88	0,93	1,94
C.V	156,18	67,29	190,56	62,8	63,03	70,88	65,16	112,73
Min	0,14	0,74	0,25	0,7	1,02	0,44	0,54	0,31
Max.	17,91	4,73	54,86	3,39	4,23	4,34	2,64	5,09

Variación del Seston (mg/l) en el estrato de 12 a 15 m.

12-15 m	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	*	15,47	*	*	*	0,97	0,97	0,34
NOV	*	2,94	*	*	2,32	4,75	4,89	2,9
ENE	*	*	*	*	*	*	*	*
MAY	*	*	*	*	0,17	1	2,16	0,03
JUL	*	*	*	*	2,77	4,23	2,19	4,43
AGO	*	*	*	*	2,98	3,19	0,95	0,64
PROM/ST	*	9,20	*	*	2,06	2,82	2,23	1,66
D.E.	*	8,86	*	*	1,28	1,77	1,60	1,91
C.V	*	96,25	*	*	62,60	62,72	71,92	114,73
Min	*	2,94	*	*	0,17	0,97	0,95	0,03
Max.	*	15,47	*	*	2,98	4,75	4,89	4,43

**Tabla 40.-**Variación de la Transparencia (m) del lago Sofía, XII Región, Chile.

	Est 1	Est 2	Est 3	Est 4	Est 5	Est6	Est7	Est 8
SEP	7,0	8,1	6,0	6,0	5,2	6,0	10,5	10,1
NOV	7,1	6,9	5,3	6,0	6,2	5,5	6,6	6,5
ENE	5,9	5,8	4,0	5,4	4,4	5,8	6,4	6,4
MAY	5,0	5,4	5,5	5,5	4,9	5,5	5,8	5,8
JUL	7,5	7,9	6,9	5,7	6,9	5,9	7,1	7,4
AGO	4,8	7,3	7,0	4,9	5,2	6,8	6,5	6,4
PROM/ST	6,21	6,9	5,78	5,58	5,46	5,91	7,15	7,1
D.E.	1,15	1,10	1,11	0,41	0,91	0,47	1,69	1,55
C.V	18,521	15,95	19,36	7,46	16,75	8,09	23,68	21,92
Min	4,8	5,4	4,0	4,9	4,4	5,5	5,8	5,8
Max.	7,5	8,1	7,0	6,0	6,9	6,8	10,5	10,1



## CAPITULO N° 9

### CONTENIDO DE NITROGENO Y FOSFORO EN LOS SEDIMENTOS DEL LAGO SOFIA (MUESTREO INTENSIVO)

Durante el programa de muestreo sistemático propuesto al FIP se observó que no existía un patrón evidente en la distribución espacial del P total en los sedimentos. Por esta razón se propuso al FIP desarrollar un estudio intensivo durante el mes de julio (23 estaciones) (Fig. 13), que reemplazara un análisis de la granulometría bajo condiciones invernales por un estudio de contenido de P y N total en los sedimentos. El objetivo de este muestreo intensivo fue definir con mayor claridad el potencial impacto del centro de cultivo existente en el lago y determinar cuál podría ser la dinámica espacial de estos compuestos en los sedimentos del lago.

A continuación se describen los resultados obtenidos:

#### • Fósforo Total

Los sedimentos del Lago Sofía poseen un contenido de P total que fluctuó entre 0,02 y 0,28%. El cociente entre el valor máximo y mínimo muestra que existe diferencias de hasta 14 veces. Las concentraciones máximas fueron detectadas en el centro del lago, al norte de la isla (Fig.14), notándose una probable vía de ingreso en el margen norte del lago (St 5 y chorrillo C). En el sector correspondiente al sitio de emplazamiento del centro de cultivo se determinaron concentraciones < 0,1%. También se puede observar que la zona del lago con aportes de las descargas del río Rivas y los Chorrillos E y F muestran bajo contenido de P total (< 0,05%). Similar situación se observa en torno al único efluente del lago que es el río Sofía, en cuyo sector aledaño se observaron concentraciones de P total < 0,1. Esta situación estaría reflejando que los sedimentos más finos (limos) podrían concentrar o retener mayores niveles de P, estando localizados este tipo de sedimentos principalmente en la zona central o más profunda del lago.

La Tabla 42 muestra una estimación de las áreas del lago enriquecidas con diferentes niveles de P total. De esta tabla se desprende que aproximadamente el 42,2% de la superficie total del lago muestra rangos entre 0 y 0,1% de fósforo, un 37,26% muestra rangos entre 0,1 y 0,2% y solamente el 20,54% de la superficie total de lago muestra sedimentos con rangos entre 0,2 y 0,3%. Esta última coincide con las estaciones existentes en la zona central y más profunda del lago.

El rango de valores obtenidos en los sedimentos del Lago Sofía muestra similitud con aquellos obtenidos por Campos et al. (1999) para los lagos Riesco, Escondida y Los Palos en la XI Región, aunque el valor promedio es levemente superior en el lago Sofía (0,137%; N = 23; coeficiente de variación = 64,28%). Este mismo tipo de análisis muestra que los sedimentos del lago Sofía poseen valores relativamente menores respecto de áreas con

centros acuícolas del lago Chapo (0,61%) (Prado, 1999), a pesar de ser éste considerado oligotrófico por las características de las aguas.

- **Nitrógeno Total**

El contenido de N total en los sedimentos del Lago Sofía fluctuó entre 0,06 y 0,29%, con valores relativamente similares a los observados en el P total en sedimentos. El cociente entre el valor máximo y mínimo muestra que existe diferencias de hasta 4,8 veces. Las concentraciones máximas fueron detectadas tanto en la zona correspondiente al centro de cultivo como en el centro del lago, al este de la isla (Fig.15). En este sector se determinaron valores que fluctuaron entre 0,2 y 0,3%. También se puede observar que la zona del lago con aportes de las descargas del río Rivas y los Chorrillos C, D, E y F muestran bajo contenido de N total (< 0,15%). Similar situación se observa en torno al único efluente del lago que es el río Sofía, en cuyo sector aledaño se observaron concentraciones de N total < 0,1. Esta situación estaría reflejando que los sedimentos más finos (limos) podrían tender a concentrar o retener mayores niveles de N, estando localizados este tipo de sedimentos principalmente en la zona central o más profunda del lago. Sin embargo, la ausencia de limos en la zona en que se localiza el centro de cultivo, demostraría que a partir de este lugar se podría generar una pluma de dispersión hacia el centro del lago.

La Tabla 41 muestra una estimación de las áreas del lago enriquecidas con diferentes niveles de N total. De esta tabla se desprende que aproximadamente el 19,64% de la superficie total del lago presenta concentraciones entre 0 y 0,1%, un 34,84% entre 0,1 y 0,2% y principalmente el 45,52% de la superficie total de lago muestra sedimentos con concentraciones que fluctuaron entre 0,2 y 0,3%. El área con sedimentos de mayor enriquecimiento de N total es superior casi en 2 veces respecto de las áreas enriquecidas con P total (20,54%).

El rango de valores de N total obtenidos en los sedimentos del Lago Sofía es menor si se compara con aquellos determinados por Campos et al.1999 para los lagos Riesco, Escondida y Los Palos en la XI Región, donde se reportó un rango que fluctuó entre 0,15 y 1,79%. En el Lago Sofía se determinó un valor promedio de 0,204% (N = 23; Coeficiente de variación = 40,33%). Este mismo tipo de comparación muestra que los sedimentos del lago Sofía muestran valores relativamente menores respecto de áreas con centros acuícolas del lago Chapo (0,03 a 0,49%) (Prado, 1999).

Se debe destacar sin embargo, que durante el estudio la empresa Acuimag S.A. hizo una rotación de sitios para cambiar de un sector identificado como St 1A en que mantuvo balsas durante 10 años con un uso

casi ininterrumpido, y en que se habían detectado importantes alteraciones en el fondo durante las tres primeras campañas, a un nuevo sector identificado como St 1B (Fig.1A). Este cambio de sitio aconteció en febrero del año 2000. Esta situación no permitió durante el muestreo intensivo detectar valores considerables por encontrarse con un enriquecimiento incipiente.

Sin embargo, esta acción permitió desarrollar accidentalmente una investigación para evaluar tasas de enriquecimiento (sitio nuevo, St 1B) y de recuperación (sitio antiguo, 1B) del impacto producido por la salmonicultura en fondos de lagos. De igual forma, con la colaboración de la gerencia de la empresa Acuimag S.A., esta medida permitió considerar la rotación de áreas como una estrategia de manejo para lograr el uso sostenido del recurso lago.

Los resultados obtenidos a partir de esta experiencia se muestran en la Tabla 42. De ella se desprende que en el sitio antiguo el contenido de N total en los sedimentos presentaba diferencias de hasta 30 veces respecto de las otras estaciones. En cambio, el contenido de P total no mostró un patrón claro. En este lugar, sin embargo, en el lapso comprendido entre febrero y agosto del 2000 se ha visto un cambio evidente en las características del fondo (ausencia de mal olor, cambio de color y aspecto del fondo). La capa negra existente ha comenzado a ser cubierta por una fina capa de sedimentos oxigenados (1,3 mm de grosor) y lo más interesante es que los porcentajes de P y N total han disminuido significativamente.

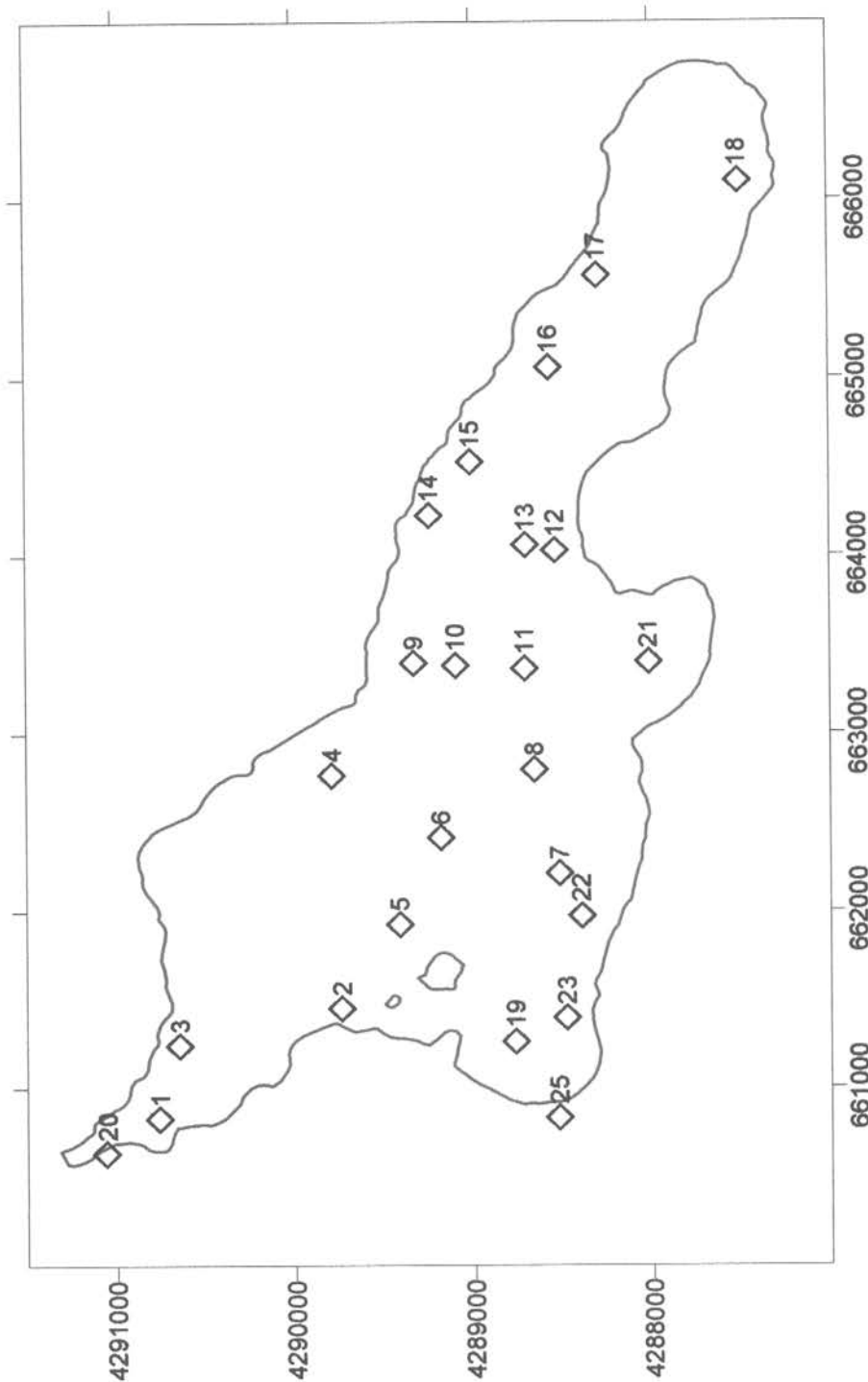
Una situación diferente se ha observado en el sitio del nuevo emplazamiento. Después de un lapso de 6 meses, los primeros indicadores de enriquecimiento del fondo han aparecido representados por la desaparición de la macrofauna bentónica, presencia de mal olor en las muestras de sedimentos, y oscurecimiento de la arena del fondo.

**Tabla 41.-** Estimación de áreas del lago enriquecidas con diferentes niveles de P total y N total presentes en sedimentos (N=23 estaciones).

Rango (%)	Fósforo total en sedimentos		Nitrógeno total en sedimentos	
	Area abarcada (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Area abarcada (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
0-0,05	1.664.066	18,92	808.288	9,20
0,05-0,1	2.046.888	23,28	917.805	10,44
0,1-0,15	1.532.259	17,42	1.844.332	20,99
0,15-0,20	1.744.507	19,84	1.217.278	13,85
0,20-0,25	1.197.895	13,62	1.875.345	21,34
0,25-0,30	608.639	6,92	2.124.422	24,18
<b>TOTAL</b>	<b>8.794.253</b>	<b>100</b>	<b>8.787.469</b>	<b>100</b>

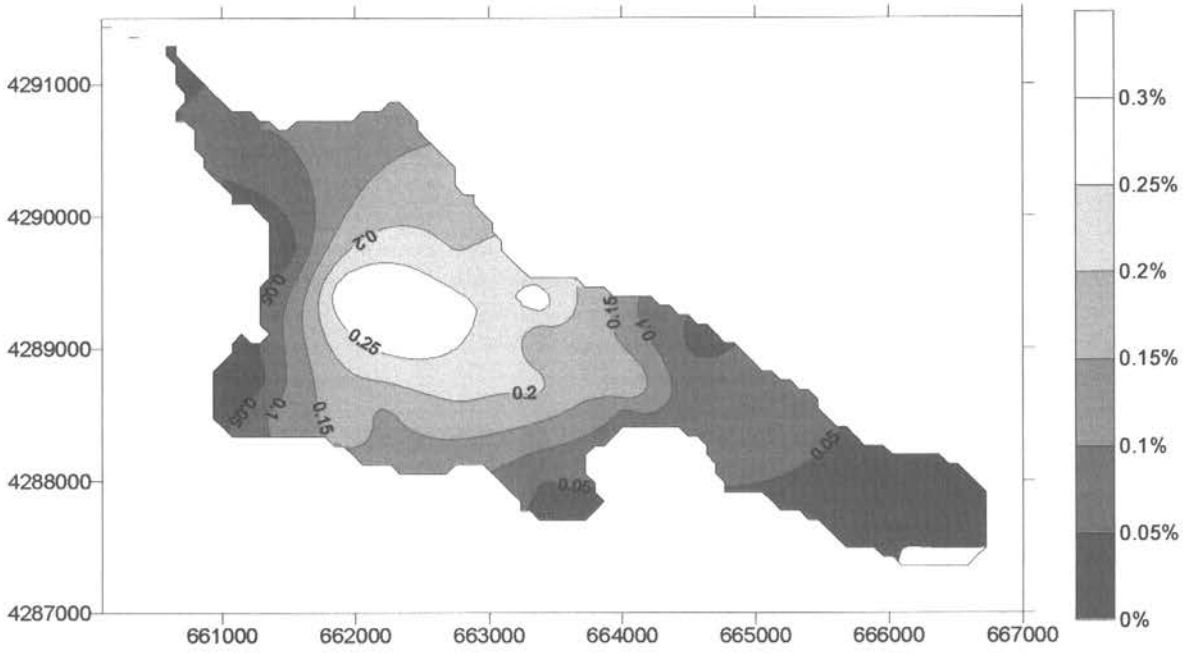
**Tabla 42.-** Estimación porcentual de P y N total presente en sedimentos de la ST 1 (antiguo) y ST1B (nuevo).

Meses	ST 1A (antiguo)		ST 1B (nuevo)	
	P total (%)	N total (%)	P total (%)	N total (%)
Sep, 1999	0.09	1.79	-	-
Nov, 1999	0.27	2.81	-	-
Ene, 2000	0.16	2.39	-	-
May, 2000	0.17	2.25	1.12	1.00
Jul, 2000	-	-	0.03	0.29
Ago, 2000	0.05	0.68	0.13	0.39



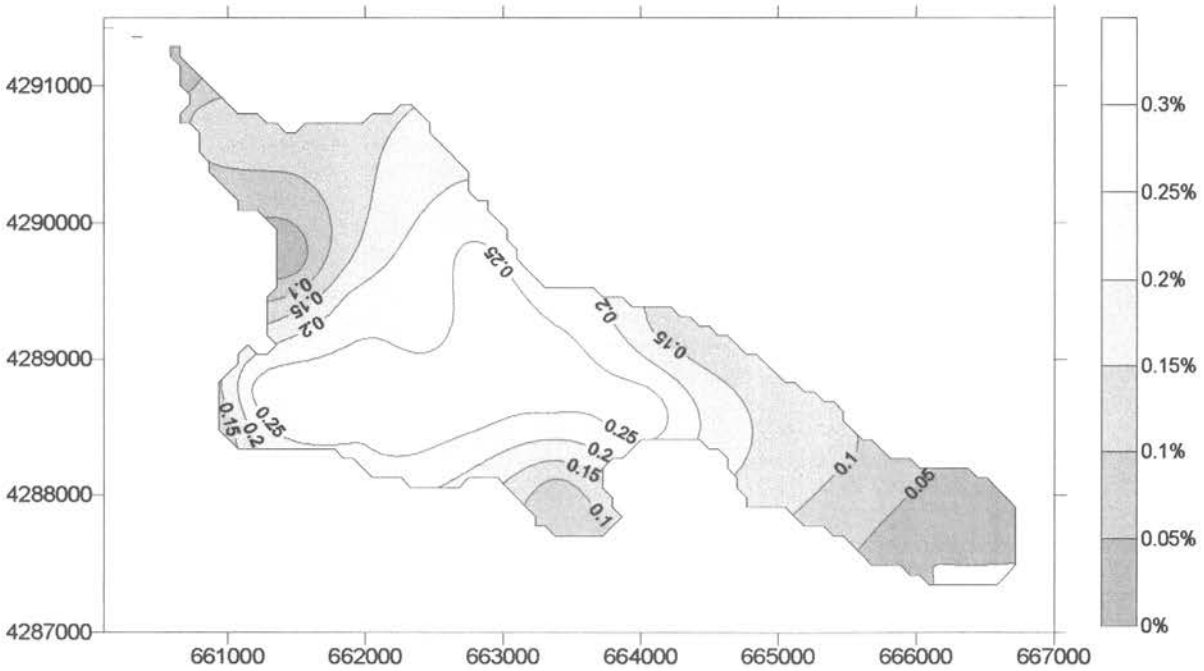
**FIGURA N°13: Distribución de Estaciones en Muestreo Intensivo (Julio-2000) al Lago Sofia**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos
		Software Surfer 7.02	



**FIGURA N°14: Distribución de Fósforo Total en el Lago Sofía**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>			<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



**FIGURA N°15: Distribución de Nitrógeno Total en el Lago Sofía**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>			<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



## CAPITULO N° 10

### OTRAS FUENTES PROBABLES DE ENRIQUECIMIENTO DEL LAGO SOFÍA

#### • GANADO

Para determinar el potencial impacto de la ganadería y su relación con la producción de desechos nitrogenados a través de la orina y excrementos, durante noviembre de 1999 se solicitó al Servicio Agrícola y Ganadero de la XII Región de los antecedentes del tipo de ganado y el número de cabezas existentes en cada estancia localizado en los alrededores del lago Sofía. Esta inquietud nació al ver un gran número de vacunos bebiendo y pastando, y al mismo tiempo defecando y orinando sobre la ribera del lago, en las proximidades del Chorrillo A y sobre la terraza fluvial que es atravesada por los chorrillos C, D, E y F. De igual forma, en el sector de la Estancia Dos Lagunas y Estancia El Chileno existen los mejores suelos para la producción pastos para el consumo del ganado, por lo cual es posible que también los desechos producidos por los vacunos puedan tener como destino las aguas del río Rivas, actuando como fertilizantes.

La Tabla 43 muestra los resultados obtenidos, indicando que en estas estancias se mantiene principalmente ganado vacuno, utilizándose además para la crianza de ovejas y caballos.

El estiércol del ganado es uno de los residuos agrícolas más importantes. El estiércol consta de dos componentes, el sólido y el líquido, en una relación aproximada de 3:1. Por lo general, casi más de la mitad del nitrógeno y casi todo el ácido fosfórico se encuentran en el componente sólido. No obstante, esta aparente ventaja del estiércol sólido queda equiparado por el fácil aprovechamiento de los constituyentes transportados por la orina, dando al último un valor agrícola casi igual al de los excrementos.

Como término medio se considera que el estiércol de una vaca se compone de 70% de la fase sólida y el 30% restante de orina. De igual manera, se considera que contiene 0,5% de N y 0,25% de ácido fosfórico. Si se efectúa una pequeña simulación con los datos de la tabla, se puede señalar que anualmente el ganado bovino que habita en los alrededores del lago Sofía podría llegar a producir un total de 6,971 toneladas de excremento, si se estima que por cada 100 kg de peso vivo un vacuno puede llegar a excretar 2,69 kg, y si se asume además que en 365 días cada animal podría defecar al menos una vez. Si se simula que las 6,971 toneladas de excremento aportan el 0,5% de nitrógeno y un 0,25% de ácido fosfórico, los excrementos solamente de los vacunos podrían aportar aproximadamente 34,9 toneladas de N total y 17,43 toneladas de ácido fosfórico.

Sin embargo, se debe destacar que solamente una fracción de estos compuestos es asimilable. Según Buckman & Brady (1993) el 50% del nitrógeno es asimilable y una sexta parte del ácido fosfórico es aprovechable biológicamente. Esta situación implicaría que aproximadamente 17 toneladas de N total son aprovechadas, mientras que solamente 3 toneladas de ácido fosfórico serían biológicamente útiles.

## • CARGA DIRECTA DE AGUAS SERVIDAS O RESIDUALES

Las concentraciones de nutrientes (P y N total) provenientes de las aguas residuales se calcularon a través de los antecedentes recopilados por nuestro equipo de trabajo en que se contabilizó el número de personas existentes en las estancias existentes alrededor del lago Sofía. Un total de 60 personas distribuidas en aproximadamente 14 propiedades habitan en forma frecuente los alrededores del lago. Si bien los encuestados plantearon que las aguas no llegaban al río Rivas ni al lago Sofía, si no que se utilizan principalmente pozos sépticos, ubicados en lugares distantes de estos cuerpos de agua. Al menos en la zona del centro de cultivo, un análisis efectuado por la empresa Acuimag S.A. no reportó la presencia de coliformes fecales.

Las variables utilizadas para estimar los aportes de nutrientes provenientes de las aguas residuales en la cuenca del lago Sofía se muestran en la Tabla 44.

La carga total aportada a través de aguas residuales se obtuvo aplicando la fórmula propuesta por Dillon & Rigler (1974), Esta fórmula plantea que:

$$J_A = 0,8 \text{ (kg*cápita}^{-1} \text{ año}^{-1}) * N \text{ (capita)* (1-Rs)* T (capita*habitación}^{-1} \text{*año}^{-1})$$

donde,

$J_A$  = abastecimiento artificial de fósforo,

0,8 = es la estimación de 0,8 kg de P por persona al año, lo que corresponde a aproximadamente a 2,2 g por persona al día (800 g/ 365 días).

N = es el número de habitantes.

$R_s$  = Es el coeficiente de retención del fósforo total para fosas sépticas de acuerdo a la capacidad de filtración del suelo.

T = es el número promedio de días de uso de las habitaciones al año por habitante.

$J_A$  = Lds = 0,0144 toneladas de fósforo al año.

De acuerdo a estos antecedentes, las aguas residuales teóricamente podrían aportar un total de 10,08 kg de P.

**Tabla 43.-** Antecedentes dotación animal en cinco predios localizados en las riberas del lago Sofía (información aportada por el S.A.G. nov. 99).

Nombre Predio	Propietario	Superf (ha)	Bovinos	Ovinos	Equinos
Ea.Milodon	Julia Altamirano	10785	2310	150	15
Sofía 2	Hernán Cardenas	714	150	83	4
Ea.Sofía	Florencio Martínez	5551	564	0	18
Ea.Cerro Prat	Ernesto Helmer	6000	410	0	5
Ea.San Francisco	Eladio Saldivia	4600	386	0	15
	<b>Total</b>	<b>27.650</b>	<b>3.820</b>	<b>233</b>	<b>57</b>

**Tabla 44.-** Variables utilizadas para estimar los aportes de nutrientes provenientes de las aguas residuales en la cuenca del lago Sofía.

Modo de eliminación	Número casas	Número habitantes	Permanencia todo el año	Permanencia parcial (primavera y verano)	Coefficiente de retención (Rs)
Fosa séptica	8	45	25	20	0,3

## CAPITULO N°11

### BALANCE DE FOSFORO Y NITROGENO TOTAL DEL LAGO SOFIA

El balance de fósforo y nitrógeno fue calculado sobre la base de los resultados obtenidos para la carga anual de fósforo y nitrógeno; Balance másico y balance predictivo. En estos cálculos están integrados los resultados obtenidos en los aportes de los afluentes según el uso del suelo, balance hídrico, aguas residuales, centro de cultivo de salmones y liberación de nutrientes desde los sedimentos. Se entregan primero los cálculos para el fósforo y después los obtenidos para el nitrógeno.

#### Fosforo Total

- **Carga anual de Fósforo Total al lago**

La carga de fósforo total corresponde a la suma de los aportes que entregan las cuencas individuales más las fuentes localizadas (Tabla 45). Esto se expresa de acuerdo a la fórmula de Ryding y Rast (1992):

$$L = L_T + L_{DS} + L_{DD} + L_A + L_G + L_S$$

$$L = 102,9 \text{ mg/m}^2\text{año}$$

donde:

$$L_T = 80,55 \text{ mg/m}^2\text{año}$$

$$L_{DS} = 0,90 \text{ mg/m}^2\text{año}$$

$$L_{DD} = \text{Carga difusa directa (urbana y rural)(no se calculó)}$$

$$L_A = 5,26 \text{ mg/m}^2\text{año aporte por agua de lluvia}$$

$$L_G = 16,2 \text{ mg/m}^2\text{año aporte por centro de cultivo de salmonídeos}$$

$$L_S = 0,00 \text{ mg/m}^2\text{año liberación de nutrientes desde los sedimentos}$$

- **Carga de los afluentes ( $L_T$ ):** Se calculó el aporte de fósforo total en los afluentes del lago, abarcando los Chorrillos A, C, D, E, F y el Río Rivas. Las concentraciones de fósforo total en los afluentes presentaron un rango de sus promedios anuales entre 26.53 y 72.76  $\mu\text{g/l}$ . La carga total de los ríos afluentes presentó un valor de 80,55  $\text{mg/m}^2\text{año}$  (Tabla 46).

La carga anual de cada uno de los afluentes se calculó, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$L_T = \frac{Q_1 * [P_1] + Q_2 * [P_2] + \dots + Q_n * [P_n]}{A_o} = \text{mg/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde:

- $L_T$  = carga de fósforo total anual de los afluentes  
 $Q$  = caudal mensual del afluente ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $A_o$  =  $8.9 \text{ km}^2$  área superficial del lago  
 $[P]$  = Concentración de fósforo total en los caudales ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

- **Carga directa de las aguas residuales ( $L_{DS}$ ):** Las concentraciones de nutrientes (P y N) provenientes de las aguas residuales se calcularon a través de los antecedentes recopilados por preguntas hechas a habitantes del lugar (área de la cuenca del lago). Los antecedentes recopilados se encuentran en la Tabla 47. El sistema de desagüe de aguas servidas es a través de fosas sépticas.

La carga total aportada a través de las aguas residuales se obtuvo aplicando la fórmula propuesta por Dillon y Rigler (1974).

$$J_A = 0,8 \text{ (kg} \cdot \text{cápita}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}) * N \text{ (capita)} * (1 - R_s) * T \text{ (capita} \cdot \text{habitación}^{-1} \cdot \text{año}^{-1})$$

donde,

- $J_A$  = abastecimiento artificial de fósforo,  
 $0,8$  = es la estimación de  $0,8 \text{ kg}$  de P por persona al año, lo que corresponde a aproximadamente a  $2,2 \text{ g}$  por persona al día ( $800 \text{ g} / 365 \text{ días}$ ).  
 $N$  = es el número de habitantes.  
 $R_s$  = Es el coeficiente de retención del fósforo total para fosas sépticas de acuerdo a la capacidad de filtración del suelo.  
 $T$  = es el número promedio de días de uso de las habitaciones al año por habitante.  
 $J_A$  =  $L_{DS} = 8,064 \text{ kgs.}$  de fósforo al año.

$$L_{DS} = 0,90 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$$

- **Carga de fósforo total del agua lluvia (L<sub>A</sub>):** Las concentraciones de fósforo total en el agua lluvia, se estimaron en 14 µg/l. La cantidad de agua lluvia caída correspondió a 375,9 mm. Esto significó un aporte al Lago Sofía durante el periodo de 0.047 toneladas de fósforo total.

La carga de fósforo total por lluvia en la superficie del lago fue la siguiente:

$$L_{NP} = P_{TP}/A_0$$

$$L_{NP} = 5,26 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde,

$$P_{TP} = 0,047 \text{ toneladas de fósforo total provenientes del agua lluvia}$$

$$A_0 = 8,92 \text{ Km}^2 \text{ área superficial del lago.}$$

- **Aporte por el centro de cultivo de salmonídeos (L<sub>G</sub>):** Se considera un aporte de 16,2 mg/m<sup>2</sup>\*año que corresponden a los aportes provenientes de una producción anual de 12 tons. de peces los que contribuyen con 144,7 kilos de fósforo al año.
- **Liberación de nutrientes desde sedimentos del lago (L<sub>S</sub>):** Es considerada como la carga interna del lago (L<sub>int</sub>) que se calculó de acuerdo al balance másico descrito más adelante. En el lago la carga interna de fósforo fue de L<sub>S</sub> = 0 mg/m<sup>2</sup>\*año en el período, debido a que existe sedimentación de este nutriente en el lago.

#### Salida de fósforo total del lago

A través del efluente, Río Sofía, el Lago Sofía se descargó de 472 Kg. de fósforo anuales que equivalen a un promedio de 39,3 Kg. de Fósforo mensuales (Tabla 48).

#### Balance Másico de Fósforo

Fórmula del Balance Másico

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



donde,

- $L_{int}$  = carga interna de fósforo durante el intervalo de tiempo  
 $L_{out}$  = pérdidas de fósforo (por salida) de la masa de agua durante el intervalo de tiempo  
 $L_{ext}$  = carga externa de fósforo (por entrada) a la masa de agua durante el intervalo de tiempo  
 $TP$  = diferencia en el contenido de fósforo total en el agua durante un intervalo de tiempo

En este caso se considera que la carga interna es igual a cero, debido a que aquí se registra el efecto inverso, es decir, no hay liberación de fósforo desde los sedimentos, sino que todo lo contrario, el flujo de Fósforo va hacia los sedimentos en un valor de 27,62. El valor negativo que se obtiene de la ecuación (-27,62 mg/m<sup>2</sup>-año) del balance másico, nos revela la existencia de sedimentación, en cambio cuando el resultado es un valor positivo significa que hay liberación de nutrientes desde los sedimentos y a esto se le llama carga interna (Tabla 49).

- $L_{out}$  = 52,9 mg/m<sup>2</sup>\*año, (0,472 toneladas), salida desde el lago  
 $L_{ext}$  = 80,6 mg/m<sup>2</sup>\*año, (0,719 toneladas) entrada externa  
 $TP$  = -27,62 mg/m<sup>2</sup>\*año, (0,246 toneladas) diferencia en el contenido de fósforo total en la columna de agua durante el periodo anual.

El balance másico se calcula sobre la base de los siguientes antecedentes:

- \* Fechas: Se consideran los intervalos mensuales desde Septiembre de 1999 hasta Agosto de 2000.
- \* Contenido mensual de fósforo total en el lago: se calcula haciendo la sumatoria total del contenido de fósforo en todo el volumen de agua del lago considerando las cantidades medidas en los diferentes estratos analizados, durante cada mes.
- \* Entrada mensual de fósforo total al lago: se calculó a partir de la sumatoria del ingreso de fósforo total, contenido en el caudal mensual de los afluentes del lago, de las aguas lluvias que caen en la superficie del lago y las aguas residuales.
- \* Salida mensual de fósforo total del lago: corresponde a la concentración de fósforo contenido en las descargas mensuales del efluente, Río Sofía. (Tabla 48)

### Balance Predictivo de Fósforo total

A través del modelo de Vollenweider (1968, 1976), Vollenweider y Dillon (1974); Dillon y Rigler (1974) y Jorgensen y Vollenweider (1989), se puede predecir la concentración de fósforo total de un lago de acuerdo a la carga que posea en un tiempo determinado. El balance predictivo se fundamenta básicamente en la carga de fósforo total presente en el lago y la predicción de la carga crítica de fósforo total del lago.

- a) Cálculo de la concentración de fósforo total, de acuerdo a la carga de fósforo existente durante el período de estudio.

Sobre la base de la carga de fósforo total cuantificada en el período de estudio, se calculó la concentración de fósforo total que teóricamente tendría el lago de acuerdo a la fórmula de Dillon y Rigler (1974).

$$P = \frac{Lt \cdot (1-R)}{z \cdot f} = \text{mg/m}^3$$

$$z \cdot f$$

$$P = 7,24 \text{ mg/m}^3$$

donde,

P = concentración de fósforo total calculado de acuerdo a la carga del Lago Sofía.

Lt = 102,9 mg/m<sup>2</sup>\*año carga de fósforo

R = 0,695 coeficiente de retención de fósforo total en el lago

(1-R) = 0,305

f = 0,19 = (1/t<sub>w</sub>) = 1/5,2 = capacidad de renovación teórica anual

z = 22,81 m, profundidad media del lago

El coeficiente de retención del fósforo R se calculó según la fórmula de Larsen & Mercier (1976).

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

$$R(P) = 0,695$$

donde,

$t_w = 5,2$  años, renovación teórico del volumen de agua del lago

El tiempo de retención de 0,695 indica que la carga de fósforo que entró en la masa de agua es retenida en un 69,5% durante el tiempo de renovación teórica del lago.

b) Determinación de la concentración medida y calculada del fósforo total en el volumen del lago.

**$V \cdot P = 5,3$  toneladas medidas**

donde,

$V = 0,247$  Km<sup>3</sup> volumen del lago Sofia

$P_T = 19,29$  mg/m<sup>3</sup> medido como promedio anual en todo el volumen del lago

**$V \cdot P = 2$  toneladas calculadas**

donde,

$P = 7,24$  mg/m<sup>3</sup> calculado según la carga del Lago Sofia

El volumen del lago Sofia de acuerdo al promedio de Fósforo Total tendría 5,3 toneladas. El Fósforo total calculado de acuerdo a su carga fue de 2 toneladas. La diferencia entre los dos es de 3,3 t., lo que significaría que una concentración al inicio del periodo de estudio, o sea, lo que está acumulado, también se puede interpretar que el promedio calculado fue de 7,24 µg/l y el actual es de 19,29 µg/l, o sea, una diferencia de 12,05 µg/l al inicio del periodo.

### **Cálculo de Fósforo Total según área**

De acuerdo a la fórmula de carga de Fósforo, según su concentración actual, se calcula la carga de ingreso en el área del Lago, esto es:

$$L_{PT} = \frac{P_T \cdot z \cdot f}{(1-R)} = \text{mg/m}^3$$

$$L_{pT} = 274,1 \text{ mg/m}^2\text{-año}$$

La carga de entrada en el área del Lago sería según fórmula:  $L_{pT} \cdot A_o = 2,4$  toneladas. Y la carga medida corresponde a 0.918 ton/año (102,9 mg/m<sup>2</sup>-año)

## Nitrogeno Total

### Carga anual de Nitrógeno total al lago

La carga de fósforo total corresponde a la suma de los aportes de las cuencas individuales, más las fuentes localizadas (Tabla 50). Esto se expresa de acuerdo a la fórmula de Ryding y Rast (1992), que es válida tanto para el fósforo como para el nitrógeno en lagos.

$$L = L_T + L_{DS} + L_{DD} + L_A + L_G + L_S$$

$$L = 5586,7 \text{ mg/m}^2\text{-año}$$

donde,

$$L_T = 5332,8 \text{ mg/m}^2\text{-año}$$

$$L_{DS} = 4,25 \text{ mg/m}^2\text{-año}$$

$$L_{DD} = \text{mg/m}^2\text{-año, carga difusa directa (urbana y rural)(no se calculó)}$$

$$L_G = 80,6159 \text{ mg/m}^2\text{-año aporte por centro de cultivo de cultivo}$$

$$L_A = 169,6 \text{ mg/m}^2\text{-año aporte por agua de lluvia}$$

$$L_S = 0,00 \text{ mg/m}^2\text{-año debido a que existe sedimentación de nutrientes.}$$

- **Carga de los afluentes ( $L_T$ ):** Se calculó el aporte de nitrógeno total en afluentes del lago, abarcando los chorrillos A, C, D, E, F y el Río Rivas. Las concentraciones de nitrógeno total en los afluentes presentaron un rango de sus promedios entre 704.4 y 3120  $\mu\text{g/l}$ . La carga total de los ríos afluentes fue de 5332,8 mg/m<sup>2</sup>-año. El cálculo de la carga anual de nitrógeno total, provenientes de los afluentes, se hizo empleando la misma fórmula utilizada en los cálculos para el caso del fósforo (Tabla 51)
- **Carga directa de las aguas residuales ( $L_{DS}$ ):** Las concentraciones de nitrógeno en las aguas residuales se calcularon, de acuerdo a los resultados ya presentados para el caso de los aportes de fósforo. En este en

particular se a considerado un aporte de 3,8 kg de nitrógeno total por persona al año, lo que equivale a 10,4 gramos de nitrógeno diarios (Dillon y Rigler, 1975).

El cálculo se realizó para el único sistema de eliminación de aguas residuales, fosa séptica.

$$J_A = L_{DS} = 0,038 \text{ toneladas de nitrógeno al año}$$

$$L_{DS} = 4,25 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$$

- **Carga de Nitrógeno total del agua lluvia ( $L_A$ ):** Las concentraciones de nitrógeno total en el agua de lluvia caída durante el período de estudio se estimaron en 451,3  $\mu\text{g/l}$ . La cantidad de agua lluvia caída correspondió a 375,9 mm. Esto significó un aporte durante el período de 1.514 toneladas de nitrógeno total.

La carga de nitrógeno total por agua lluvia en la superficie del lago fue la siguiente:

$$L_{NP} = N_{TP} / A_0$$

$$L_{NP} = 169,6 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$$

donde,

$N_{TP}$  = 1,514 toneladas de fósforo total provenientes del agua lluvia

$A_0$  = área superficial del lago Sofía = 8,922  $\text{Km}^2$

- **Aporte por el centro de cultivo de salmonídeos:** Se considera un aporte de 80,6  $\text{mg/m}^2 \cdot \text{año}$  que corresponden a los aportes que provienen de una producción anual de, aproximadamente, 600.269 smolts de salmonídeos (12 toneladas), que contribuyen con 719,3 kilos de nitrógeno al lago.
- **Liberación de nutrientes desde sedimentos del lago ( $L_s$ ):** La liberación de nutrientes desde los sedimentos a la masa de agua, se le denomina carga interna de nitrógeno del lago ( $L_{int}$ ). Esta se calcula de acuerdo a los parámetros considerados en el "balance másico", que se describen más adelante. En el lago la carga interna de nitrógeno total fue igual a 0,00  $\text{mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , debido a que en este lago ocurre sedimentación de nitrógeno, ya que el valor obtenido en el balance másico es negativo.

- **Salida de Nitrógeno total del lago:** El desagüe del lago corresponde al Río Sofía, el cual exportó desde el lago 34,08 toneladas de nitrógeno total, los que representan en promedio una salida de 2,84 toneladas mensuales. Las mayores salidas de nitrógeno se registraron en los meses de verano( Tabla 52)

### Balance Másico de Nitrógeno

Fórmula del Balance Másico

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

$L_{int}$  = carga interna de Nitrógeno durante el intervalo de tiempo

$L_{out}$  = 3819,7 mg/m<sup>2</sup>\*año, equivalentes a 34,08 toneladas de salida desde el lago

$L_{ext}$  = 5332,9 mg/m<sup>2</sup>\*año, equivalentes a 47,58 toneladas de entrada.

$\pm TP$  = -1513,17 mg/m<sup>2</sup>\*año , (-13,5 ton) toneladas, corresponde a la diferencia existente en el contenido de nitrógeno total en la columna de agua, durante el período anual.

El balance másico se calculó de acuerdo a los mismos procedimientos empleados, para calcular el balance másico del fósforo explicado anteriormente (Tabla 53). La masa total de Nitrógeno del lago Sofía presentó un promedio anual de 56284,1 mg/m<sup>2</sup>\*año (502,2 t).

Otra aproximación para obtener la carga de nitrógeno en la masa de agua del lago, se puede obtener a través de la utilización de la fórmula propuesta por Lorraine (1990).

### Fórmula de Lorraine (1990)

$$N_{\alpha} = N_j - N_w$$

donde:

$N_{\alpha}$  = 1513,2 (mg/m<sup>2</sup>-año), equivalente a 13,5 toneladas como contenido de nitrógeno total del lago

$N_j$  = 5332,8 (mg/m<sup>2</sup>-año), equivalente a 42,78 toneladas de carga (entrada) de nitrógeno total al lago

$N_w$  = 3819,7 (mg/m<sup>2</sup>-año), equivalente a 34,08 toneladas de salida de nitrógeno total del lago.

El valor positivo de 13,5 t, revela que el Lago presenta un proceso de sedimentación de nitrógeno, debido que existe una salida menor que la entrada de este nutriente al cuerpo de agua.

### Balance Predictivo

En el caso específico del nitrógeno para establecer el balance predictivo utilizaremos dos alternativas de cálculo, una referente a la concentración y la otra a la carga.

- a) Siguiendo el modelo de Vollenweider (1968) y la ecuación de Dillon y Rigler (1974), aplicada para el caso del fósforo, pero adoptando la modificación propuesta por Jorgensen y Vollenweider (1989). Esta modificación consiste básicamente en disminuir el coeficiente de Retención obtenido para el fósforo en un 16% menos, cuando se aplique esta ecuación para los cálculos de nitrógeno

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

$$N = 536,51 \text{ mg/m}^3$$

donde,

N = concentración de nitrógeno total calculado de acuerdo a la carga

$L_{TN}$  = 5586,7 mg/m<sup>2</sup>\*año carga de Nitrógeno

R = 0,5838 coeficiente de retención de nitrógeno (16 % menos que el calculado para el fósforo)

(1-R) = 0,4162

f = 0,19 capacidad de renovación teórica anual

z = 22,81 m, profundidad media del lago

Este resultado indica que de acuerdo a la carga anual medida, el lago debería tener una concentración de nitrógeno de 536.51 mg/m<sup>3</sup>; No obstante la concentración medida es 1844,5 mg/m<sup>3</sup>. Esta diferencia nos indica que este Lago presenta una acumulación de este nutriente en el cuerpo de agua.

- b) Empleando la fórmula predictiva de carga de nitrógeno desarrollada por Bachmann (1984). Esta fórmula permite predecir la carga que debiera tener un cuerpo de agua según la concentración promedio actual determinada o de acuerdo a la concentración que teóricamente se programe.

La fórmula de Bachmann (1984) se muestra a continuación:



$$\ln(L) = 3,245 + 0,708 * \ln(TN) + 0,859 * \ln(z) + 0,770 * \ln(f)$$

donde,

- L = 21517,8 mg/m<sup>2</sup>\*año carga de nitrógeno total en el lago  
 TN = 1844,5 mg/m<sup>3</sup>, concentración de nitrógeno total medido, como promedio anual  
 z = 22,81 m, profundidad media del lago  
 f = 0,19 tiempo de renovación anual

Según la fórmula de Bachmann el balance predictivo de la carga revela que el lago Sofia de acuerdo a la concentración promedio de N total (1844,5 mg/m<sup>3</sup>), debiera tener una carga de 21517,8 mg/m<sup>2</sup>\*año. No obstante la carga cuantificada fue de 5586 mg/m<sup>2</sup>\*año.

En ambos caso como en el modelo de Vollenweider y Bachmann, se observa la tendencia a incrementar la concentración de nitrógeno como la carga de nitrógeno en el lago.

Al establecer una comparación entre las concentraciones observadas y predichas, al relacionarlas con el volumen del lago se obtuvo que

$$V * NT = 505,7 \text{ toneladas medidas}$$

donde:

- V = 0,247 Km<sup>3</sup>, volumen del lago  
 NT = 1844,5 mg/m<sup>3</sup> concentración medida como promedio anual en todo el volumen del lago

$$V * NT = 147 \text{ toneladas calculadas}$$

donde,

- NT = 536,51 mg/m<sup>3</sup> concentración calculada según la carga del lago

La diferencia existente entre el nitrógeno medido y calculado corresponde a 358 toneladas, que equivalen a una concentración de 1308,4 µg/l.

**Tabla 45.-** Lago Sofia (Fósforo total)

Estrato profundidad (m)	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	conc: mg/m <sup>3</sup>
0-5	1,019	1,051	1,418	1,588	1,209	1,068	19.1
5-10	3,972	2,381	2,595	1,822	1,404	0,781	17.4
12-39	1,206	1,862	3,199	1,926	1,261	0,561	21.4
Σ	6,197	5,294	7,212	5,336	3,874	2,41	19.291
promedio Σ	promedio= 5,1 tons. = 566,4 mg/m <sup>2</sup>						

**Tabla 46.-** Concentraciones de Fósforo Total en afluentes al Lago Sofia (t/mes)

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	Σ total
Río Rivas	0.058	0.020	0.007	0.075	0.039	0.044	0.243
Chorrillo A	0.001	0.002	0.008	0.004	0.002	*	0.017
Chorrillo C	0.005	0.000	0.001	0.004	*	0.000	0.011
Chorrillo D	0.006	0.002	0.014	0.012	*	0.001	0.035
Chorrillo E	0.002	*	*	*	*	0.000	0.002
Chorrillo F	0.010	0.008	0.005	0.019	0.007	0.002	0.051
Σ	0.083	0.032	0.035	0.114	0.048	0.047	0.359

**Tabla 47.-** Variables consideradas para realizar los cálculos de los aportes de nutrientes (P y N) provenientes de las aguas residuales en la cuenca del lago.

Eliminación aguas residuales	Número de Habitantes	Número de Casas	Permanencia todo el año	Permanencia parcial (primavera-verano)	Coefficiente de retención (Rs)
Fosa Séptica	45	8	25	20	0,3

**Tabla 48.-** Concentraciones de Fósforo Total en efluentes (Río Sofia) al Lago Sofia (ton/mes)

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	total
t/mes	*	0.142	0.050	0.017	0.022	0.005	0.236

Tabla 49.- Carga interna de fósforo total en el lago Sofia

FECHA	Masa Total de P en el Lago Sofia (t)	Entrada total de p al lago (t)	Salida total de p del lago (t)	Masa de P calculada en el lago (t)	Masa de P medida en el Lago (t)	Diferencia entre la masa de P calc. Y la medida (t)
SEP	6.197	0.083	*	6.114	6.197	-0.083
NOV	5.294	0.032	0.142	5.404	5.294	0.110
ENE	7.212	0.035	0.050	7.227	7.212	0.015
MAY	5.336	0.114	0.017	5.239	5.336	-0.097
JUL	3.874	0.048	0.022	3.848	3.874	-0.026
AGO	2.410	0.047	0.005	2.368	2.410	-0.042
$\Sigma$ TOTAL		0.359	0.236			-0.123
Total anual		0.719	0.472	52.937		-0.246
		80.553				
				suma de flujos neg	-0.247	
				suma de flujos pos	0.124	

Tabla 50.- Lago Sofia ( Nitrógeno total)

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	conc: mg/m <sup>3</sup>
0-5	64,9917	70,6504	60,7536	209,567	148,918	176,458	1,823.0
5-15	170,545	135,803	131,818	300,473	274,786	288,299	1,703.5
15-40	120,09	100,075	76,3996	234,018	211,652	237,779	2,007.0
$\Sigma$ (t.)	355,626	306,528	268,971	744,058	635,357	702,536	1,844.500
promedio $\Sigma$	promedio= 502,2tons. = 56.284,1mg/m <sup>3</sup>						

Tabla 51.- Concentraciones de Nitrógeno total afluentes al lago Sofia (t/mes)

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	$\Sigma$ total
Río Rivas	2.480	0.699	0.257	5.745	6.655	4.918	20.754
Chorrillo A	0.023	0.030	0.007	0.059	0.030		0.150
Chorrillo C	0.055	0.006	0.013	0.117		0.033	0.224
Chorrillo D	0.137	0.072	0.020	0.028		0.069	0.327
Chorrillo E	0.057					0.011	0.069
Chorrillo F	0.277	0.109	0.086	1.177	0.265	0.353	2.267
$\Sigma$	3.029	0.916	0.384	7.125	6.950	5.385	23.791

Tabla 52.- Concentraciones de Nitrógeno total efluentes (Río Sofia)al lago Sofia (t/mes)

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	total
t/mes		5.073	2.303	3.637	1.255	4.772	17.0

**Tabla 53.-** Carga interna de nitrógeno total en el lago Sofia

FECHA	Masa total de N en el lago (t)	Entrada total de N al Lago (t)	Salida total de N del lago (t)	Masa de N calculada en el lago (t)	Masa de N medida en el Lago (t)	Diferencia entre la masa de N calc. y la medida (t)
SEP	355.626	3.029	*	352.597	355.626	-3.029
NOV	306.528	0.916	5.073	310.685	306.528	4.157
ENE	268.971	0.384	2.303	270.890	268.971	1.919
MAY	744.058	7.125	3.637	740.570	744.058	-3.488
JUL	635.357	6.950	1.255	629.661	635.357	-5.696
AGO	702.536	5.385	4.772	701.922	702.536	-0.614
TOTAL		23.791	17.040			-6.750
TOTAL ANUAL		47.581	34.080	3,819.703		-13.501
		5,332.876	3,819.703			
				suma de flujos neg	-12.826	
		1,513.2		suma de flujos pos	6.076	

## CAPITULO N° 12

### DETERMINACION DE CAPACIDAD DE CARGA EN TERMINO DE STOCK CULTIVABLE DE ESPECIES SALMONIDEAS EN EL LAGO SOFIA Y ESTIMAR EL STOCK MAXIMO CULTIVABLE

La capacidad de carga está referida a la biomasa de peces que puede ser mantenida en un cuerpo de agua sin sobrepasar el estado trófico actual. Esta información es necesaria para definir cuál es la capacidad de autodepuración ambiental del lago para evitar cambiar la trofia actual o antes de desarrollar una actividad productiva tal como la salmonicultura.

Para desarrollar este análisis, se considera en forma conjunta los resultados obtenidos en el balance másico y el balance predictivo, además de los cálculos de carga crítica del lago para el fósforo y nitrógeno. Es posible obtener algunos antecedentes sobre la capacidad de carga de dichos nutrientes, en cuanto al stock cultivable de especies salmonideas, considerando a esta última como una fuente fija generadora de compuestos fosforados y nitrogenados, dentro del lago.

Los niveles de trofia referenciales en lagos, con respecto al fósforo y nitrógeno, están dados de acuerdo a los antecedentes entregados por Wetzel (1981) y Håkanson & Jansson (1983) y CONAMA (2000).

De acuerdo a los niveles de trofia referenciales, durante el desarrollo del estudio, y bajo condiciones pluviométricas representativas de un año seco, el lago Sofía debiera ser caracterizado como un cuerpo de agua meso a eutrófico (capítulo 14; Tabla 61).

#### Fósforo Total

De acuerdo con los resultados obtenidos en el balance másico, se puede apreciar que en el Lago Sofía se mantuvo una masa total durante el año de 0.123 toneladas de P total, la cual estuvo sustentada por una ingreso de 0,719 toneladas y una exportación de 0,472 toneladas.

Con los resultados obtenidos del balance predictivo del fósforo, es posible determinar que de acuerdo a la carga que esta recibiendo el lago, a través de todas las fuentes consideradas (102,9 mg/m<sup>2</sup>\*año), debería tener una concentración de 7,24 mg/m<sup>3</sup>. Esta concentración calculada es bastante inferior al promedio medido durante el año (19,29 mg/m<sup>3</sup>) en la columna de agua del lago Sofía. De acuerdo con estas concentraciones el lago, presenta una masa actual de fósforo de 5,3 toneladas y una masa calculada de 2 toneladas. Estas diferencias encontradas entre las masas medidas y calculadas, nos evidencian la presencia de un proceso de sedimentación

de fósforo con 0,246 toneladas, durante el período de estudio (referido a un año), el cual se ve facilitado con un coeficiente de retención de fósforo de un 69,5%.

### Carga crítica de Fósforo

La carga crítica representa la carga máxima de fósforo que puede soportar el cuerpo de agua para pasar al siguiente nivel de trofía, en otras palabras corresponde al límite en el cual el lago dejaría su actual estado de mesotrofia para pasar a un estado de eutrofia. La carga crítica de fósforo se calculó a través de la fórmula descrita por Vollenweider(1976).

$$L_c = 10 * (z / t_w) * (1 + \sqrt{t_w})$$

$$L_c = 143,89 \text{ mg/m}^2\text{año}$$

donde,

- $L_c$  = Carga crítica (mg/m<sup>2</sup>\*año)
- $z$  = 22,81 m; profundidad media
- $t_w$  = 5,2 año; tiempo de renovación

De acuerdo con estos resultados la carga de 143,89 mg/m<sup>2</sup>\*año, corresponde a la carga crítica y representa la máxima carga que el lago podría recibir para dejar su actual estado de mesotrofia y pasar a un estado de eutrofia. Esta carga crítica sobrepasa en 40,99 mg/m<sup>2</sup>\*año a la carga actual que tiene el lago. Este hecho indicaría que el lago dispondría de un margen de, aproximadamente, 0,36 toneladas de fósforo que podría recibir para cambiar su actual nivel de mesotrofia.

Es necesario destacar que se utilizó esta fórmula, y no aquella que cambia la constante 10 por 17 que es representativa para lagos de profundidad superior a 20 m, ya que se estimó que el lago Sofía posee una profundidad mayor que la recomendada para aplicar el valor mayor. Además, se verificó que las diferencias entre ambas funciones entregan resultados relativamente similares.

### Nitrógeno total

Los resultados obtenidos para el balance másico de nitrógeno, evidencian un comportamiento similar al registrado para el caso del fósforo. Así el lago presentó una carga anual de 13,5 toneladas de nitrógeno, la cual estuvo mantenida por un ingreso de 47,58 toneladas y una exportación de 34,08 toneladas anuales.

Para el caso del nitrógeno se tienen menores posibilidades predictivas que con el fósforo, debido a la problemática existente respecto a la definición de la sedimentación de los compuestos nitrogenados y de los procesos que están involucrados. La fórmula propuesta por Bachmann (1984) representa un instrumento predictivo para el nitrógeno, sobre la base de antecedentes recopilados en lagos del hemisferio norte. La fórmula de Bachmann es la siguiente:

$$\ln(L) = 3,24 + 0,78 \ln(TN) + 0,859 \ln(z) + 0,770 \ln(f)$$

De acuerdo con la concentración promedio actual medida en el lago (1844,5 mg/m<sup>3</sup>), se calculó que la carga del lago debería tener 21517,8 mg/m<sup>2</sup>\*año. Sin embargo la carga actual medida es de tan sólo 5586,7 mg/m<sup>2</sup>\*año.

Utilizando esta ecuación y una concentración de 400 mg/m<sup>3</sup>, como límite de mesotrofia, se obtiene que la carga debería ser igual a 7291 mg/m<sup>2</sup>\*año. Al relacionar este, valor considerado como carga crítica, con la carga actual medida, 5586,7, es posible señalar que existiría un margen de 1704,3 mg/m<sup>2</sup>\*año, o sea, 15,2 toneladas que podría soportar el Lago Sofía para alcanzar un nivel de eutrofia.

Debido a las dificultades que se presentan en la predicción de carga de compuestos nitrogenados, como consecuencia del desconocimiento que existe respecto a la dinámica de los procesos de nitrificación y desnitrificación que ocurren, tanto en la masa de agua, como en los sedimentos de los lagos, Vollenweider y Jorgensen (1989), han planteado la utilización de la fórmula de Dillon y Rigler (1974), para predecir cargas de nitrógeno, en forma similar a como se utiliza para determinar la carga de fósforo, destacando que en las cuantificaciones de nitrógeno se debe reducir el coeficiente de retención en un 16%. La fórmula de Dillon y Rigler (1974) es la siguiente:

$$LNt = \frac{[Nt] * z * f}{(1 - R)} ; \text{mg/m}^2 * \text{año}$$

donde:

- LNt = Carga de nitrógeno total
- [Nt] = Concentración de Nitrógeno total proyectada
- z = 22,81 m; Profundidad media
- f = 0,19; Capacidad de renovación teórica anual
- R = 0,5838; Coeficiente de retención del Nitrógeno (16% menos que el fósforo)



Con la finalidad de comprobar la utilidad de esta ecuación en la determinación de cargas de nitrógeno probaremos calcular la carga actual, de acuerdo a la concentración promedio anual medida ( $1844,5 \text{ mg/m}^3$ ).

Como resultado se obtiene una carga de  $19206,8 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , aquí se evidencia que por ambas fórmulas ocurre una subestimación por sobre el 100%.

Utilizando la fórmula de Dillon y Rigler y una concentración de  $400 \text{ mg/m}^3$  de nitrógeno total como límite de mesotrofia, para el lago, la carga crítica sería de  $4165,2 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , al comparar este valor de carga crítica, con el determinado por la ecuación de Bachmann, se puede observar que esta ecuación nos indicaría que nuestro Lago se encuentra eutroficado en relación al nutriente nitrógeno en  $1421,5 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , por sobre la carga crítica.

## COMENTARIO

El aumento de la trofia de un cuerpo de agua está asociado principalmente a un incremento en la disponibilidad de aquellos nutrientes denominados "limitantes". En el caso específico de los cuerpos de agua lénticos chilenos, el factor limitante es el fósforo, ya que este compuesto se encuentra en bajas concentraciones, en cambio el nitrógeno, por lo general, es más abundante. Por lo anterior el elemento determinante de trofia de un lago corresponde a los aportes extras de fósforo que pueden llegar a estos cuerpos de agua.

### Carga Artificial de fósforo y nitrógeno

La carga artificial de nitrógeno y fósforo en el lago, está dada básicamente a través de las aguas residuales que provienen de los escasos habitantes que viven en forma permanente y esporádicos visitantes que llegan a este sitio; además, de los aportes que entrega el centro de cultivo de salmonídeos. Es así como los aportes de aguas residuales nos superan el 0,87% y 0,08% de las cargas de fósforo y nitrógeno, respectivamente. En cambio el centro de cultivo aporta un 15,74 % de fósforo y un 1,4 % de nitrógeno (Tabla 55).

### Carga Artificial teórica de fósforo y nitrógeno

De acuerdo con los antecedentes descritos en el capítulo 10 es posible establecer que de acuerdo a los diferentes niveles de producción allí planteados sería posible predecir en cuanto tiempo el lago podría alcanzar su nivel de carga crítica. Esto, bajo el supuesto que la dinámica de nutrientes fósforo y nitrógeno se mantenga constante en el tiempo.

### Fósforo

Considerando una producción mínima de 1 tonelada de peces por cada 74,3 hectáreas de lago, anualmente se aportarían 0,14 toneladas de fósforo. Como el Lago Sofía posee un margen de 0,36 toneladas, la carga crítica de fósforo se alcanzaría en 2,6 años. Mientras que con una producción máxima de 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas de Lago, anualmente se aportarían 0.30 toneladas de fósforo lo que estaría en el límite del cambio de trofia del Lago Sofía.

### Nitrógeno

Considerando una producción mínima de 1 toneladas de peces por cada 74,3 hectáreas de lago, anualmente se aportarían 0,72 toneladas de nitrógeno. Como el lago posee un margen de 15,2 toneladas, la carga crítica de nitrógeno se alcanzarían en 21 años. Mientras que con una producción máxima de 1 tonelada de peces por cada 35 hectáreas de lago, anualmente se aportarían 1,5 toneladas de nitrógeno por lo que la carga crítica de nitrógeno se alcanzaría en 10 años.

**Tabla 54.-** Aportes de Fósforo total y Nitrógeno total al lago Sofía.

	Aporte de Fósforo Total al Lago Sofía (t)	Fósforo Total en el Lago Sofía (%)	Aporte de Nitrógeno Total al Lago Sofía (t)	Nitrógeno Total en el Lago Sofía (%)
Carga aportada por Afluentes (t/año)	0,719	78,27	47,580	95,45
Carga aportada por agua lluvia (t/año)	0,047	5,11	1,513	3,04
Carga aportada por aguas residuales (t/año)	0,008	0,87	0,038	0,08
Carga aportada por el Centro de Cultivo (t/año)	0,145	15,74	0,719	1,44
<b>TOTAL</b>	<b>0,918</b>	<b>100,00</b>	<b>49,851</b>	<b>100,00</b>

## CAPITULO N°13

### MODELO DE SIMULACION DE FOSFORO Y NITROGENO APORTADO POR CENTROS DE CULTIVO DE SALMONIDEOS

Las cuantificaciones simuladas respecto a los aportes de desechos y nutriente (P y N) con que contribuiría la actividad de pisciculturas a la carga de nutrientes al lago, se hizo sobre la base de los antecedentes obtenidos en el centro de cultivo de salmonídeos que operan en el lago.

El lago tiene una superficie de aproximadamente 900 hectáreas. De acuerdo a la normativa vigente se considera adecuado el efectuar una estimación de 1 tonelada de pez por cada 35 hectáreas de superficie del lago. De este modo en el lago Sofía teóricamente se podrían llegar a producir alrededor de 26 toneladas de peces anuales. De acuerdo a los datos de producción anual de peces cultivados en el lago Sofía, es factible señalar que nunca se ha sobrepasado la capacidad de carga en el lago, actualmente se produce 1 tonelada por cada 74 hectáreas y sobre esta base se harán los cálculos. Aún así se han detectado altos niveles de P total en la columna de agua, cuya contribución mayor proviene de los diferentes afluentes.

#### Aportes de desechos al lago

Con relación a lo anteriormente señalado, esto significa instalar un centro de cultivo de salmonídeos con aproximadamente 12 balsas jaulas de 10 x 10 metros. Un centro de cultivo, de estas características, puede llegar a una producción final de unos 600.000 smolts de aproximadamente 20 gramos de peso promedio por temporada, lo que representaría una biomasa de 12 toneladas de peces vivos (smolts). Considerando la utilización de un factor de conversión del alimento de 1,1 para lograr tal producción se debería suministrar a los peces un total de 13 toneladas de alimento seco, tipo crumble y pellets, durante toda la fase de cultivo. Por lo tanto, de acuerdo con este esquema de producción se deberían eliminar como desechos al lago 1,2 toneladas, de fecas y restos de alimento no consumido (Tabla 55)

#### Balance de Fósforo en Centro de Cultivo

Para establecer el balance de fósforo y nitrógeno en centros de cultivo, es necesario uniformar todas las variables, por lo tanto, estas fueron transformadas a unidades de peso seco.

Considerando que el alimento utilizado contiene un 9,5% de humedad y un 1,5% de fósforo total se puede establecer que las 13,2 toneladas de alimento que deben ingresar al centro de cultivo contienen un total de 180,9 kilos de fósforo(100%) (Tabla 55).

Los peces (smolts) que salen del lago tienen un peso seco que corresponde al 32,8% del peso vivo (Rodríguez 1993), por lo tanto la biomasa total de peces vivos es de (12000 kilos), que se producirían en el lago equivalen a 3937,8 kilos de peso seco. Si consideramos que los peces contienen un 0,92% de fósforo (Rodríguez 1993), esto quiere decir que en la producción de peces salen 36,2 kilos de fósforo (20%). Por lo tanto, quedarían en el lago un total de 144,7 kilos (peso seco) de fósforo (80%) (Tabla 55).

De acuerdo con los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge(1986); Enell y Löff (1987) y Campos et al (1999) se estima que un 78% de fósforo es liberado en forma de desecho sólido, el cual se integraría a los sedimentos del lago; mientras que el restante 22% ingresa a la masa de agua como desecho soluble; es decir, de los 144,7 kilos de fósforo que ingresan al lago 112,8 kilos ingresarían directamente a los sedimentos y 31,8 kilos se integrarían a la masa de agua como fósforo soluble (Tabla 55).

#### **Balance de Nitrógeno en centro de cultivo**

En general, el alimento para peces contiene un 8,23% de nitrógeno total y un 9,5% de humedad, por lo tanto, las 13,2 toneladas de alimento que ingresan al centro de cultivo contienen en total 992,6 kilos de nitrógeno (100%) (Tabla 55).

Los smolts que salen del lago tienen un peso seco que corresponde al 32,8% del peso vivo (Rodríguez 1993), por lo tanto la biomasa total de peces vivos (12000 kilos) que se producirían en el lago equivalen a 3937,8 kilos de peso seco. Si consideramos que los peces contienen un 6,94% de nitrógeno (Rodríguez 1993), esto quiere decir que en la producción de peces salen 273,3 kilos de nitrógeno (27,5%). Por lo tanto, quedarían en el lago un total de 719,3 kilos (peso seco) de nitrógeno (72,5%) (Tabla 55).

De acuerdo con los antecedentes proporcionados por Phillips y Beveridge (1986); Enell y Löff (1987) y Campos et al (1999) se estima que un 80% de nitrógeno es liberado en forma de desecho soluble, el cual se integraría a la masa de agua; mientras que el restante 20% ingresa a los sedimentos como desecho sólido; es decir, de los 719,3 kilos de nitrógeno que ingresan al lago, 143,9 kilos se integrarían a la masa de agua y 575,4 kilos directamente a los sedimentos del lago (Tabla 55).

De acuerdo con estos cálculos es posible simular una situación hipotética con diferentes niveles de producción de peces, para estos efectos se consideran estos niveles en relación con unidades de superficie (hectáreas), tal como lo estipula la reglamentación vigente.

En la tabla 56 es posible visualizar en detalle como a medida que se incrementa el nivel de producción, se incrementa sustancialmente el aporte, tanto de desechos, como de los nutrientes fósforo y nitrógeno. Así, desde un mínimo de 0,14 tons. de fósforo y 0,72 tons. de nitrógeno, produciendo una tonelada de peces/74,3 hectáreas; se puede alcanzar hasta un máximo de 0,3 tons. de fósforo y 1,5 tons. de nitrógeno, produciendo 1 ton. de peces/35 hectáreas (Fig.16)

### **Aportes de fósforo**

Considerando que, la carga total medida en el lago de fósforo corresponde a  $102,9 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , de esta carga el 78,27% corresponde a los aportes que le entregan los afluentes, el agua lluvia aporta un 5,11% y las aguas residuales un 0,87%. La actividad de piscicultura le aporta un 15,7% con la producción de 12 toneladas de peces (Fig.17). Sin embargo, si se incrementan los niveles de producción este porcentaje de contribución puede llegar hasta un 28,42 % de la carga total actual medida. (Tabla 57)

### **Aportes de Nitrógeno**

La carga actual de nitrógeno medida en el lago alcanza a los  $5586,7 \text{ mg/m}^2 \cdot \text{año}$ , a esta carga los afluentes contribuyen con el 97,45 % , el agua lluvia con el 3,04 %, las aguas residuales con un 0,08 % y el centro de cultivo de peces aporta un 1,44 % (Fig.17). En el supuesto que se incrementen los niveles de producción de peces a 35 ton/10ha., esta actividad podría contribuir con un 3 % de la carga total (Tabla 57).

En la actualidad está el proyecto de ampliar el centro de cultivo existente a una producción de 1.6 toneladas anuales más. Con esta producción y según tabla 55, se puede apreciar que se pasaría al rango de producción de aproximadamente una tonelada por cada 60 Ha. con un aporte de fósforo de 0,1792 toneladas y 0,8907 ton. de Nitrógeno.

Tabla 55.- Diferentes rangos de capacidad de producción en el lago Sofia

	1/74.3	1/60	1/50	1/40	1/35
Producción (t/Há)	0,0135	0,0167	0,0200	0,0250	0,0286
Superficie del Lago (Há.)	892,0000	892,0000	892,0000	892,0000	892,0000
Cantidad de peces en el Lago (Biomasa total de peces vivos) según normativa vigente (t/año)	12,0054	14,8667	17,8400	22,3000	25,4857
Peso promedio de peces (grs)	20,0000	20,0000	20,0000	20,0000	20,0000
Número de peces vivos en el Lago al año	600.269	743.333	892.000	1.115.000	1.274.285
<b>APORTE DE DESECHOS AL LAGO</b>					
Factor de Conversión del alimento	1,1000	1,1000	1,1000	1,1000	1,1000
Alimento seco suministrado a los peces (t/año)	13,2059	16,3533	19,6240	24,5300	28,0343
Cantidad de desecho eliminado (fecas y alimento no consumido) (t/año)	1,2005	1,4867	1,7840	2,2300	2,5486
<b>BALANCE DE FÓSFORO EN EL CENTRO DE CULTIVO</b>					
Humedad del alimento utilizado (%)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
Fósforo Total del alimento utilizado (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Cantidad de Fósforo Total Ingresas al centro de cultivo como alimento (t/año)	0,1809	0,2240	0,2688	0,3360	0,3840
Porcentaje en Peso seco de los peces que salen del Lago, en relación a los peces vivos (%)	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8
Biomasa total de peces (Seco) que salen del Lago (t/año)	3,9378	4,8763	5,8515	7,3144	8,3593
Fósforo que contienen los peces (%)	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Cantidad de Fósforo que sale de lago en la producción de peces (t/año)	0,0362	0,0449	0,0538	0,0673	0,0769
Cantidad de Fósforo que ingresa al Lago (t/año)	0,1447	0,1792	0,2150	0,2687	0,3071
Fósforo liberado en forma de desecho sólido (que se integra al sedimento)(%)	78	78	78	78	78
Fósforo que ingresa a la masa de agua como desecho soluble(%)	22	22	22	22	22
Cantidad de Fósforo que se integra a los sedimentos (t/año)	0,1128	0,1397	0,1677	0,2096	0,2396
Cantidad de Fósforo soluble en el agua (t/año)	0,0318	0,0394	0,0473	0,0591	0,0676
<b>BALANCE DE NITRÓGENO EN EL CENTRO DE CULTIVO</b>					
Nitrógeno Total del alimento utilizado (%)	8,23	8,23	8,23	8,23	8,23
Cantidad de Nitrógeno Total Ingresas al centro de cultivo como alimento (t/año)	0,9926	1,2291	1,4749	1,8437	2,1071
Nitrógeno que contienen los peces (%)	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
Cantidad de Nitrógeno que sale de lago en la producción de peces (t/año)	0,2733	0,3384	0,4061	0,5076	0,5801
Cantidad de Nitrógeno que ingresa al Lago (t/año)	0,7193	0,8907	1,0688	1,3361	1,5269
Nitrógeno liberado en forma de desecho soluble (que se integra a la masa de agua)(%)	80	80	80	80	80
Nitrógeno que ingresa a los sedimentos como desecho solido (%)	20	20	20	20	20
Cantidad de Nitrógeno que se integra a los sedimentos (t/año)	0,5754	0,7126	0,8551	1,0688	1,2215
Cantidad de Nitrógeno soluble en el agua (t/año)	0,1439	0,1781	0,2138	0,2672	0,3054

**Tabla 56.-** Simulación de requerimientos alimenticios, producción de desechos y nutrientes(N y P) en relación con diferentes niveles de producción en el lago.

Nivel de Producción	1 t/74,3 Há	1 t/60 Há	1 t/50 Há	1 t/40 Há
Peces Producidos	12,0054	14,8667	17,8400	22,3000
Alimento requerido(t)	13,2059	16,3533	19,6240	24,5300
Desechos producidos(t)	1,2005	1,4867	1,7840	2,2300
Fósforo que ingresa al lago(t)	0,1447	0,1792	0,2150	0,2687
Nitrógeno que ingresa al lago(t)	0,7193	0,8907	1,0688	1,3361

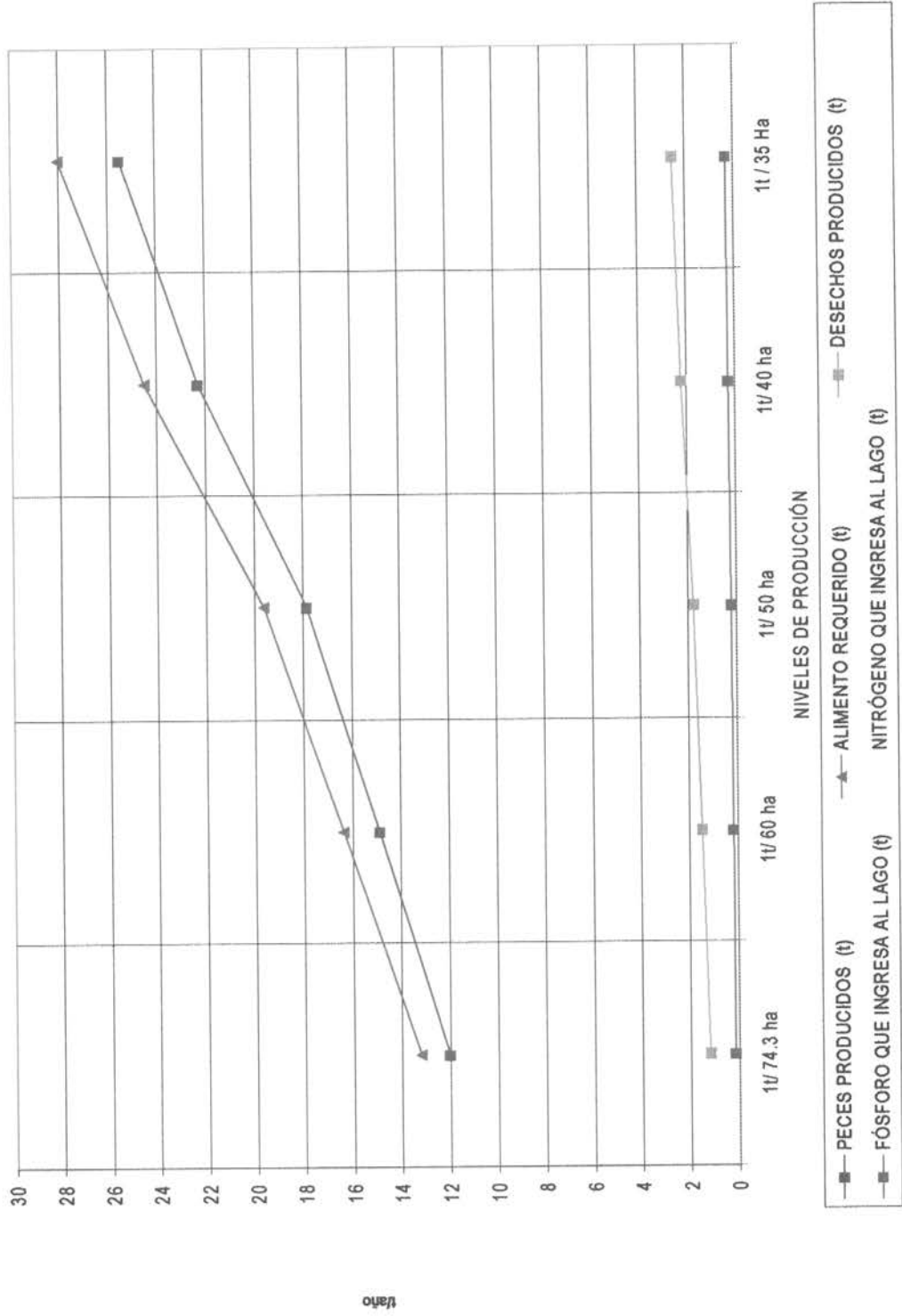
Nivel de Producción	1 t/35 Há	1 t/25 Há	1 t/15 Há	1 t/10 Há
Peces Producidos	25,4857	35,6800	59,4667	89,2000
Alimento requerido(t)	28,0343	39,2480	65,4133	98,1200
Desechos producidos(t)	2,5486	3,5680	5,9467	8,9200
Fósforo que ingresa al lago(t)	0,3071	0,4300	0,7166	1,0749
Nitrógeno que ingresa al lago(t)	1,5269	2,1377	3,5628	5,3442

**Tabla 57.-** Contribución porcentual (teórica) de los aportes de la piscicultura a la carga total de nutrientes (P y N) según los diferentes niveles de producción, en el lago.

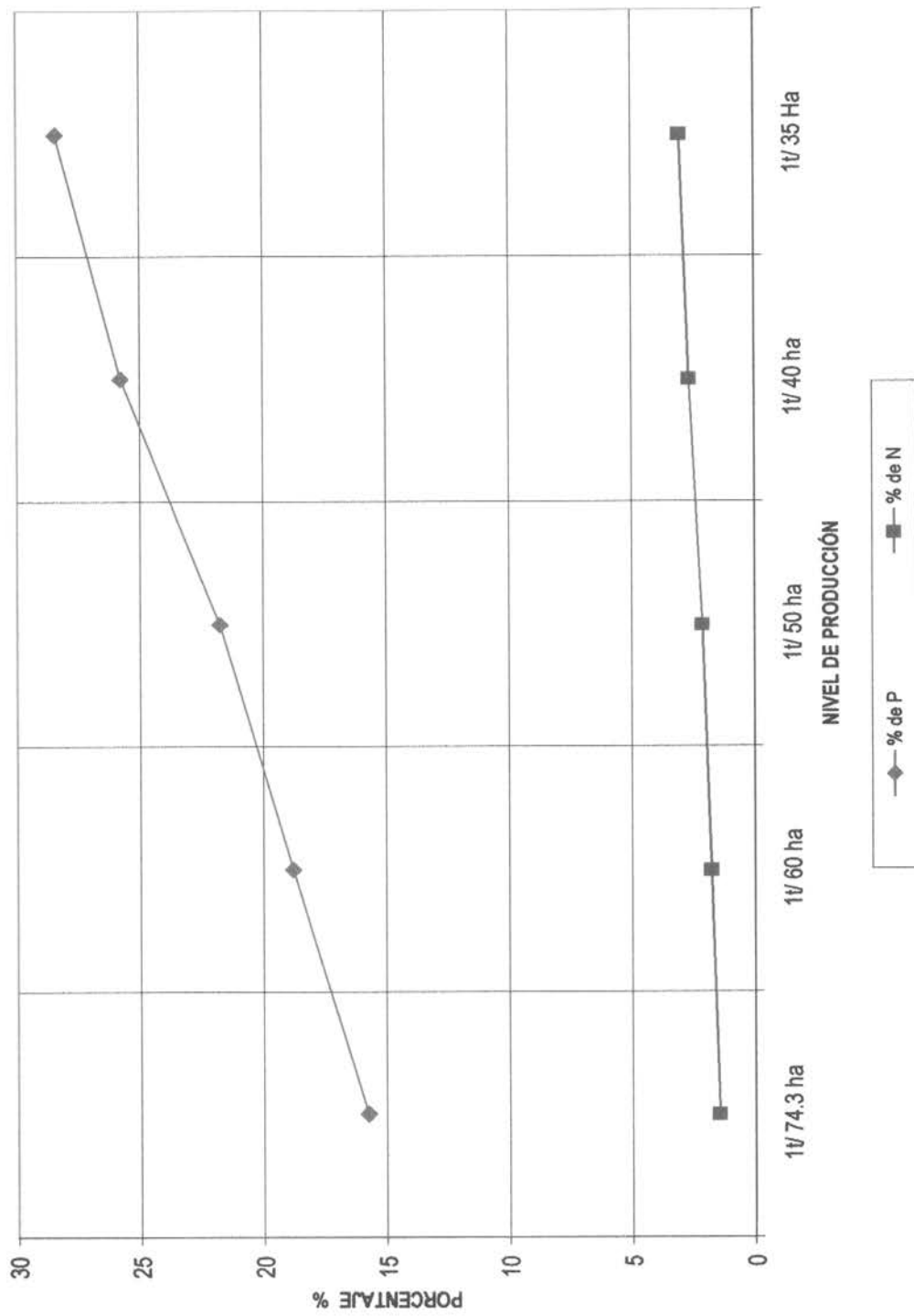
Nivel de producción	1 t/74,3 Há	1 t/60 Há	1 t/50 Há	1 t/40 Há	1 t/35 Há
% de Fósforo	1,44	1,78	2,13	2,65	3,01
% de Nitrógeno	15,75	18,80	21,75	25,78	28,42



FIGURA N° 16.- Simulación de requerimientos alimenticio



**FIGURA N° 17.-** Contribución porcentual de los aportes de la piscicultura a la carga total de nutrientes, según diferentes niveles de producción en el Lago Sofía



## CAPITULO Nº 14

### SELECCION DE AREAS APROPIADAS PARA ESTABLECER CENTROS DE CULTIVO

La selección de los sitios adecuados para desarrollar actividades de cultivo de smolts de peces salmónidos en el lago Sofía se basó en los siguientes criterios:

- Batimetría o disponibilidad de áreas con profundidades adecuadas para la instalación de balsas.
- Características sedimentológicas del lago.
- Distribución espacial del contenido de N y P total en los sedimentos (muestreo intensivo, julio, 2000).
- Caracterización de la columna de agua del Lago Sofía bajo condiciones estivales e invernales.
- Variación batimétrica.
- Aspectos fisiográficos tales como zonas de resguardo al régimen de vientos predominantes.
- Correntometría.
- Existencia de vías de acceso y servicios básicos.
- Variaciones en el nivel del lago Sofía: carga hidráulica y tiempo de residencia.
- Dinámica espacial y temporal de las principales variables ambientales consideradas para determinación de trofia en lagos.

#### BATIMETRIA

De acuerdo a la distribución espacial de fondos aptos para el emplazamiento de balsas jaulas para el cultivo de smolts que, según lo expresado por la empresa Acuimag S.A. son aquellos con una profundidad fluctuante entre 10 y 15 m de profundidad, en el Lago Sofía existiría aproximadamente una superficie apta de 1,74 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 20% del área total del lago (Fig.18) (Tabla 58). La imagen tridimensional de los perfiles batimétricos se muestran en la Fig. 19.

En ambos extremos del lago (sector oeste y este) existen áreas con profundidades adecuadas para el emplazamiento de balsas (10 a 15 m de profundidad), sin embargo los vientos predominantes del nor-este o suroeste producen fuerte oleaje en el eje longitudinal que corre entre la desembocadura del río Rivas y río Sofía. El impacto de la energía eólica se ve acrecentado por la constricción formada por una intrusión rocosa al este de la St 2 y la pared conformada por las laderas del Cerro Mocho, que alcanza una altura de 1,380 m, en el punto más alto.

## SEDIMENTOLOGIA

De acuerdo a la distribución espacial de sedimentos, los sectores con profundidades compatibles con el cultivo de smolts en el Lago Sofía presentarían predominancia de fondos blandos arenosos y limos (Fig.20). En general, en el lago se observa una amplia gama de substratos sedimentarios fluctuando desde limos-arcillas a bloques de gran tamaño (Tabla 59). Los únicos sectores con presencia de fondos duros o rocosos son aquellos correspondientes a las islas ubicadas en el extremo oeste y en los alrededores del sector correspondiente a la St 2. En el sitio en el que se encuentra emplazado actualmente el centro de cultivo de la empresa Acuimag presenta principalmente una mezcla de arenas y gravas (sector entre 5 y 10 m de profundidad) y arenas mezcladas con limo (entre 10 y 15 m de profundidad). La zona central de lago que se caracteriza por profundidades superiores a 20 m se caracteriza por la existencia de limo, el que se observa de acuerdo al color (tono pardo claro), bastante oxidado.

## FISIOGRAFIA

El único sitio que durante el estudio se observó con ausencia de impacto eólico directo (sin formación de oleaje del tipo marejadilla), está representado por el sector en el que se encuentra emplazado actualmente la concesión acuícola de la empresa Acuimag S.A. De acuerdo a fotografías tomadas en el lago desde zonas altas (Fig. 3), a la opinión de los trabajadores de la empresa y de acuerdo a la experiencia adquirida por el equipo de investigadores de la UMAG, el único sitio que podría ser utilizado para fines de acuicultura es el que ya se encuentra entregado en concesión a la empresa Acuimag S.A.

También se podría recomendar un pequeño sector que se encuentra a resguardo de los vientos por detrás de la puntilla rocosa señalada en la Fig.21. Sin embargo, el sitio es muy pequeño, existe un bajo porcentaje de sectores con profundidades entre 10 y 15 m, además de que el área aledaña a la desembocadura del río Rivas es utilizada preferentemente para realizar actividades de esparcimiento y/o turísticas por parte de la población de Puerto Natales, por lo cual podría ocasionar problemas o conflictos por distintos usos de un mismo recurso. En este sentido, el planteamiento que a continuación se propone intenta compatibilizar el desarrollo de dos actividades económicas importantes para la XII Región como son el turismo y la acuicultura.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se desea proponer como medida precautoria se mantenga solamente un centro de cultivo al interior del lago. Sin embargo, es importante destacar que de acuerdo a los resultados obtenidos al evaluar las tasas de enriquecimiento y de recuperación de los fondos del lago, sería necesario aumentar el actual tamaño de la concesión y mantener el número de balsas jaulas con las mismas características actuales de densidad de peces y tamaño de balsas. El aumento del tamaño del área de concesión

está orientado principalmente a generar un mayor espacio para efectuar rotación de áreas de modo que los fondos no alcancen un grado de enriquecimiento que afecte la biodiversidad de la macrofauna bentónica y cambios en las características normales de los sedimentos y columna de agua. De igual manera, el aumento en el tamaño de la concesión acuícola obedece a que el centro de cultivo pueda tener acceso a zonas de la columna de agua con mayor velocidad de las corrientes; en el sitio actual, tanto en primavera como en invierno, la magnitud de las corrientes no excede de  $1 \text{ cm seg}^{-1}$ .

Bajo estas premisas, la Fig. 21 muestra el área seleccionada para ser utilizada para fines de acuicultura. El área se extiende entre la isla y la puntilla rocosa, localizada en el lado sur; posee un área total de 120 hectáreas y de éstas un área de 52 hectáreas presenta profundidades adecuadas para instalar balsas (10 a 20 m). El área total que cubren las balsas es igual a 0,2 hectáreas, por lo cual existe la posibilidad de generar mayor disponibilidad de sitios para efectuar rotación de áreas, existiendo un total de 260 sitios para desarrollar programas de rotación.

## CORRENTOMETRIA

Con la finalidad de conocer la magnitud y la dirección de las corrientes superficiales (4 m de profundidad) existentes en el lago Sofía, durante diciembre de 1999 y en agosto del 2000 se realizaron mediciones durante 24 y 48 horas, respectivamente, con un correntómetro Sensordata de propiedad del Instituto de Fomento Pesquero, base Punta Arenas. En diciembre, a objeto de conocer la variabilidad de las corrientes en las distintas estaciones del lago, se procedió a anclar en cada estación al interior del lago un lapso de 1 hora, habiendo programado el equipo para registrar las características de las corrientes cada 10 minutos.

En agosto, conociendo previamente la tendencia de las corrientes, se decidió aumentar el tiempo de anclaje del correntómetro, y se determinó la correntometría solamente en la St.1B (centro de cultivo) y en la St. 6 (centro del lago), registrando la dirección y la magnitud de las corrientes cada 5 minutos.

La Fig. 22 muestra los patrones de circulación característicos en cada estación durante diciembre, con la magnitud y la dirección predominante en cada lugar. De este cuadro se desprende que el lago Sofía muestra un patrón de circulación inverso al esfuerzo del viento sobre la superficie del lago.

La Fig. 23 (a, b, c y d) muestra la variación de la velocidad y de la dirección de las corrientes registradas en dos estaciones del lago Sofía durante el mes de agosto, 2000. La velocidad de las corrientes en la St 1 (centro de cultivo) mostraron una gran uniformidad, fluctuando en torno a un valor promedio de  $1 \text{ cm/s}$  aumentando cerca del mediodía hasta  $1,5$  y  $2 \text{ cm seg}^{-1}$ . En general, en este sector durante el período analizado, las corrientes

presentaron una dirección predominante sur-oeste después de las 10 AM, en cambio en la mañana muestran una tendencia a tener una dirección nor-noreste (Fig.23 a-b).

En el centro del lago (St 6) se observó que después de las 1 PM, la velocidad de la zona superior de la columna de agua del lago presenta velocidades que fluctuaron entre 2 y 7 cm/s, iniciando un período de relajamiento de las corrientes en el lapso que va entre las 2 y 11 AM, donde se registraron velocidades relativamente homogéneas en torno a 1 a 2 cm seg<sup>-1</sup>. La dirección de las corrientes en el centro del lago durante el período de fuerte actividad eólica tienen una dirección predominantemente norte, mientras que en la mañana, en casi ausencia de vientos, la dirección de las corrientes cambia hacia el sur (Fig.23 c-d).

Ambas campañas dirigidas a caracterizar la dinámica de las corrientes del lago Sofía muestran una estrecha relación entre el estrés producido por el viento sobre la superficie del lago y la velocidad y dirección de las corrientes. Por esta razón, se puede concluir que es un sistema altamente dinámico.

De igual manera, se puede señalar que gran parte del tiempo, bajo condiciones de primavera como en condiciones de invierno (Figs. 21 y 22), las aguas superficiales del lago tienden a trasladarse hacia la zona en que se encuentra emplazado el centro de cultivo. Esta misma situación podría explicar la lenta tasa de renovación que se estimó para el lago en el presente estudio (alrededor de 5 años), ya que al aumentar la fuerza del viento en las tardes produce un retorno de las capas superficiales de la columna de agua hacia el centro de éste.

## SERVICIOS BASICOS

La selección de sitios apropiados para el emplazamiento de balsas de cultivo de salmónidos depende, en gran medida, de la disponibilidad de buena calidad de agua y en segundo lugar de las características de la batimetría y topográficas y sedimentarias del fondo. De igual manera, la existencia de sitios abrigados o protegidos a las inclemencias climáticas, en particular en la XII Región que se caracteriza por la predominancia de vientos de gran intensidad. Esta última situación permite mantener los sitios de emplazamiento de balsas a resguardo durante condiciones climáticas adversas. Por último es importante describir la existencia de determinadas facilidades de servicios básicos tales como vías de acceso, puertos de abrigo, proximidad a centros urbanos y servicios básicos tales como agua potable, luz, gas, etc.

A través de observaciones de terreno se pudo detectar que la zona en que se encuentra emplazado actualmente el centro de cultivo posee una ruta de acceso a través del camino que comunica a Puerto Natales con la Cueva El Milodon; el acceso es de tierra pero se encuentra en buen estado, estando considerado su pavimentación dentro del quinquenio 2000-2005, ya que representa la nueva ruta de acceso al Parque Nacional

Torres del Paine. De igual manera, el lago Sofía posee otra ruta de acceso a través del actual camino que comunica el Parque con Puerto Natales, que permite alcanzar la desembocadura del río Rivas. A partir de este lugar se puede bordear todo el sector sur a través de un camino en mal estado actualmente, pero que en la Fig.2 tomada del SIGREL se muestra en las mismas condiciones que las vías ya señaladas. En la zona en que se localiza el Centro de Cultivo no existe ningún tipo de servicio básico tal como luz, agua potable, gas, teléfono. Las aguas servidas son descargadas a fosos sépticos. La comunicación se efectúa por radio y/o celular.

Existen al menos tres sitios en que se pueden descargar o introducir botes al lago: el principal y mejor equipado para hacerlo es el localizado en el centro de cultivo de la empresa Acuimag S.A., en el que además existen dos pequeños muelles de madera que permiten el amarre y actividades de carga y descarga. Otro sitio apto para introducir embarcaciones se encuentra en un sitio arenoso en la desembocadura del río Rivas y el otro está representado por el sector en que se localiza el Chorrillo A, cuyos fondos arenosos y brucas pendientes permiten alcanzar la orilla con facilidad. No existe ningún otro tipo de facilidad alrededor del lago.

#### **VARIACIONES EN EL NIVEL DEL LAGO SOFIA: CARGA HIDRAULICA Y TIEMPO DE RESIDENCIA**

El análisis de las variaciones experimentadas por el nivel de lago Sofía demuestran que este sistema léntico, con excepción de los meses de verano y primavera tardía (diciembre), mantuvo casi constante el nivel. Al término de la primavera la nieve se derritió totalmente en la cima del cerro Mocho y la mayoría de los chorrillos dejaron de hacer aportes durante este período. Asociado a esta situación se incrementó significativamente la intensidad del viento y la temperatura, que en los alrededores del lago logró alcanzar hasta 18°C, lo que aumentó en forma evidente la tasa de evaporación. Esta situación implicó disminuir el nivel del lago en aproximadamente 50 cm, el que se restableció a partir de abril.

Durante condiciones invernales, los aportes también experimentaron alteraciones, por congelamiento de los cauces de los chorrillos, incluso el río Rivas experimentó esta fluctuación ya que presentaba una capa de hielo de aproximadamente 40 cm sobre la fase líquida del río (julio, 2000). Sin embargo, la ausencia de estos aportes no generó cambios en el nivel del lago, el que parece haber sido compensado por la ausencia de evaporación y un aumento de los aportes nivales y pluviométricos. Además, durante mayo y julio se observó la presencia de una inversión térmica sobre el lago que generó abundante nubosidad, lo cual parece haber limitado la evaporación.



Como una forma de establecer algún modelo que permita entregar antecedentes respecto de la dinámica de recambio o renovación de las masas de agua del lago Sofía, se procedió a calcular la carga hidráulica que recibe el cuerpo mensualmente y el tiempo de residencia hidráulico correspondiente.

La carga hidráulica ( $Q_s$ ) se calculó como la relación existente entre el caudal del efluente (río Sofía) durante cada mes ( $Q_m$ ;  $m^3 \text{ seg}^{-1}$ ) y el área del lago ( $A_o$ ,  $m^2$ ), manteniendo la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_m / A_o$$

El tiempo de residencia hidráulico ( $\tau_w$ ) o tiempo de llenado se calculó de acuerdo a la siguiente función matemática:

$$\tau_w = z / Q_s$$

donde,

$\tau_w$  = tiempo de residencia hidráulico.

$z$  = profundidad media (m); se utilizó el valor promedio obtenido a través de ecosonda y el obtenido a través del cociente entre Volumen/Área del lago.

$Q_s$  = carga hidráulica mensual (m/mes).

Los resultados se pueden ver en la tabla 60.

### **Dinámica espacial y temporal de las principales variables ambientales consideradas para determinación de trofia en lagos**

De acuerdo al documento sometido a discusión pública por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, denominado "anteproyecto de norma de calidad para la protección de las aguas continentales superficiales", el que se espera publicar en el Diario Oficial durante el año 2000, y que fuera aprobado con el Acuerdo N° 132 del 29 de octubre de 1999, se plantea que los principales parámetros ambientales para decidir el estado trófico de un cuerpo de agua superficial o léntico serían:

- Concentración de clorofila a
- BOD<sub>5</sub>

- Fósforo total
- Nitrógeno total
- Contenido de oxígeno disuelto
- pH
- Producción primaria
- Transparencia (disco secchi, m).

La Tabla 61 muestra los valores de determinados parámetros que debieran existir en las aguas de lagos con diferente grado de intervención humana o trofia, y en nuestro caso se ha adicionado la temperatura del agua del lago.

Debido a que en las seis campañas se analizaron 8 estaciones distribuidas en distintos sectores del lago, abarcando todas las condiciones climáticas y considerando que se detectaron condiciones bastante homogéneas entre estaciones, en el presente análisis solamente se utilizaron los datos promediados por mes para señalar la variabilidad temporal y las variaciones correspondientes a cada profundidad para el contenido de P y N total, oxígeno disuelto, pH y transparencia. A continuación se describen los resultados obtenidos para cada variable, con excepción de Producción Primaria.

### **Clorofila a**

Las muestras de Clorofila a solamente fueron determinadas para muestras de agua superficial en la St 6, En mayo y julio, 2000, se determinó en esta misma estación la concentración de clorofila a en el estrato intermedio (5 a 6 m) y en el estrato profundo (15 m) a objeto de analizar posibles nutriclinas en la columna de agua (ver Capítulo Fitoplancton Lago Sofía).

Los resultados (Fig.24) muestran que durante todo el lapso del estudio, la concentración de clorofila a activa fue mayor a  $0,05 \mu\text{g l}^{-1}$ , cifra considerada válida para catalogar un cuerpo léntico como ultraoligotrófico a oligotrófico.

También se evidencia un máximo primaveral durante noviembre ( $<2 \mu\text{g l}^{-1}$ ), para posteriormente disminuir a  $<0,5 \mu\text{g l}^{-1}$  en mayo, julio y agosto.

## DBO<sub>5</sub>

Los datos de DBO<sub>5</sub> se obtuvieron a partir de un análisis efectuado por la empresa Acuimag S.A. en el lago Sofía en forma independiente al presente estudio, formando parte de los antecedentes requeridos en la Declaración de Impacto Ambiental solicitada a la empresa por parte de CONAMA XII Región para ejecutar el proyecto "Producción de ovas y alevines de salmonideos" en el lago Sofía. El citado proyecto fue aprobado el 6 de julio, 2000 a través de la Resolución Exenta N° 41/2000. Las muestras fueron tomadas en dos sitios de la ribera del lago, el 26 de enero, 2000, y fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas de la empresa Hidrolab, Anexo III.

De acuerdo a los valores señalados en la Tabla 62, la zona cercana al sitio en que se emplazan las balsas debiera ser considerada ultraoligotrófica para esta variable.

## Fósforo total

El valor promedio del fósforo total en la columna de agua del lago Sofía fluctuó durante el estudio entre 12 y 40  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 25) según la profundidad, pudiendo ser catalogado como oligomesotrófico a mesoeutrófico. Lo más interesante de esta figura es que el ciclo de abundancia no coincide con el ciclo de producción de salmónidos en el lago, el cual se incrementó significativamente durante el período de mayo a agosto. La figura 26 muestra la variación dinámica espacial a nivel superficial, de este nutriente en el Lago Sofía

## Nitrógeno total

No se observaron variaciones significativas a distintas profundidades, manteniendo el mismo ciclo de variación durante el estudio. Los valores muestran dos tendencias; una, durante el lapso de septiembre a enero mostró valores que fluctuaron entre 900 y 1500  $\mu\text{g l}^{-1}$ , mientras que entre mayo y agosto se duplicaron, fluctuando entre 2000 y 3400  $\mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 27). La fig. 28 muestra la dinámica espacial a nivel superficial, de este nutriente en el Lago Sofía.

De acuerdo a esta variable, el lago Sofía debiera ser clasificado como mesoeutrófico.

## Contenido de Oxígeno Disuelto

No se observan variaciones significativas a distintas profundidades y se mantiene el mismo ciclo de variación durante el estudio. Las tendencias indican que en los meses de verano aumenta el contenido de Oxígeno a valores alrededor de 10 mg/l para disminuir bruscamente en los meses de invierno hasta valores de 6 mg/l (Fig. 25). En la Fig. 30 se muestra la dinámica espacial a 0 m, de este nutriente en el Lago Sofía, aquí se

puede apreciar que en verano las mayores concentraciones de oxígeno se concentra en el centro del Lago en cambio en invierno en el centro del Lago se aprecian las menores concentraciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta variable se puede decir que el lago Sofía se comporta como un lago oligotrófico.

### **pH**

Aquí tampoco se observan variaciones significativas a diferentes profundidades, y la tendencia es mantenerse constante en los meses de verano, rango entre 8,1 y 8,4 y tiende a disminuir en julio para 0 m, para nuevamente elevarse su valor a alrededor de 8,4 en agosto (Fig. 31). En la Fig. 32 se muestra la dinámica espacial a 0 m, del pH.

### **Transparencia**

Se observaron variaciones significativas durante el estudio (Fig. 33). Las tendencias indican que durante los meses estivales la transparencia llega a sus valores máximos (9,11 m), mientras que en periodos invernales decae (5,42 m).

De acuerdo con esta variable, el lago Sofía debiera ser considerado un lago mesoeutrófico.

**Tabla 58.-** Distribución batimétrica por rango de profundidad, cobertura espacial abarcada y su contribución porcentual en el lago Sofía, XII Región, Chile.

Rango Profundidad (m)	Area abarcada (m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
0-5	548.551	6,24
5-10	1.124.238	12,80
10-15	1.740.630	19,81
15-20	1.088.379	12,39
20-25	984.677	11,21
25-30	1.104.854	12,58
30-35	1.161.066	13,22
35-40	1.032.167	11,75
<b>TOTAL</b>	<b>8.784.562</b>	<b>100</b>

**Tabla 59.-** Composición granulométrica de los sedimentos del lago Sofía, y estimación de la cobertura espacial abarcada por cada tipo de partícula. Obtención de muestras realizadas en enero, 2000(Fig.14). Valores expresados según escala de Wenworth (1922).

Nomenclatura *	Tipo sedimento	Tamaño (mm)	Valor phi ( $\phi$ )	Area abarcada (m2)	Porcentaje
6	Limo mediano	0,031-0,016	6	1.843.362	21,06
7	Limo grueso	0,062-0,031	5	1.642.744	18,77
8	Arena muy fina	0,125-0,062	4	1.020.537	11,66
9	Arena fina	0,250-0,125	3	1.226.970	14,02
10	Arena mediana	0,500-0,250	2	1.177.542	13,46
11	Arena gruesa	1,000-0,500	1	588.287	6,72
12	Arena muy gruesa	2-1	0	429.343	4,91
13	Grava muy fina	4-2	-1	251.984	2,88
14	Grava fina	8-4	-2	102.732	1,17
15	Grava mediana	16-8	-3	69.780	0,80
16	Grava gruesa	32-16	-4	61.058	0,70
17	Grava muy gruesa	64-32	-5	59.119	0,68
18	Bolones pequeños	128-64	-6	73.657	0,84
19	Bolones grandes	256-128	-7	83.349	0,95
20	Bloques pequeños	512-256	-8	23.260	0,27
21	Bloques medianos	1024-512	-9	23.260	0,27
22	Bloques grandes	2048-1024	-10	38.767	0,44
23	Bloques muy grandes	4096-2048	-11	35.859	0,41
<b>TOTAL</b>				<b>8.751.610</b>	<b>100</b>

**Tabla 60.-** Determinación de la carga hidráulica del Lago Sofía, XII Región.

	SEP	NOV	ENE	MAY	JUL	AGO	Promedio	D.E.	Mínimo	Máximo
Caudal $m^3\text{seg}^{-1}$ (Qm)	1,80	1,42	0,85	0,41	0,24	0,71	0,90	0,59	0,24	1,80
Tiempo de residencia hidráulica ( $t_w$ )	42,45	53,60	89,68	184,85	314,21	106,18	131,83	102,58	42,45	314,21
Carga hidráulica m/mes (Qs)	0,38	0,19	0,19	0,22	0,19	0,18	0,22	0,07	0,18	0,38

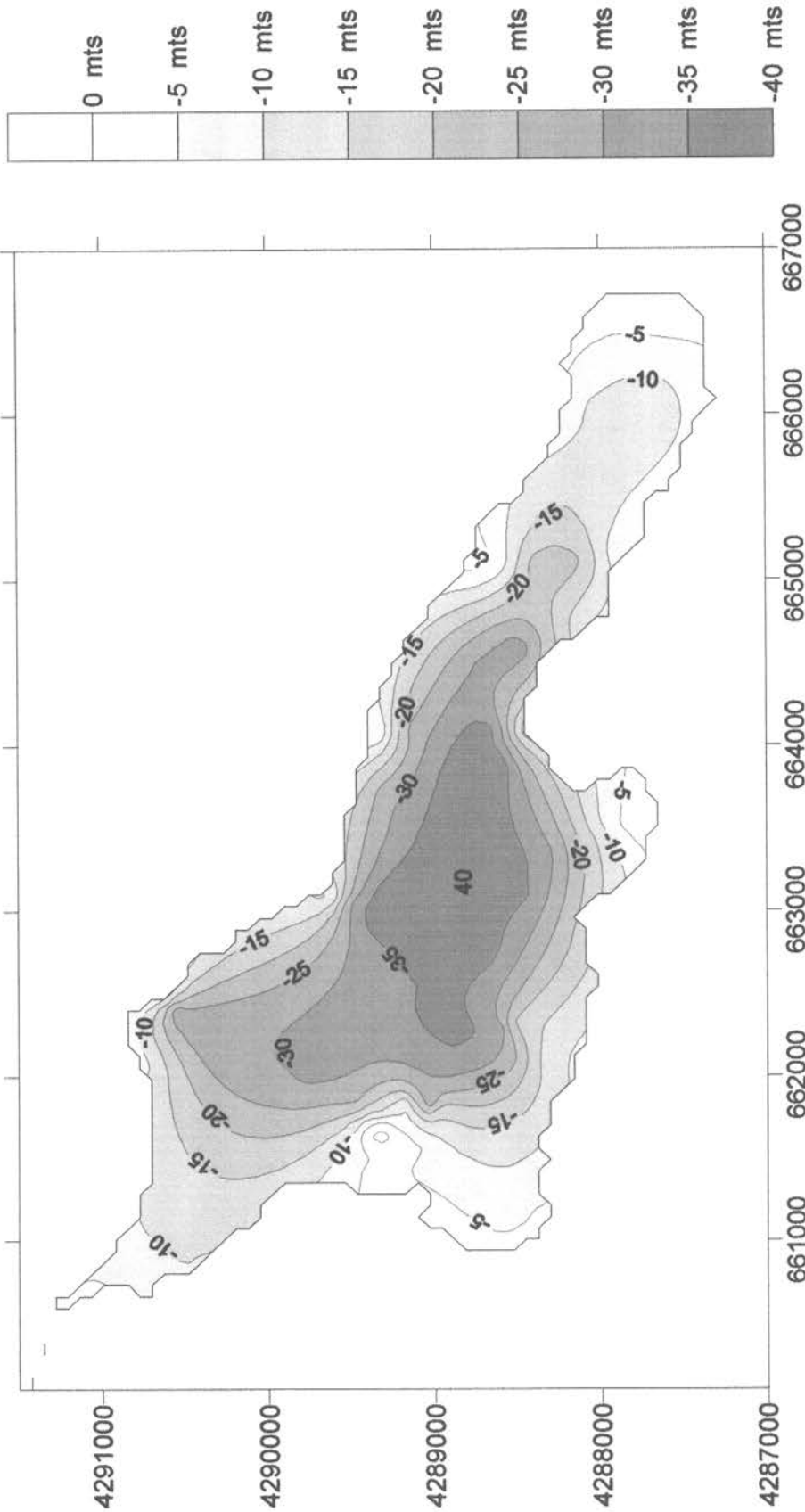
\* $A_0 = 8.922.228 \text{ m}^2$ ;  $z = 22,2 \text{ m}$ .

**Tabla 61.-** Variables y rangos de valores normados para clasificar la calidad ambiental de lagos (tomada de: Anteproyecto de norma de calidad para la protección de las aguas continentales superficiales de CONAMA).

VARIABLES	Unidad	ULTRAOLIGO TRÓFICO	OLIGO TRÓFICO	OLIGOMESO TRÓFICO	MESO EUTRÓFICO
1. Clorofila A	$\mu\text{g/l}$	<1	3	8	> 12
2. DBO <sub>5</sub>	$\text{mg/l}$	5	10	20	>20
3. Fósforo total	$\mu\text{g/l}$	5	10	20	>20
4. Nitrógeno Kjeldahl	$\mu\text{g/l}$	100	200	250	>400
5. Oxígeno Disuelto <sup>1</sup>	$\text{mg/l}$	7,5	5,5	5	<5
6. pH <sup>2</sup>	Unidad	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
7. Producción primaria	$\text{mg C/m}^2$	30	80	250	>250
8. Transparencia(disco Secchi) <sup>3</sup>	m	20	12	8	<8

**Tabla 62.-** Datos de DBO<sub>5</sub> de muestras de aguas superficiales someras del lago Sofía, XII Región, Chile. Muestras tomadas el 26 de enero, 2000, y analizadas por la empresa Hidrolab a solicitud de la empresa Acuimag S.A.

Sector	Latitud	Longitud	DBO <sub>5</sub> (mg l <sup>-1</sup> )
Captación 1, R1	51°31,76' S	72°40,88' O	< 2
Restitución 1, R1	51°31,81' S	72°40,88' O	< 2



**FIGURA N°18: Batimetría del Lago Sofia.**

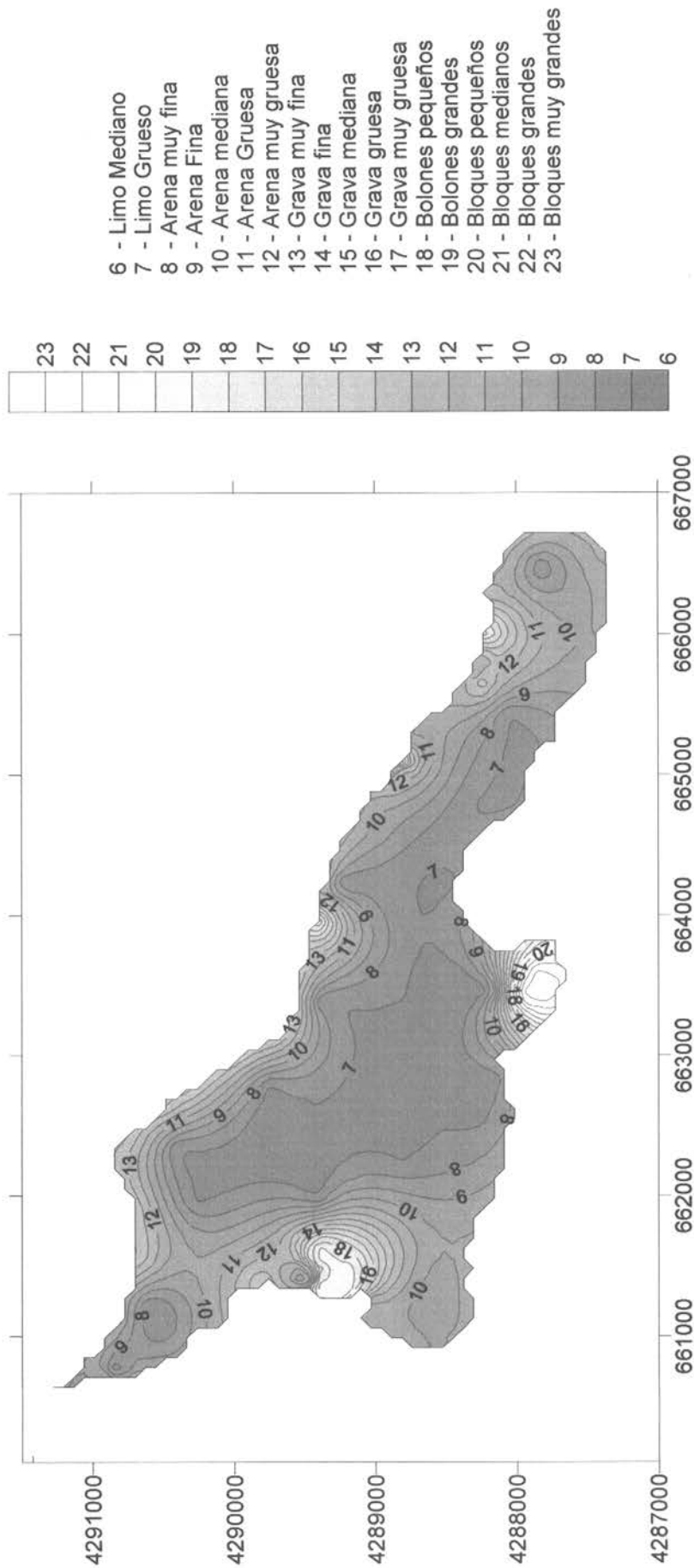
<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>	<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos





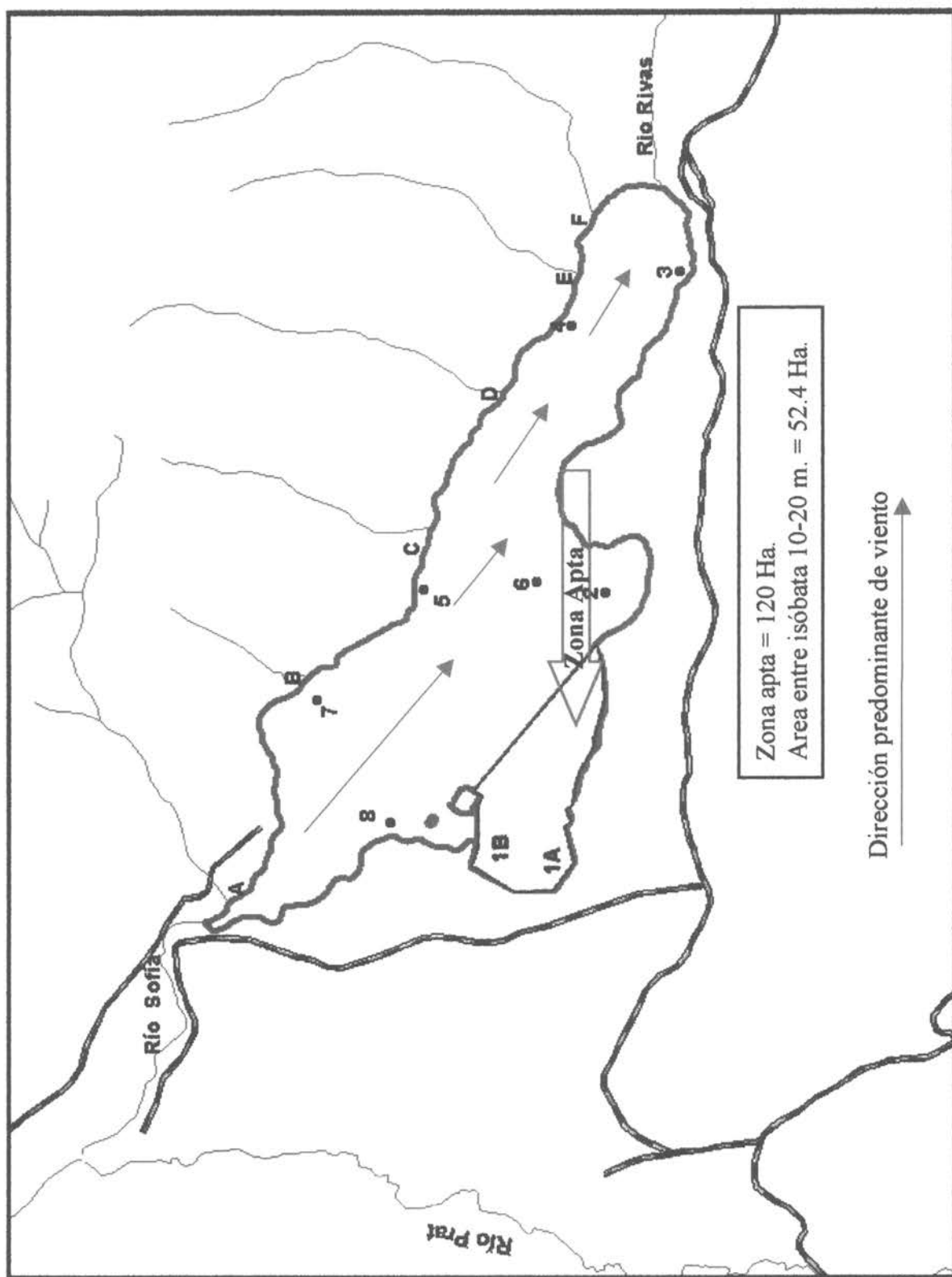
**FIGURA N°19: Batimetría Tridimensional del Lago Sofia.**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos
		Software Surfer 7.02	



**FIGURA N°20: Distribución de Sedimentos en el Lago Sofia.**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>		<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02
			Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



**FIGURA Nº 21 : Localización de Zonas Aptas para Acuicultura en el Lago Sofia**

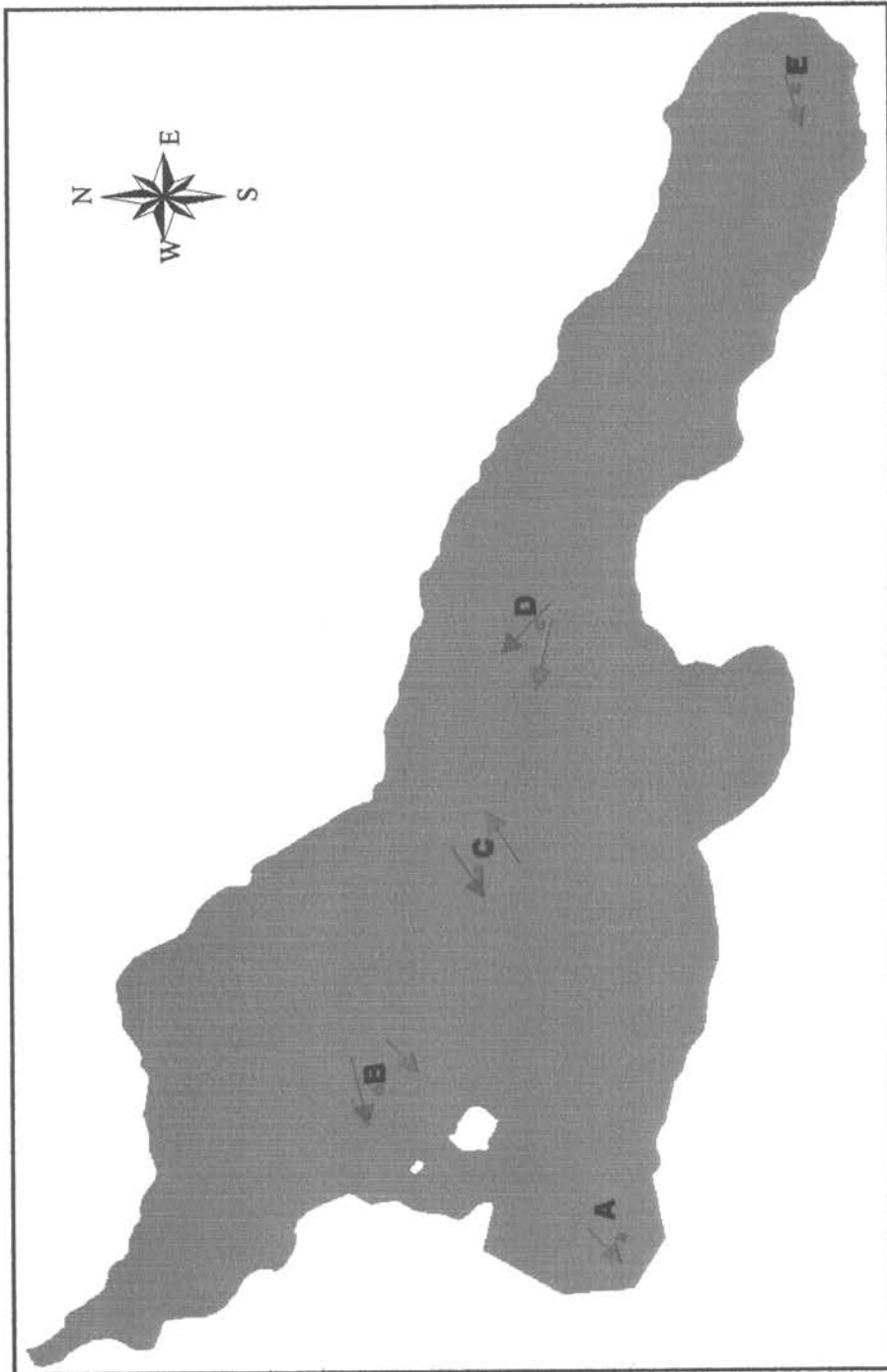
**UNIVERSIDAD DE  
MAGALLANES**

**ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26**

Septiembre 2000  
Escala: 1: 50.000

**JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE**

Gráfica: Centro de Estudio de los  
Recursos Energéticos



PROFUNDO		
ESTACIÓN	VELOCIDAD (cm/s)	DIRECCIÓN (°)
A	2.4	257.8
B	2.6	198.0
C	2.8	316.0
D		
E		

SOMERO		
ESTACIÓN	VELOCIDAD (cm/s)	DIRECCIÓN (°)
A	2.2	204.0
B	4.1	195.0
C	3.4	52.8
D	3.6	265.0
E	4.7	222.0

**FIGURA N°22 : Velocidad y Direcciones de las corrientes del Lago Sofía durante el 17 de Dic. de 1999**

**UNIVERSIDAD DE  
MAGALLANES**

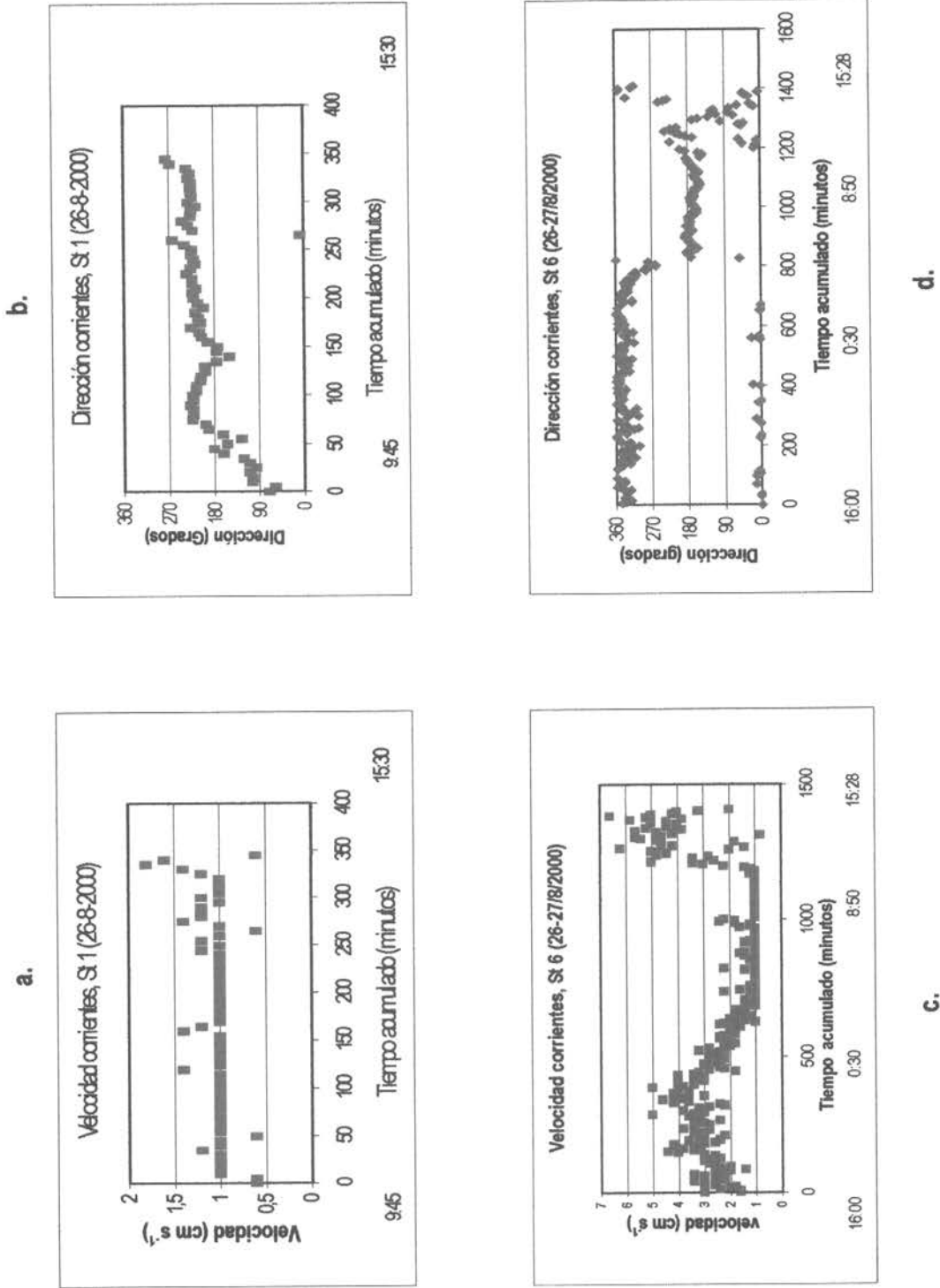
**ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26**

Septiembre 2000  
Escala: 1: 50.000

**JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE**

Gráfica: Centro de Estudio de los  
Recursos Energéticos

**FIGURA N° 23.- Correntometría en 2 estaciones lago Sofia (agosto, 2000)**



**FIGURA N° 24: Variación temporal Clorofila a total y activa  
Lago Sofia (St 6).**

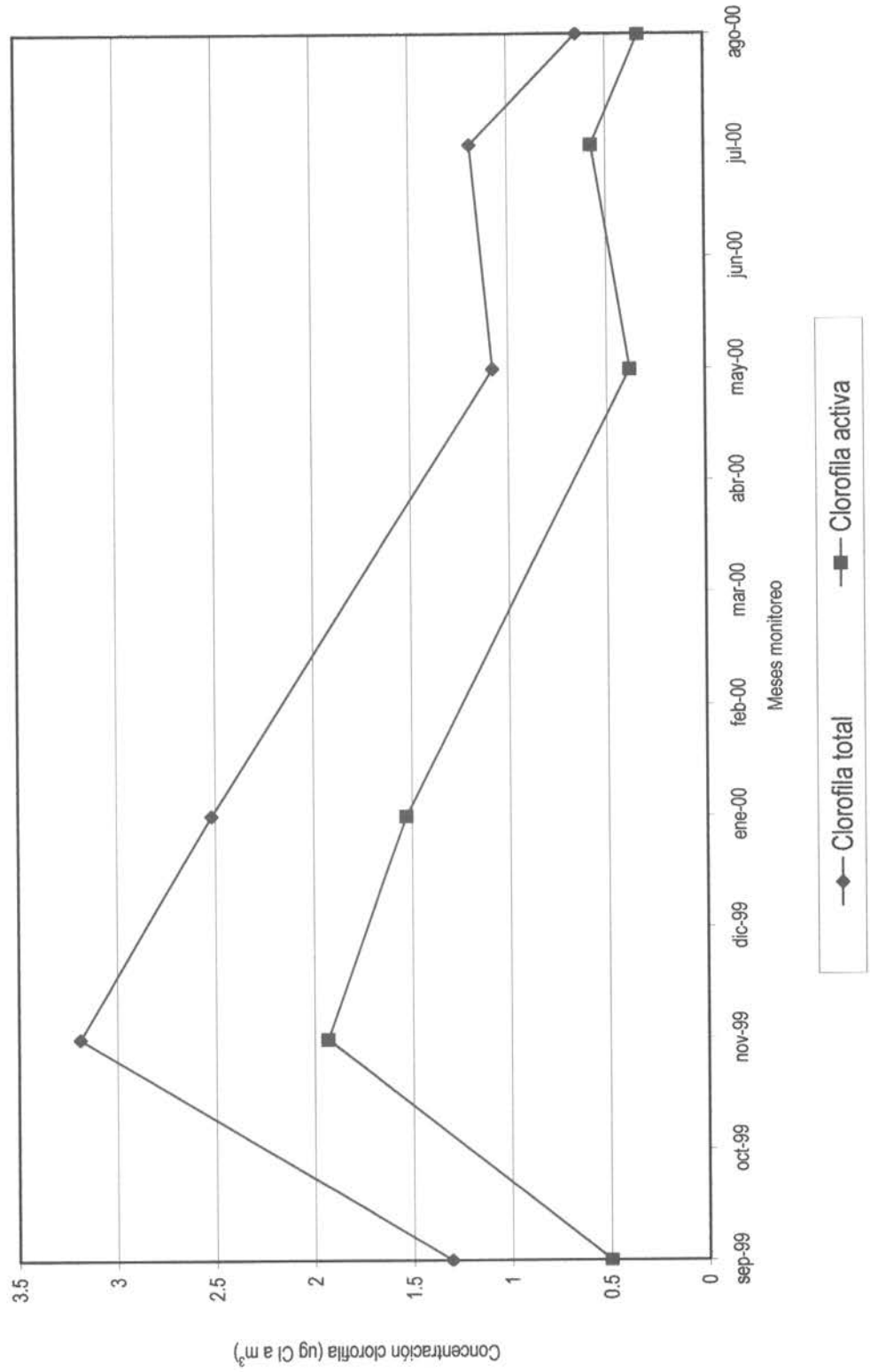
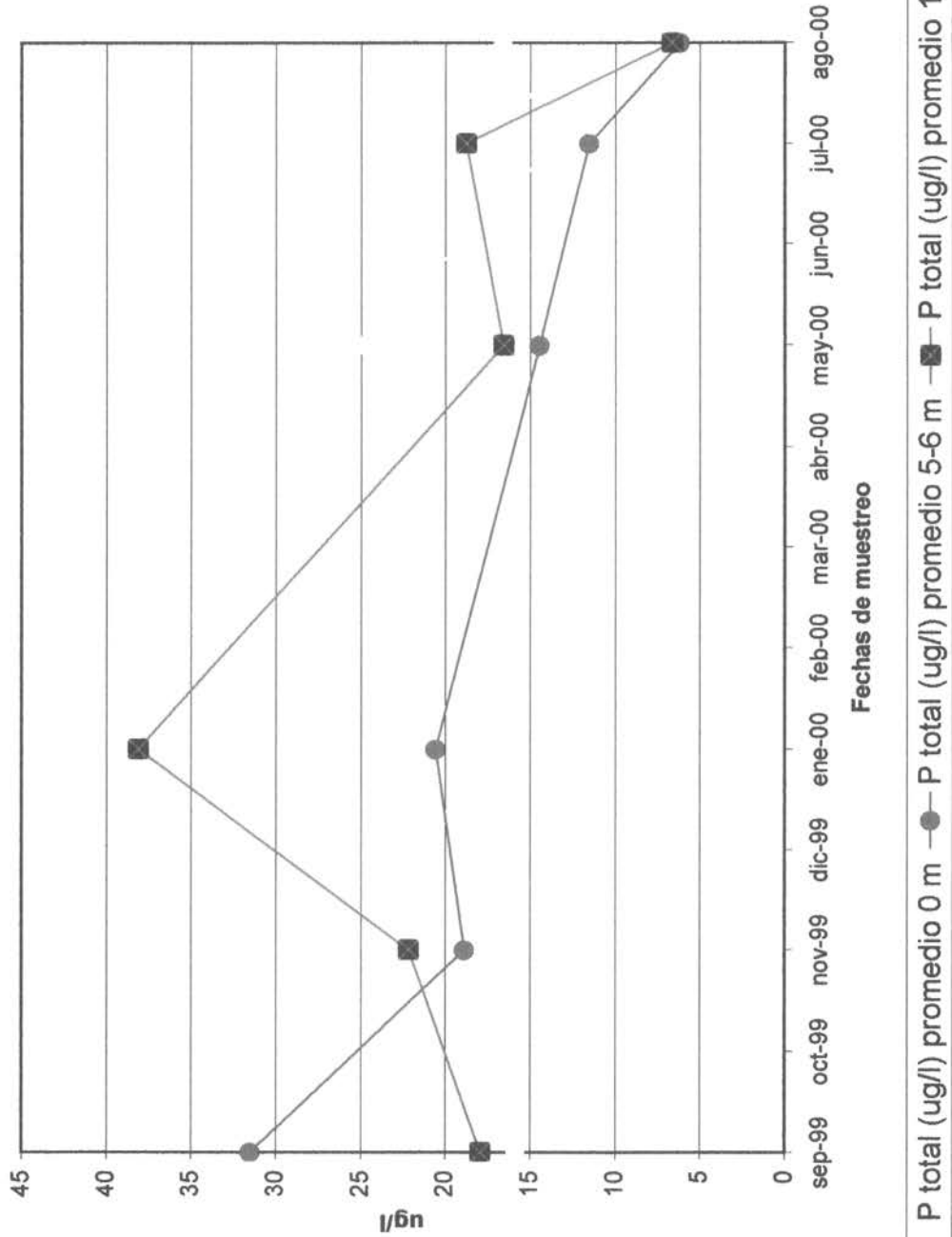


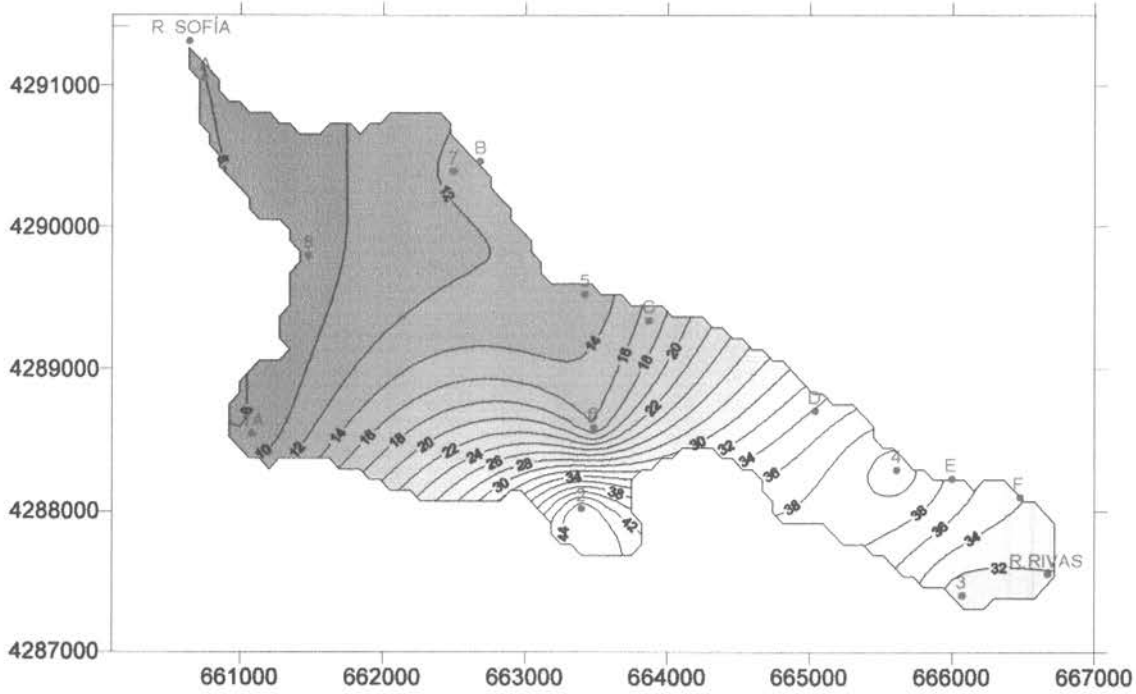
FIGURA N°25: Variación batimétrica y temporal de P total del agua, Lago Sofia.



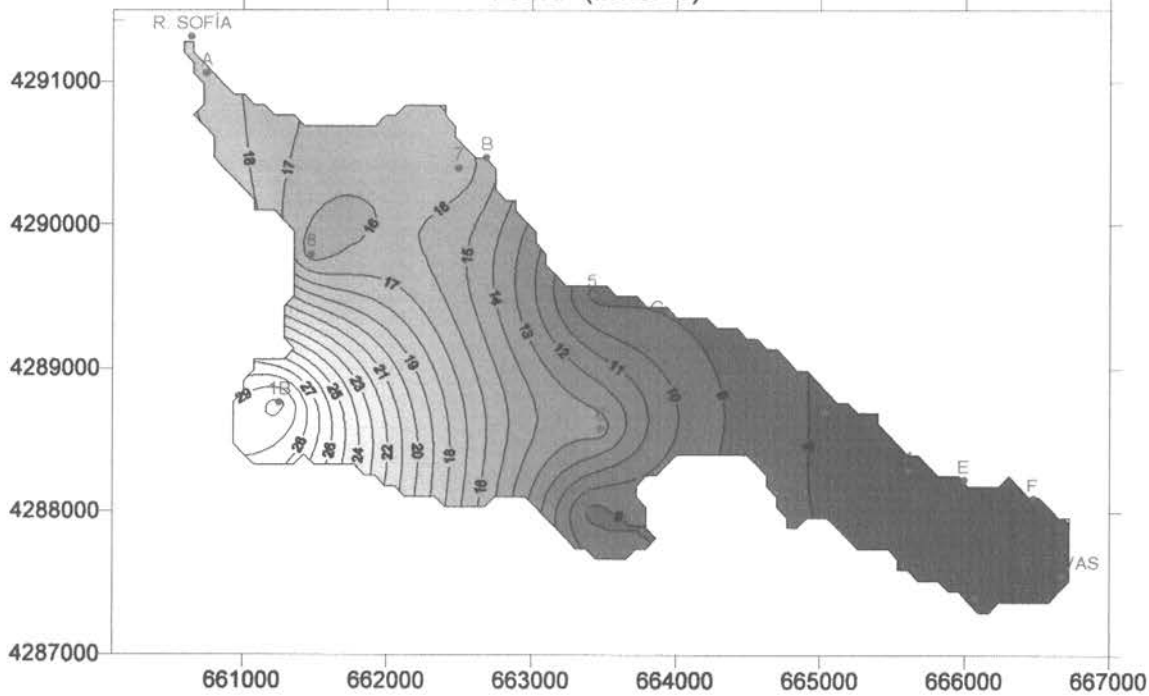
P total (ug/l) promedio 0 m —●— P total (ug/l) promedio 5-6 m —■—



ENERO (verano)



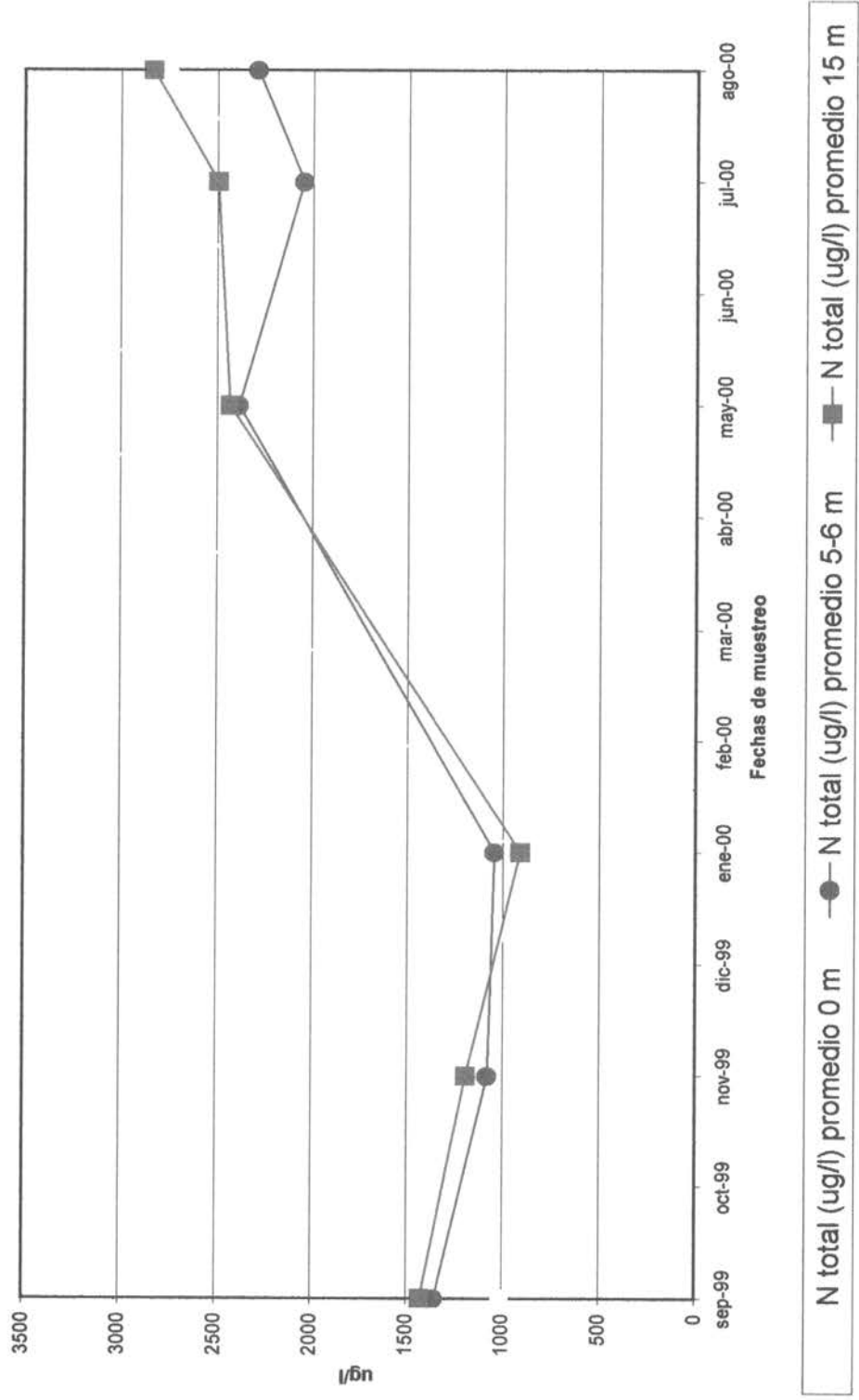
JULIO (Invierno)



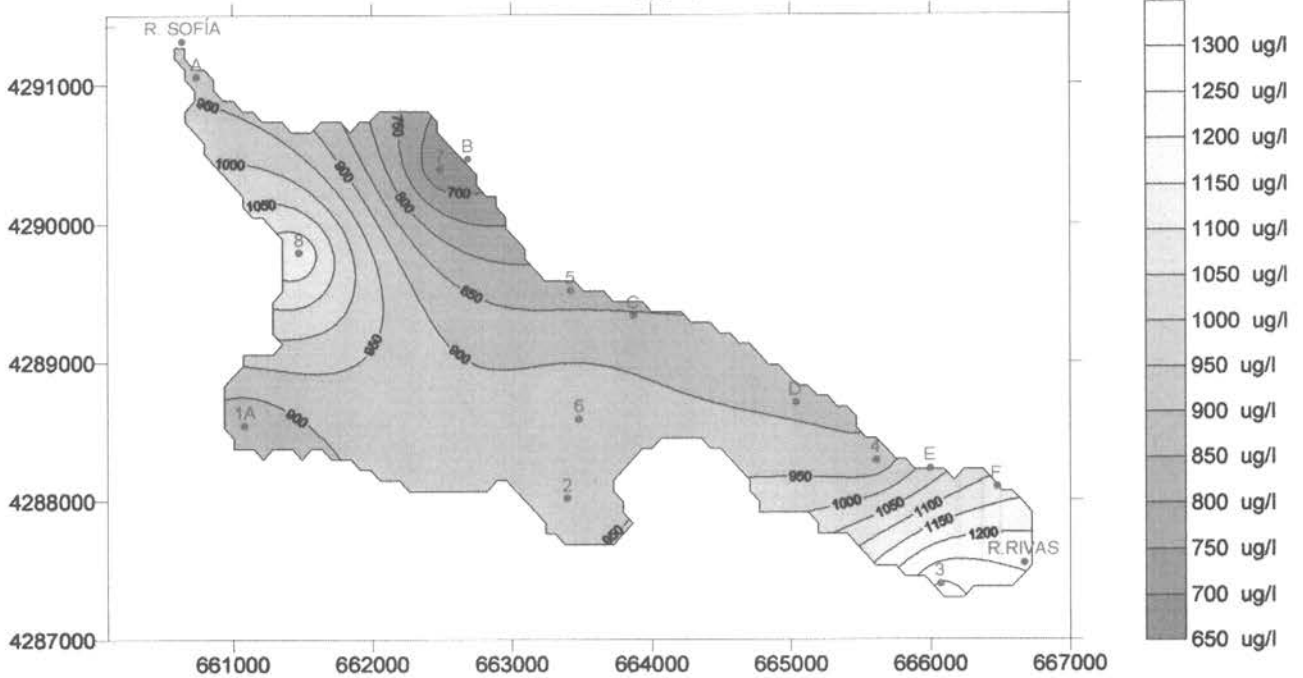
**FIGURA N°26: Distribución de Fósforo Total (Enero - Julio) en el Lago Sofía**

<b>UNIVERSIDAD DE MAGALLANES</b>	<b>ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26</b>			<b>JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE</b>
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

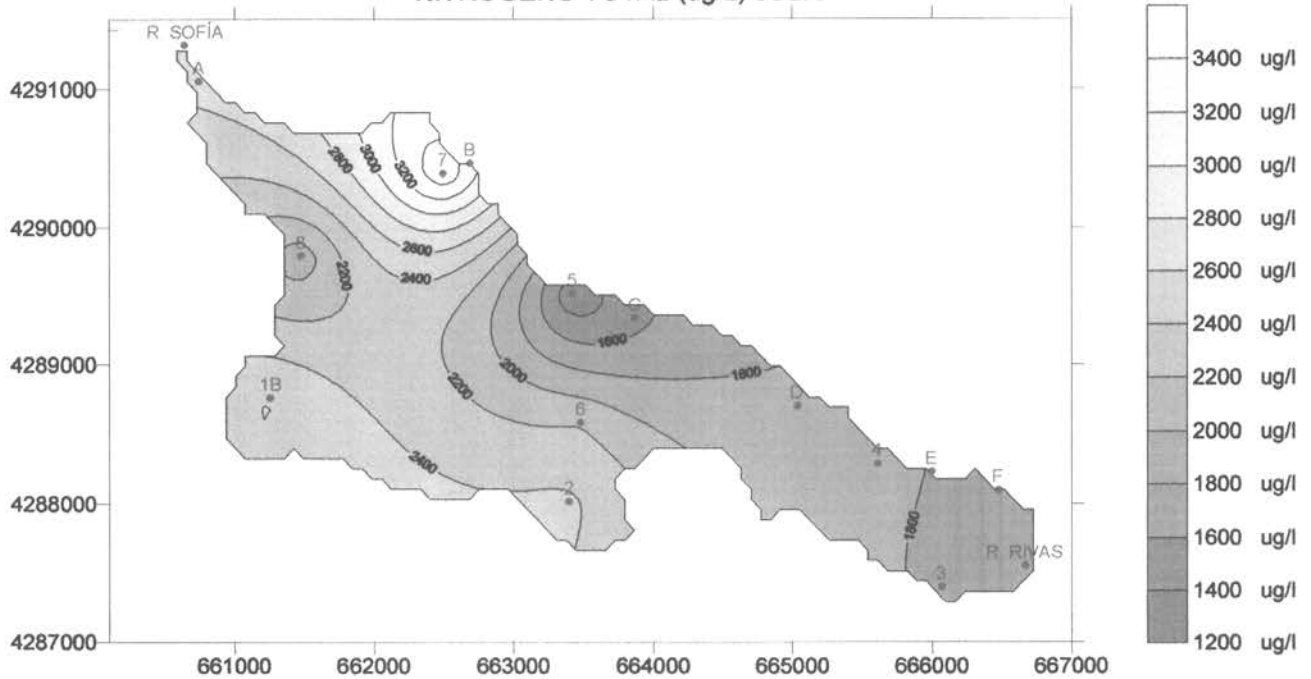
**FIGURA N°27: Variación batimétrica y temporal del N total (ug/l) del agua, Lago Sofia.**



NITRÓGENO TOTAL (ug/L) ENERO



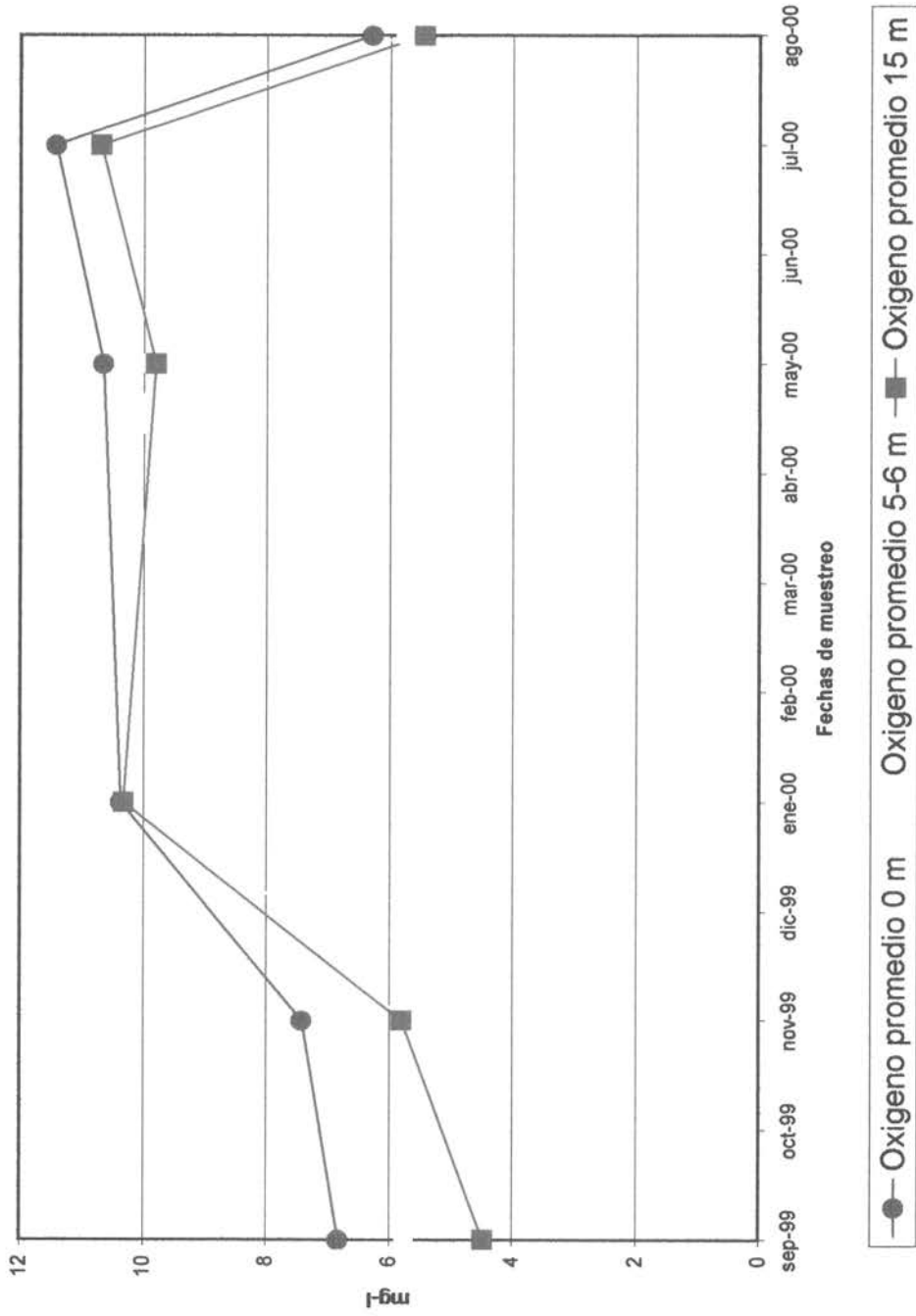
NITRÓGENO TOTAL (ug/L) JULIO



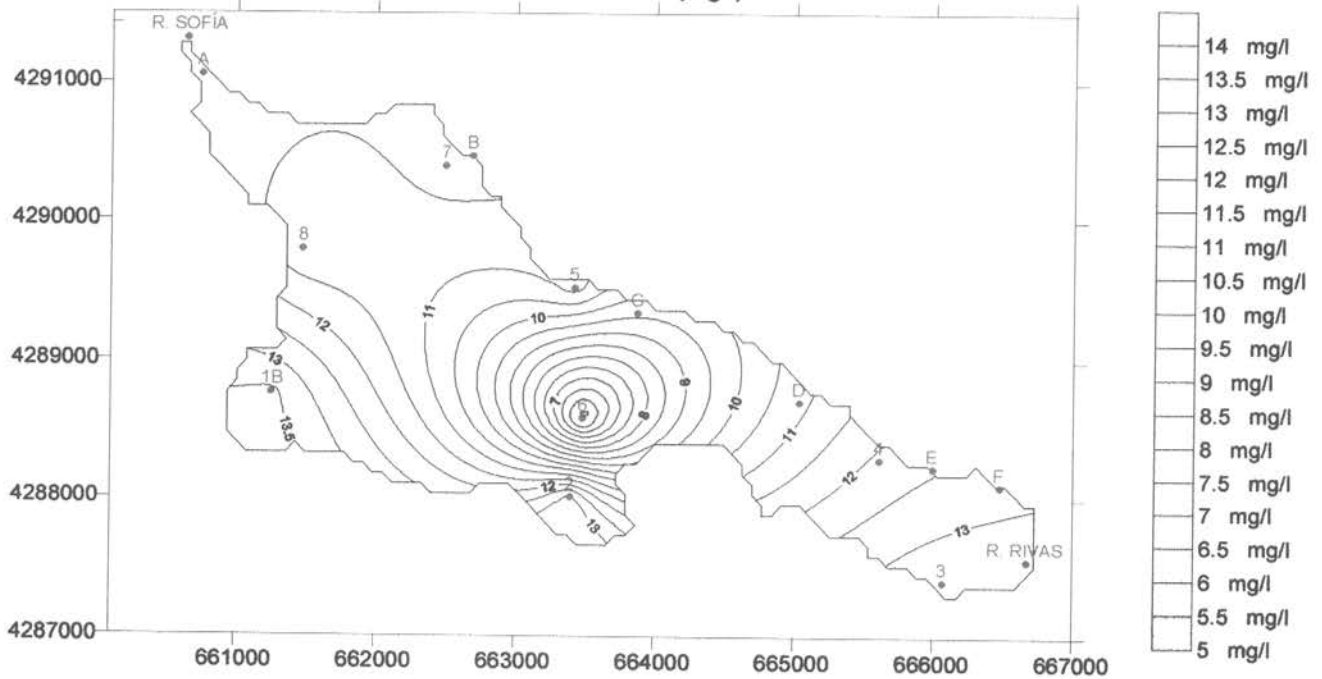
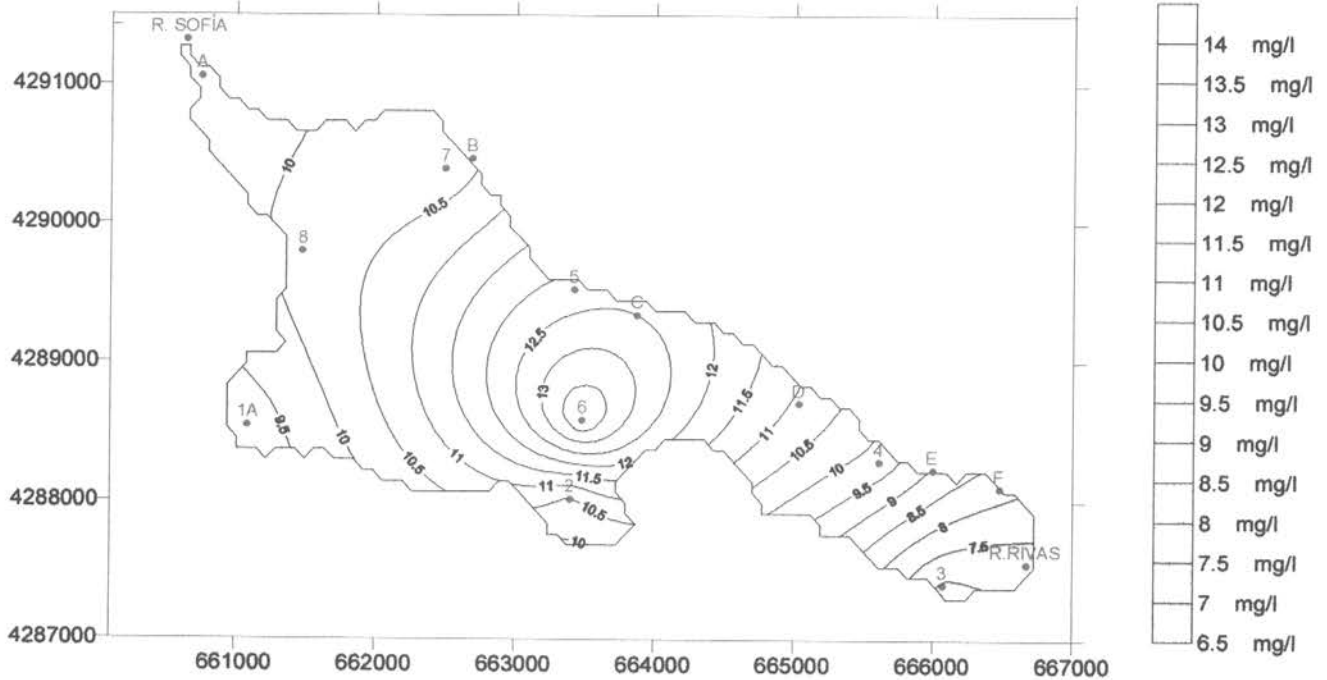
**FIGURA N°28: Distribución de Nitrógeno Total (Enero - Julio) en el Lago Sofía**

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26			JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

FIGURA N°29 : Variación batimétrica y temporal del Oxígeno del agua, Lago Sofia.



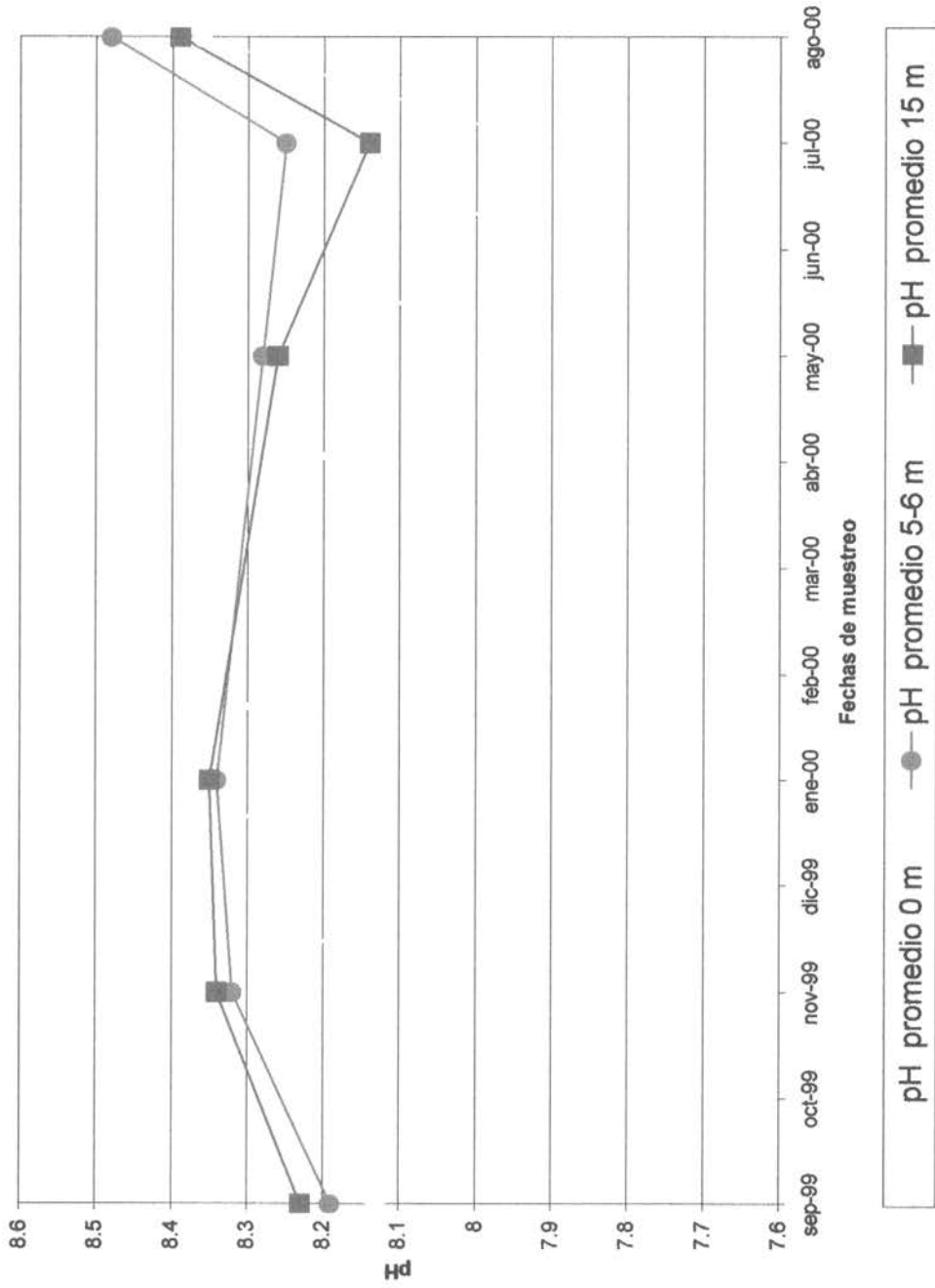
● Oxígeno promedio 0 m    ■ Oxígeno promedio 5-6 m    ▲ Oxígeno promedio 15 m



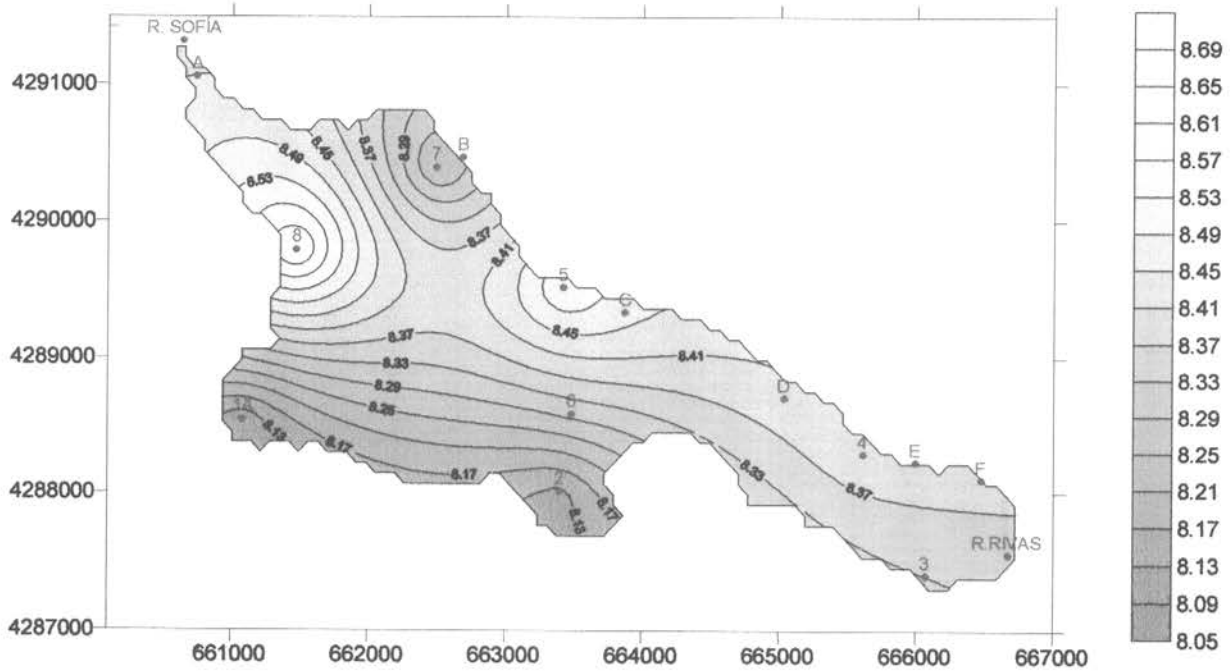
**FIGURA N°30: Distribución de Oxígeno Disuelto I (Enero - Julio) en el Lago Sofía**

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26			JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos

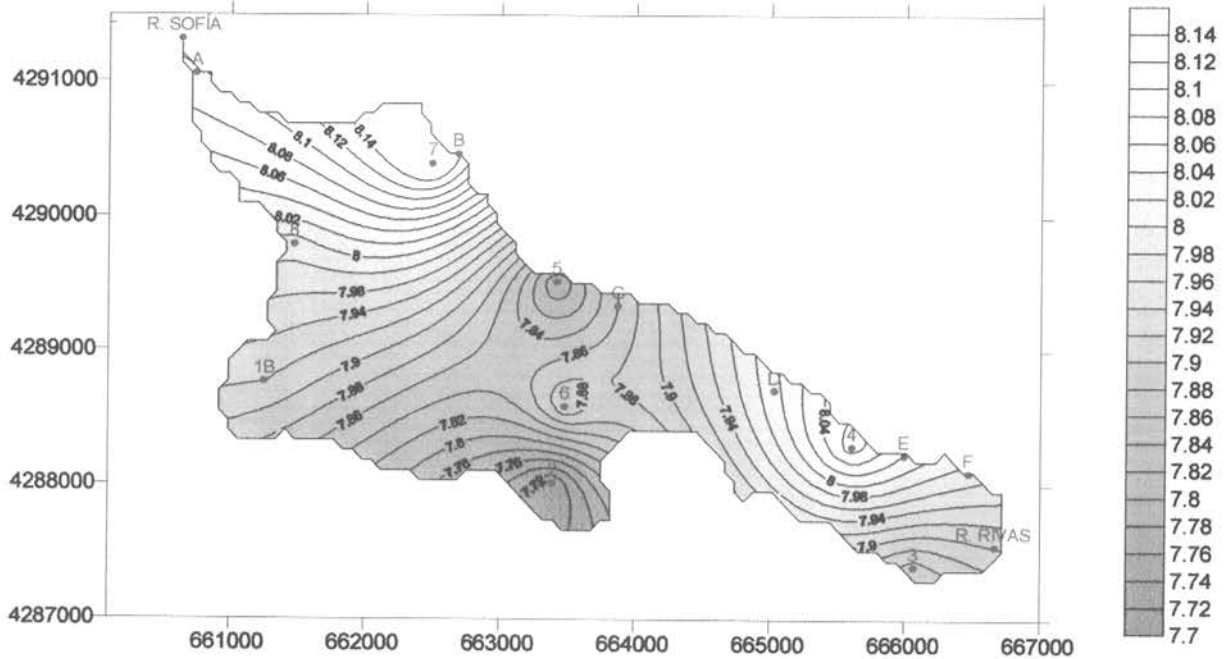
**FIGURA N°31: Variación batimétrica y temporal del pH del agua, Lago Sofia.**



PH ENERO



PH JULIO

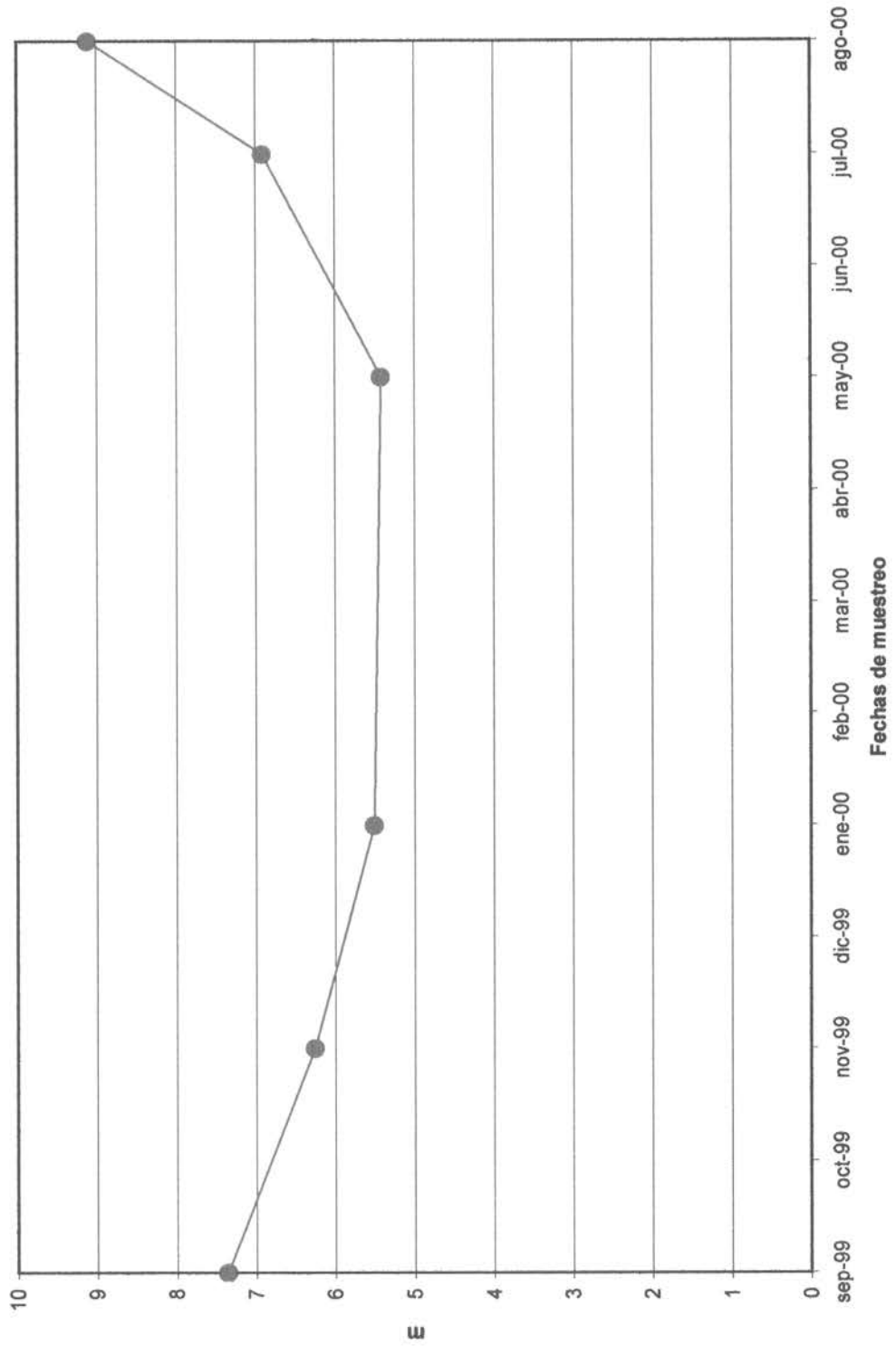


**FIGURA N°32: Distribución de PH (Enero - Julio) en el Lago Sofía**

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES	ESTUDIO REALIZADO POR EL PROYECTO FIP 99-26			JEFE DE PROYECTO: Mg. IVÁN CAÑETE
	Septiembre 2000	Mapa en Coordenadas UTM	Software Surfer 7.02	Gráfica: Centro de Estudio de los Recursos Energéticos



**FIGURA N°33: Traspirencia Promedio, Lago Sofia**



## CAPITULO N° 15

### ANALISIS DE PRODUCTOS QUIMIOTERAPEUTICOS EN PECES CULTIVADOS Y SEDIMENTOS DEL LAGO SOFIA

El uso de productos quimioterapéuticos para prevenir o controlar enfermedades de tipo fúngica, antibacterianas, antiparasitaria o antiviral es una práctica muy utilizada en la salmicultura a nivel mundial. Su aplicación en forma descontrolada puede provocar diferentes tipos de efectos de corto y mediano plazo en el medio ambiente, la fauna local y a las propias especies que se desea proteger. Entre estos efectos cabe señalar:

- Aumento de la resistencia de las bacterias entéricas de origen animal ante estos antimicrobianos
- ingestión de bacterias resistentes por parte del hombre con resultados de infección
- Reacciones alérgicas o tóxicas en el hombre por ingesta de carne de peces con residuos de productos quimioterapéuticos
- Aumento de la resistencia de determinadas cepas a drogas esenciales para el hombre
- Disminución de la calidad y aceptación de los productos por parte de los consumidores
- Deterioro de la imagen de la empresa por no representar un comportamiento sin políticas que protejan al ambiente
- Defaunación y aumento de resistencia ante productos quimioterapéuticos por parte de la flora microbiana de los sedimentos existentes bajo las balsas jaulas (Barg 1994, Bravo 1996, Vademecum 1997, Prado et al, 1999).

De acuerdo a Prado et al. (1999) existirían 49 productos quimioterapéuticos utilizados por parte de la acuicultura nacional, los que se resumen en la Tabla 63.

Cañete (2000), como parte de los resultados ofrecidos durante la ejecución del proyecto FIP 99-26, resume en un catastro los productos quimioterapéuticos comercializados en Chile, además señalar las normativas existentes acerca del uso de estos productos y el catastro de enfermedades detectadas en la XII Región.

Dentro de la propuesta técnica se planteó el analizar en carne de salmónidos y en sedimentos de un área control (St 2) y bajo las balsas jaulas (St 1A y St 1B) para obtener evidencias de uso de estos productos en el centro de cultivo de la empresa Acuimag S.A.

## • ANALISIS DE PRODUCTOS QUIMIOTERAPEUTICOS EN CARNE DE SALMONIDOS

El análisis de productos quimioterapéuticos en carne de salmónidos fue efectuado por la profesional Dra. Betty San Martín en el Laboratorio de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile, entidad que mantiene un convenio con el Servicio Nacional de Pesca para desarrollar los análisis de estos productos en carne de salmónidos para ingresar al mercado europeo y norteamericano.

Durante la ejecución de este estudio se analizaron 3 muestras de carnes de salmónidos, considerando la existencia de smolts en las balsas de distintas especies. En enero se analizó una matriz de quimioterapéuticos en Salmón Coho (*Onchorynchus kisutch*), mientras que en julio se aplicó el mismo procedimiento a muestras representativas de otras dos especies, Trucha Arco Iris (*Onchorynchus mykiss*) y Salmón del Atlántico (*Salmo salar*).

Las muestras de aproximadamente 100 a 200 g fueron mantenidas en oscuridad en cámara de frío a -7°C, y posteriormente enviadas con hielo en escamas en cajas de plumavit vía aérea para ser ingresadas a otra cámara de frío hasta su análisis. Las muestras fueron analizadas dentro de 48 horas de haber sido recepcionadas.

Los resultados obtenidos se indican en la Tabla 64, notándose que no existen evidencias químicas que demuestren el uso de los distintos productos señalados en el lago Sofía para ninguna de las tres especies de salmónidos. De acuerdo a la gerencia de la empresa Acuimag S.A. desde 1997 en que se detectó un brote de una enfermedad bacteriana y en que se utilizó eritromicina para controlarlo, no se han utilizado productos quimioterapéuticos en forma preventiva ni como forma de control de enfermedades durante el lapso contemplado en este estudio. Sin embargo, en agosto del presente año se aplicó a un grupo de truchas un tratamiento con florfenicol por un lapso de 20 días.

Los resultados obtenidos permiten concluir que en el lago Sofía no existen evidencias que demuestren el empleo permanente de productos quimioterapéuticos en los salmones cultivados en el centro de cultivo. También permite sugerir que ninguno de estos productos podría tener suficiente persistencia en la columna de agua para permitir su detección con posterioridad a su probable aplicación o su fijación en la pared corporal de las especies de salmónidos mantenidos en el lago. Por la naturaleza química de estas sustancias tienden a asociarse a partículas orgánicas y es probable que posean una escasa capacidad de dispersión, debiendo sedimentar siguiendo la ruta de las partículas en su ruta hacia las comunidades bentónicas existentes bajo las balsas jaulas.

En las muestras de Trucha Arco Iris recolectadas en agosto, 2000, se detectó la presencia de florfenicol y de verde malaquita en la carne de esta especie. De acuerdo a los límites máximos permitidos en carne de

salmónidos que ingresan al mercado norteamericano y de la comunidad Económica Europea (Tabla III del catastro de productos quimioterapéuticos existente en el mercado chileno; revisión bibliográfica N° 1, p. 25), se puede señalar que para ambos productos la normativa exige ausencia de estos compuestos quimioterapéuticos.

De acuerdo a los antecedentes de vida media de los productos quimioterapéuticos señalados en la Tabla ¿?, cabría esperar que el florfenicol, si posee un comportamiento similar en agua dulce como en el agua de mar, los residuos deberían ser asimilados en las capas superiores de los sedimentos en un plazo aproximado de dos días o de aproximadamente 7 días en las capas profundas (Hektoen et al. 1995).

#### • ANALISIS DE PRODUCTOS QUIMIOTERAPEUTICOS EN SEDIMENTOS

El análisis de productos quimioterapéuticos en sedimentos fue efectuado por la profesional Química Farmacéutica Sra. Marcela Escobar en el Laboratorio Externo de Control de Calidad de la Escuela de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso. Originalmente el estudio de estos productos en sedimentos no estaba considerado en la propuesta técnica, pero a través de sugerencias establecidas por el propio ejecutor al FIP se autorizó efectuar estos análisis debido a los resultados obtenidos en las muestras de carne de salmones.

Se colectaron sedimentos en la St 1A y 1B (antiguo y nuevo sitio de emplazamiento del centro de cultivo, respectivamente) y en una estación control (St 2) preservando las muestras en oscuridad y congelándolas a -7 °C por 24 a 48 horas antes de enviar al laboratorio. Las muestras fueron recolectadas con una draga tipo Ekman de 225 cm<sup>2</sup> de mordida, extrayendo una porción de aproximadamente 100 a 150 g. que fueron almacenados en bolsas plásticas Ziploc, debidamente rotuladas y colocadas en oscuridad en un recipiente con hielo. Se aplicó un golpe de frío previo a su envío vía aérea hasta la ciudad de Valparaíso y enviados en cajas de plumavit con hielo en escama par evitar alzas de temperatura.

La Tabla 65 muestra los resultados obtenidos en dos periodos de muestreo, considerando ambas estaciones 1 (antigua y nueva) y la estación control. En ambas campañas no se detectó presencia en los sedimentos de residuos de los productos quimioterapéuticos señalados en la Tabla, aún considerando que en la St 1A se desarrolló el cultivo de smolt de salmones durante 10 años en forma casi continua. Llama la atención la presencia de oxitetraciclina en la estación control, detectándose valores que son menores a los permitidos en carne de salmones que ingresan al mercado norteamericano (2 ppm; Tabla III, Revisión bibliográfica N° 1, p. 25), aunque los datos detectados en el Lago Sofía son relativamente superiores de acuerdo a los límites máximos permitidos para carne de salmones exportados al mercado común europeo (0,1 ppm).

De acuerdo a Conye et al. (1997), trabajando en análisis de oxitetraciclina en una especie de mitilido y en los sedimentos localizados bajo las balsas jaulas, después de un tratamiento con este producto, determinaron una concentración de 10,2  $\mu\text{g}$  oxitetraciclina por gramo de tejido fresco, presentando una vida media de 2 días. Además detectaron que en la parte superior de la columna de sedimentos (2 cm), después de 3 días de finalizado el tratamiento, se logró detectar una concentración de 9,9  $\mu\text{g}$  oxitetraciclina por gramo de sedimento. Este valor de vida media difiere significativamente del señalado por Hektoen et al (1995), quienes plantean que la oxitetraciclina en agua de mar tiene una vida media de 151 días (Tabla 66).

Los valores señalados en la Tabla 65 demostrarían que la concentración de oxitetraciclina detectada en los sedimentos del lago Sofía son relativamente altas. Esta situación debe ser considerada con especial cuidado por cuanto se ha demostrado que la presencia de este producto alteraría el proceso de nitrificación en sistemas de acuarios (Klaver & Matthews 1994).

Una probable vía de ingreso de oxitetraciclina en la St 2 o estación control podría ser a través de la orina liberada por el ganado en las riberas del lago Sofía.

**Tabla 63.-** Lista de productos quimioterapéuticos utilizadas en la acuicultura nacional (modificado de Prado 1999). (\*) Productos analizados en este estudio en carne de salmónidos, (\*\*) Productos analizados en este estudio en sedimentos bajo las balsas jaulas del lago Sofia. En negritas (productos 50-53) se indican quimioterapéuticos analizados por el laboratorio de la U. de Chile y en el de Química y Farmacia de la Universidad de Valparaíso en forma rutinaria que no aparecen en el listado de Prado et al. (1999).

Número	Productos Quimioterapéuticos
1	Acido acético
2	Acriflavina
3	Amoxicilina
4	Cloruro de Benzalconio
5	Carbasone
6	Cloramina B ó T
7	Cloramfenicol (**)
8	Clortetraciclina
9	Cobre sulfato
10	Diclorvos
11	Dimetrizadol
12	Diquat
13	Enheptin
14	Eritromicina
15	Fenbendazol
16	Flumequina (*)
17	Formaldehido
18	Furaltadona
19	Furanace
20	Eurazolidona
21	Iodóforos
22	Ivermectina (*)
23	Kanamicina
24	Levamisol
25	Verde malaquita (*)
26	Mevendazol
27	Azul de metileno
28	Acido nalidixico
29	Natamicina
30	Neomicina
31	Nitrofuranos
32	Nitrofurazona
33	Olaquinox
34	Acido Oxolínico (*)
35	Oxitetraciclina (*) (**)
36	Penicilina
37	Sulfonamidas potenciadas
38	Permanganato de potasio
39	Praziquantel
40	Prefurano
41	Compuestos de amonio cuaternario
42	Roocal
43	Ronidazol
44	Cloruro de sodio
45	Estreptomina
46	Sulfonamidas (*)

47	Sulfamerazina
48	Sulfametazina
49	Triclofon
50	Enrofloxacina (*)
51	Ciprofloxacina (*)
52	Florfenicol (*)
53	Sulfadimetoxina (**)

**Tabla 64.-** Análisis de productos quimioterapéuticos en carne de tres especies de salmónidos cultivados en el lago Sofía en el lapso 1999-2000. Análisis efectuados en el Laboratorio de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Chile. En cada oportunidad se envió entre 200 y 300 g de muestra de peces.

Análisis	<i>Onchorynchus kisutch</i>	<i>Onchorynchus mykiss</i>	<i>Salmo salar</i>
Screening microbiológico	ND	ND	ND
Oxitetraciclina	ND	ND	ND
Sulfonamidas	ND	ND	ND
Ac. oxolinico	ND	ND	ND
Flumequina	ND	ND	ND
Enrofloxacina	ND	ND	ND
Ciprofloxacina	ND	ND	ND
Florfenicol amina	ND	ND	NR
Florfenicol*	ND	4.6	NR
Verde malaquita**	ND	13.8	NR
Ivermectina	ND	ND	NR

ND = No detectado

NR = No realizado por tamaño de muestra insuficiente (< 500 g).

\* = expresado en ppm; \*\* = expresado en ppb.

**Tabla 65.-** Resultados análisis de productos quimioterapéuticos en sedimentos del Lago Sofía en dos meses del año 2000. St 1A fue utilizada entre 1990 y febrero, 2000 como sitio de emplazamiento del centro de cultivo; St 1B representa un nuevo sitio de emplazamiento de las balsas, desde febrero, 2000.

Estación	Mes/año	Cloramfenicol	Sulfadimetoxina	Oxitetraciclina dihidrato
1A	Mayo/2000	ND	ND	0,5982 ppm
1B	Mayo/2000	ND	ND	0,1662 ppm
St 2 Control	Mayo/2000	ND	ND	1,6062 ppm
St 1B	Julio/2000	ND	ND	0,1795 ppm
St 2. Control	Julio/2000	ND	ND	1,2305 ppm
Método análisis		HPLC 28	HPLC-29	HPLC-30

Nota:

ND = Cloramfenicol < 4,662 ppm

ND = Sulfadimetoxina < 1,008 ppm



**Tabla 66.-** Vida media ( $T_{1/2}$ , días) de algunos productos quimioterapéuticos utilizados en la salmicultura mundial y en Chile

Producto quimioterapéutico	$T_{1/2}$ (días)	Estrato: sedimentos (S) o carne salmónes (CS)	Referencia
Oxitetraciclina	151	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Acido Oxolínico	151	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Flumequina	60	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Sarafloxacina	151	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Sulfadiazina	50	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Trimethropin	75	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Florfenicol	1,7	S (0-1 cm)	Hektoen et al. 1995*
Oxytetraciclina	2,0	Carne Mytilus	Coyne et al. 1997*

\* ambientes submareales marinos

## CAPITULO N° 16

### MACROBENTOS LAGO SOFIA

#### • COMPOSICION TAXONOMICA

La macrofauna del lago Sofía se compone de 9 especies de invertebrados, predominando los Anélidos (oligoquetos e hirudíneos) en términos de abundancia (46,46%), seguido de los artrópodos (amfípoda, insectos tricópteros y larvas de una especie de quironómido) que acumulan el 32,12%. Otros invertebrados fueron: dos especies de gastrópodos, una especie de bivalvo y representantes del phylum Nematoda. Las taxa superiores que efectúan mayor aporte a la biomasa son los gastrópodos (73,24%), seguidos de los Anélidos (14,72%). La abundancia y biomasa acumulada durante seis campañas de muestreo y en función de muestras tomadas en 8 estaciones fueron de 551 individuos y 24,93 g. respectivamente (Tabla 67). De estos datos se desprende que el aporte promedio individual de cada especie a la abundancia y biomasa es de 61 indiv. especie<sup>-1</sup> y 2,77 g especie<sup>-1</sup>, mientras que el peso promedio de cada individuo es de 0,045 g (Tabla 67).

#### • COMPARACION BENTOS CENTRO CULTIVO V/S OTRAS ESTACIONES

La macrofauna bentónica de fondos blandos submareales o sublitorales se utilizan comúnmente en los programas de monitoreo o seguimiento de tipo ambiental en áreas enriquecidas con desechos producidos por actividades acuícolas (Barg 1994, Cañete 1999, Cañete et al, 2000). Para evaluar el potencial impacto del centro de cultivo de la empresa Acuimag S.A. en el lago utilizando la macrofauna bentónica como instrumento de vigilancia se establecieron 8 estaciones, en las que en cada una de las seis campañas se obtuvo una muestra de sedimentos para análisis faunísticos. La St 1 representa el sector en que se localiza el centro de cultivo (bajo el tren de balsas). La posición geográfica del tren de balsas se modificó a raíz de una decisión de la empresa, razón por la cual aparece una St 1A (entre septiembre y enero) y otra St 1B (entre mayo y agosto). Los principales atributos comunitarios analizados fueron la abundancia total y riqueza de especies por muestra.

La Tabla 68 muestra los resultados obtenidos para cada una de las campañas de muestreo. De esta tabla se evidencian 3 tipos de ambientes que a priori y artificialmente se han dividido para efectos de establecer comparaciones entre sitios que permitan identificar algún tipo de impacto producido por la salmonicultura en el lago. Estos sitios son: Centro de cultivo (St 1; 10 m profundidad), Sitios someros, (Sts. 2, 3 y 4; < 15 m) y sitios profundos (Sts. 5, 6, 7 y 8; > 20 m).

La riqueza de especies y la abundancia en la St 1 fluctuó entre 1 y 4 especies por 0,00225 m<sup>-2</sup> y entre 1 y 12 indiv. 0,00225 m<sup>-2</sup>, respectivamente (Tablas 67 y 68). La abundancia preferentemente en las estaciones

someras sin influencia del centro de cultivo mostraron mayor abundancia que en la St 1. Durante mayo 2000, en la St 4 y 5 se produjo un aumento considerable en la abundancia de oligoquetos (Tabla 68). De igual manera, una situación que llamó nuestra atención fue la presencia del bivalvo *Pisidium cf patagonicus* en la St 6, estación localizada en el sitio más profundo del lago. De manera similar, durante mayo se observó ausencia de macrofauna en las St 3, 7 y 8, las que normalmente presentaron baja abundancia, pero al menos 4 a 6 especies de macroinvertebrados.

**Tabla 67.-** Composición taxonómica, abundancia (individuos) y biomasa (g) de la macrofauna bentónica del lago Sofía. Muestreos efectuado entre septiembre, 1999 y agosto, 2000, durante seis campañas de muestreo, considerando la toma de 8 muestras en cada campaña.

Taxa Superior/especie	Abundancia total	% de la abundancia	Biomasa total	% de la Biomasa
Annelida				
Oligochaeta Indet	214	38,84	2,0116	8,07
Hirudinea Indet.	42	7,62	1,659	6,65
Gastropoda				
<i>Chilina patagonica</i>	41	7,44	18,2286	73,11
Gastropoda Indet	2	0,36	0,032	0,13
Bivalvia	65	11,8	0,39	1,56
<i>Pisidium cf patagonicus</i>				
Artropoda	109	19,78	1,417	5,68
<i>Hyalella</i> sp.	9	1,63	0,3222	1,29
Trichoptera Indet.	59	10,71	0,8673	3,48
Larva Insecta				
Nematoda	10	1,81	0,0004	0,02
Nematoda Indet.				
	551	100	24,9317	100

**Tablas 68.-** Resultados obtenidos para cada una de las campañas de muestreo.  
 Fecha Muestreo: Septiembre, 1999 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1A se localiza centro de cultivo (destacado en negrita).

Taxa	St 1A	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
Oligochaeta Indet.	0	0	0	5	0	0	0	0
Hirudinea Indet.	0	0	1	1	1	0	0	0
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	4	5	12	0	0	0	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	0	0	7	1	0	0	0	5
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	0	3	10	6	7	0	0	2
Trichoptera	1	0	1	0	1	0	0	0
Larva insectos	0	2	4	0	1	0	0	0
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>
<b>RIQUEZA DE ESPECIES</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

Fecha Muestreo: Noviembre, 1999 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1A se localiza centro de cultivo (destacado en negrita)

Taxa	St 1A	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
Oligochaeta Indet.	0	0	1	1	0	0	0	0
Hirudinea Indet.	1	1	1	1	1	0	0	0
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	0	0	4	0	4	0	0	3
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	1	0	0	7	0	0	0	8
Trichoptera	1	0	0	0	0	0	0	0
Larva insectos	9	0	0	0	1	0	0	0
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>
<b>RIQUEZA DE ESPECIES</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>

Fecha Muestreo: Enero, 2000 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1A se localiza centro de cultivo (destacado en negrita)

Taxa	St 1A	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
Oligochaeta Indet.	0	5	8	0	2	0	1	0
Hirudinea Indet.	0	2	2	1	0	0	1	3
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	3	5	0	1	0	2	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	0	2	3	0	3	0	0	2
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	3	14	6	1	0	0	0	4

Trichoptera	2	1	0	0	0	0	0	0
Larva insectos	8	3	4	0	0	0	0	2
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	3	0	0	0	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>11</b>
<b>RIQUEZA ESPECIES</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

Fecha Muestreo: Mayo, 2000 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1B se localiza centro de cultivo (destacado en negrita)

Taxa	<b>St 1B</b>	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
Oligochaeta Indet.	1	4	0	78	34	0	0	0
Hirudinea Indet.	5	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	4	0	0	1	0	0	0	0
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	1	0	0	0	0	0	0	0
Trichoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Larva insectos	0	0	0	1	0	0	0	0
Larva Quironómidos	5	0	0	0	0	0	0	0
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>RIQUEZA ESPECIES</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fecha Muestreo: Julio, 2000 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1B se localiza centro de cultivo (destacado en negrita)

Taxa	<b>St 1</b>	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
Oligochaeta Indet.	0	0	0	0	0	0	0	0
Hirudinea Indet.	2	0	1	0	4	0	0	0
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	0	1	3	1	0	1	0	1
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	3	4	0	0	0	0	1	2
Trichoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Larva insectos	0	0	0	0	0	0	0	0
Larva Quironómidos	2	0	1	1	1	0	0	0
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>RIQUEZA ESPECIES</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Fecha Muestreo: Agosto, 2000 (Indiv 0,0225 m<sup>-2</sup>). Estación 1B se localiza centro de cultivo (destacado en negrita)

Taxa	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8
<b>Annelida</b>								
<b>Oligochaeta Indet.</b>	0	0	0	1	0	0	0	0
Hirudinea Indet.	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gastropoda</b>								
Chilina patagonica	0	0	0	2	0	0	0	0
Gastropoda Indet	0	1	0	1	0	0	0	0
<b>Bivalvia</b>								
Pisidium cf patagonicus	0	1	0	1	0	1	2	2
<b>Artropoda</b>								
Hyalella sp	0	1	0	11	0	0	2	4
Trichoptera	0	0	0	0	0	0	0	0
Larva insectos	0	1	0	0	0	0	0	0
Larva Quironómidos	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Nematoda</b>								
Nematoda Indet.	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	0	4	0	18	0	1	4	6
<b>RIQUEZA ESPECIES</b>	0	4	0	7	0	1	2	2

## CAPITULO N° 17

### ZOOPLANCTON LAGO SOFIA

El zooplancton del lago Sofía se encuentra dominado por 8 especies o entidades discriminantes, las que solamente pudieron ser identificadas a nivel genérico o a nivel de grandes taxa. De éstas, los copépodos dominan en términos numéricos, aunque de acuerdo al tamaño, a nivel individual los organismos que realizan mayor aporte a la biomasa total fueron los cladóceros. Aunque tratados como un grupo general, se lograron identificar al menos 3 formas discriminantes de rotíferos. Los nauplios de los copépodos fueron analizados en forma conjunta como una entidad taxonómica distinta (Tabla 69)

Analizando las variación temporal se observó que la abundancia del zooplancton se incrementó claramente durante los meses de primavera y verano (monitoreos noviembre y enero), decreciendo durante los meses de mayo, julio y agosto, en especial durante agosto. Esta disminución alcanzó a aproximadamente 25 veces entre noviembre, 1999 y agosto, 2000, registrándose en este último mes la abundancia mínima. De esta forma, el Lago Sofía muestra dos patrones de variación estacional claramente identificables: un ciclo de abundancia primaveral-estival, y un ciclo de otoño-invierno, en que se observa una importante disminución del zooplancton (Tabla 70). Los rangos de los valores promedios mensuales fluctuaron entre 1 y 34 indiv./l mes<sup>-1</sup>.

A nivel espacial se observó que zooplancton del lago Sofía muestra dos tendencias: i) durante condiciones primaverales-estivales, en las estaciones someras, excepto en la St 1 (centro cultivo), la abundancia fue menor respecto de las estaciones profundas (St 5, 6, 7 y 8). ii) Durante condiciones otoñales-invernales, la abundancia tiende a ser similar en todas las estaciones.

La biomasa promedio, expresada en peso seco, fluctuó entre 8,6 y 123,6  $\mu\text{g/l}$ , detectándose los máximos valores en noviembre y enero (Tabla 71). De acuerdo a los datos de zooplancton de lagos y lagunas del Parque Nacional Torres del Paine publicados por Soto et al. (1994), los niveles determinados en el lago Sofía se asemejarían más a los detectados en lagunas y pozas que a los lagos de este lugar.

A nivel espacial, la biomasa promedio fue superior en las estaciones profundas más el sector correspondiente al centro del cultivo respecto de aquellas estaciones localizadas en áreas someras (Tabla 71). Dentro de las estaciones profundas, y al igual que lo observado con la abundancia, la biomasa fue máxima en el centro del lago.

En general, se observó que el ciclo de variación estacional del zooplancton coincide con lo observado con el ciclo de concentración de clorofila a en la columna de agua de la estación del centro del lago (St 6).



Tabla 69.- Composición taxonómica del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.

Taxa
<b>Copepoda</b>
Boeckella sp.
Ciclopoideo Indet.
Nauplios
<b>Cladocera</b>
Eubosmina sp
Daphnia sp
<b>Rotifera</b>
Especie 1
Especie 2
Especie 3

Tabla 70.- Variación espacial y temporal de la abundancia del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.

**Abundancia (indiv/l)**

Monitoreo	ST 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	TOTAL	Promedio	Desv. Estándar
Sep, 1999	10	15	8	6	16	17	14	13	99	12	4
Nov, 1999	33	18	29	40	35	48	39	33	275	34	9
Ene, 2000	19	16	14	14	19	23	28	17	149	19	5
May, 2000	4	3	1	3	3	1	2	3	20	3	1
Julio, 2000	4	1	1	1	1	4	2	3	17	2	1
Ago, 2000	3	1	1	1	1	2	1	1	11	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>74</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>64</b>	<b>75</b>	<b>95</b>	<b>86</b>	<b>70</b>			
<b>Promedio</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>12</b>			
<b>Desv. Estan.</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>12</b>			

Tabla 71.- Variación espacial y temporal de la biomasa del zooplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.

**Biomasa ( $\mu\text{g/l}$ )**

Monitoreo	ST 1	St 2	St 3	St 4	St 5	St 6	St 7	St 8	TOTAL	Promedio	Desv. Estándar
Sep, 1999	28	21	17	26	32	41	28	32	225	28,13	7,32
Nov, 1999	105	89	47	61	156	190	155	186	989	123,63	55,64
Ene, 2000	78	38	44	34	69	121	73	84	541	67,63	28,84
May, 2000	12	8	4	4	9	12	11	9	69	8,63	3,20
Julio, 2000	9	5	6	9	11	10	11	8	69	8,63	2,20
Ago, 2000	16	10	8	8	13	18	13	17	103	12,88	3,94
<b>TOTAL</b>	<b>248</b>	<b>171</b>	<b>126</b>	<b>142</b>	<b>290</b>	<b>392</b>	<b>291</b>	<b>336</b>			
<b>Promedio</b>	<b>41,33</b>	<b>28,50</b>	<b>21,00</b>	<b>23,67</b>	<b>48,33</b>	<b>65,33</b>	<b>48,50</b>	<b>56,00</b>			
<b>Desv. Estan.</b>	<b>40,31</b>	<b>32,00</b>	<b>19,51</b>	<b>21,69</b>	<b>57,40</b>	<b>74,00</b>	<b>57,33</b>	<b>69,71</b>			

## CAPITULO Nº 18

### FITOPLANCTON DEL LAGO SOFIA

De acuerdo a la propuesta técnica y posteriores sugerencias de los evaluadores correspondía efectuar dentro del contexto del estudio titulado "Determinación de capacidad de carga del Lago Sofía en la XII Región" una descripción de las asociaciones fitoplanctónicas en una estación localizada en el centro del lago (estación 6), correspondiendo a muestreos efectuados a fines de septiembre y noviembre de 1999, enero, mayo, julio y agosto del 2000.

#### • COMPOSICION ESPECIFICA Y ABUNDANCIA

##### Superficie

En la zona central del Lago Sofía, a nivel superficial, se observa que la comunidad fitoplanctónica se compone de 19 especies, cuya abundancia varió en un orden de magnitud durante todo el período de estudio. La especie más abundante y que explica un gran porcentaje de la abundancia es la cianofícea colonial *Merismopedia* sp., fluctuando su aporte entre 64 y 92%.

En este estrato de la columna de agua se observa que a lo largo del estudio se han recolectado especies de microalgas pertenecientes a 4 subclases o divisiones con un total de 18 géneros y 19 especies o taxa discriminantes, con las microalgas Cyanophyceae dominando en términos abundancia, y las Bacillariophyceae y Chlorophyceae en términos de riqueza de especies.

El análisis de la variabilidad temporal muestra que durante el período de estudio la abundancia se ha mantenido en el mismo orden de magnitud, detectándose dos máximos de abundancia fitoplanctónica, uno en noviembre y otro en mayo.

El análisis de la variabilidad temporal de la riqueza de especies muestra que en los meses de noviembre, enero y agosto se observaron los valores mínimos, con 5 y 7 especies, respectivamente (Tabla 72). De igual manera se observa que en todas las campañas la especie *Merismopedia* sp aportó entre el 64 y 91% de la abundancia fitoplanctónica total.

## Variación vertical

Este muestreo fue efectuado en mayo y julio del año 2000, considerando la toma de muestras en tres estratos de profundidad solamente en la estación 6 o centro del lago Sofía: superficie, 5-6 m y a 15 m de profundidad (Tabla 73). El objetivo de esta investigación fue determinar si existían variaciones en la composición fitoplanctónica en la medida que aumenta la profundidad y con ello relacionar esta data con las variaciones experimentadas por la concentración de clorofila *a* en la columna de agua como con las características de los parámetros limnológicos de tipo químico y físico.

En mayo se detectó que las divisiones superiores se mantienen presentes en todos los estratos, aunque la riqueza de especies disminuyó desde las capas superficiales hacia el estrato más profundo (11 especies o taxa discriminantes a 9). De igual forma la abundancia en el estrato más profundo decreció en aproximadamente 1,6 veces respecto a la superficie. En todos los estratos la especie más abundante fue la cianophyceae *Merismopedia* sp. (63,8% de la abundancia total) seguida del representante de la división Bacillariophyceae *Melosira distans* (22,8%).

### • CONCENTRACION DE CLOROFILA A

De acuerdo a la propuesta técnica y posteriores sugerencias de los evaluadores correspondía efectuar dentro del contexto del estudio titulado "Determinación de capacidad de carga del Lago Sofía en la XII Región" una determinación de la concentración de clorofila a en la estación central del Lago (estación 6), correspondiendo a muestreos efectuados a fines de septiembre y noviembre de 1999, enero, mayo, julio y agosto del 2000.

Los objetivos planteados en relación a la determinación de esta variable de la comunidad fitoplanctónica fueron:

- Conocer la concentración de clorofila a en la superficie, donde se podría esperar una mayor concentración
- Determinar si existe relación entre el grado de trofia del lago y el grado de producción natural de éste
- Estimar la asociación probable entre el grado de producción fitoplanctónica y la composición taxonómica del fitoplancton.

La concentración máxima de clorofila a total fue detectada en noviembre de 1999, alcanzado una concentración de 3,189 mg Cl a m<sup>-3</sup>. Posteriormente, paulatinamente fue decreciendo en aproximadamente 3 veces en mayo y julio, respecto de este valor. De igual modo, la concentración de clorofila a activa a nivel superficial fue superior en el mes de noviembre, alcanzado una concentración de 1,932 mg Cl a m<sup>-3</sup> (Tabla 74).

Al efectuar un análisis de la variabilidad vertical de la concentración de clorofila a, total y activa, se observó que existe una leve clina o una zona con una mayor concentración subsuperficial, la que se mantuvo en mayo y en julio. Esta zona de mayor concentración subsuperficial fluctuó entre un 5 y un 16% respecto de los valores mínimos detectados en cada mes y se observa una concentración de la clorofila activa a mayor profundidad. En general, los valores de CT y CA se mantienen dentro del mismo orden de magnitud en función de la profundidad.

**Tabla 72.-** Composición taxonómica y Variabilidad temporal de fitoplancton del lago Sofía, XII Región, Chile.

Especie	ABUNDANCIA (células l <sup>-1</sup> )					
	Septiembre 99	Noviembre 99	Enero 2000	mayo 2000	julio 2000	Agosto 2000
<b>Cyanophyceae</b>						
Merismopedia sp	381.300	442.800	297.600	332.100	164.000	48.000
Gomphosphaeria Lacustris	820	410	0	410	0	0
Chroococcus sp	0	0	0	0	6.560	0
Filamentos Cyanophyceae	0	0	18.000	4.100	0	0
Anabaena spiroides	4.920	0	5.000	20.500	4.100	0
<b>Bacillariophyceae</b>						
Nitzschia sp	0	0	1.000	0	0	0
Aulacoseira granulata	1.640	6.560	0	1.640	820	0
Asterionella formosa	1.640	1.640	0	0	0	0
Cyclotella sp	0	0	0	8.200	6.150	1.000
Cyclotella meneghiniana	8.200	0	0	0	0	0
Melosira distans	0	0	0	0	3.690	0
Rhizosolenia eriensis	0	0	0	0	820	0
<b>Cryptophyceae</b>						
Rhodomonas lacustris	0	0	0	0	4.100	0
Navicula sp	0	0	0	0	0	600
<b>Chlorophyceae</b>						
Botryococcus brauni	4.100	0	400	1.230	820	800
Chlamydocapsa ampla	8.200	0	0	0	0	0
Oocystis lacustris	29.520	0	2.400	1.640	410	0
Spaerocystis Schroeteri	20.500	69.700	0	22.960	8.200	10.200
Quadriluga closteroides	4.100	0	1.600	0	0	0
Elakathrix gelatinosa	0	0	0	2.460	0	0
<b>ABUNDANCIA TOTAL</b>	<b>464.940</b>	<b>521.110</b>	<b>326.000</b>	<b>516.190</b>	<b>200.490</b>	<b>60.600</b>
<b>RIQUEZA TOTAL ESPECIES</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>5</b>
<b>APORTE ESPECIE MÁS ABUNDANTE%</b>	<b>82,01</b>	<b>84,97</b>	<b>91,29</b>	<b>64,34</b>	<b>81,80</b>	<b>79,21</b>

**Tabla 73.-** Composición taxonómica y abundancia del fitoplancton del lago Sofía, XII Región, Chile, en distintos estratos de profundidad durante dos campañas de muestreo (mayo y julio, 2000).

**Mayo**

Taxa	0-1 m	5-6 m	15-16 m	Total
<b>Cyanophyceae</b>				
Gomphosphaeria lacustris	410	1.230	410	2.050
Merismopedia sp	332.100	172.200	237.800	742.100
Filamentos Cyanophyceae	4.100	2.050	1.640	7.790
Anabaena spiroides	20.500	6.150	4.100	30.750
Chroococcus sp	0	28.700	0	28.700
<b>Bacillariophyceae</b>				
Aulacoseira granulata	1.640	3.280	1.230	6.150
Melosira distans	121.360	92.660	50.840	264.860
Cyclotella sp	8.200	9.840	9.020	27.060
<b>Chlorophyceae</b>				
Botryococcus brauni	1.230	820	1.230	3.280
Oocystis lacustris	1.640	1.230	0	2.870
Sphaerocystis schroeteri	22.960	6.160	15.580	44.700
Elakatothrix gelatinosa	2.460	0	0	2.460
<b>Abundancia Total</b>	<b>516.190</b>	<b>324.310</b>	<b>321.850</b>	<b>1.162.350</b>
<b>Nº Total Especies</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	

**Julio 2000**

Taxa	0-1 m	5-6 m	15-16 m	Total
<b>Cyanophyceae</b>				
Gomphosphaeria lacustris	0	0	0	0
Merismopedia sp	164.000	90.200	106.600	360.800
Filamentos Cyanophyceae	0	0	0	0
Anabaena spiroides	4.100	5.330	16.400	25.830
Chroococcus sp	6.560	2.460	4.100	13.120
<b>Bacillariophyceae</b>				
Aulacoseira granulata	820	1.230	2.050	4.100
Melosira distans	3.690	8.200	6.560	18.450
Cyclotella sp	6.150	7.790	8.200	22.140
Rhizosolenia eriensis	820	0	0	820
<b>Cryptophyceae</b>				
Rhodomonas lacustris	4.100	11.480	7.380	22.960
<b>Chlorophyceae</b>				
Botryococcus brauni	820	820	410	2.050
Oocystis lacustris	410	1.230	410	2.050
Sphaerocystis schroeteri	8.200	4.920	3.280	16.400
Closterium acutum	820	820	820	2.460
Elakatothrix gelatinosa	0	0	0	0
<b>Abundancia Total/estrato</b>	<b>200.490</b>	<b>134.480</b>	<b>155.210</b>	<b>490.180</b>
<b>Nº Total Especies/estrato</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	

**Tabla 74.-** Variabilidad temporal de la concentración de clorofila a total (CT) (clorofila activa más feopigmentos) y Clorofila a activa (CA) de muestras de aguas superficiales y de mayor profundidad del Lago Sofía (St 6, centro del lago).

Profundidad (m)	Concentración total (CT) y activa (CA) de Clorofila <u>a</u> (mg Cl a m <sup>-3</sup> )											
	Septiembre 99		Noviembre 99		Enero 2000		mayo 2000		julio 2000		Agosto 2000	
	CT	CA	CT	CA	CT	CA-	CT	CA	CT	CA	CT	CA
Superficie	2,057	1,306	3,189	1,932	2,518	1,528	1,078	0,382	1,189	0,573	0,647	0,332
5-6	-	-	-	-	-	-	1,248	0,509	1,215	0,828	-	-
12-15	-	-	-	-	-	-	1,086	0,891	1,155	0,764	-	-

## CAPITULO Nº 19

### FILMACION SUBACUATICA COMO MEDIO DE DESCRIPCION DEL FONDO BAJO BALSAS JAULAS Y SITIO CONTROL

Por último como una forma de certificar visualmente las características del fondo y su relación con el grado de enriquecimiento y dar a conocer visualmente el aspecto de las comunidades bentónicas asociadas al sitio control y aquellas existentes bajo las balsas, se procedió a filmar el fondo ubicado bajo el tren de balsas en la St 1A y 1B y en la estación control, St 2, en 3 oportunidades (septiembre, enero y mayo). La filmación realizada en septiembre fue efectuada por el Dr. Mathias Gorny utilizando una cámara profesional SIMRAD Mod. OE 1373, dotada de dos focos de 200 W de intensidad máxima y dos punteros láser. La cámara se opera desde el zodiac con un cable telemétrico que transmite la energía y entrega las señales a las unidades subacuáticas sumergidas; en la cubierta del zodiac se ubicará el panel de control, un monitor y una grabadora. Esta filmación no generó buenos resultados porque no logró ubicarse en el centro de las balsas, sino que se logró caracterizar principalmente la periferia. Del mismo modo, la gran concentración de microalgas durante septiembre produjo un exceso de absorción del color verde, lo que dificultó identificar organismos epifaúnicos y caracterizar el fondo.

Por esta razón, las filmaciones restantes fueron realizadas mediante una cámara SONY incorporada en una carcasa subacuática y dirigida mediante un buzo (Sr. Francisco Carrasco). Este cambio produjo una mejora en la calidad de la filmación y permitió generar un video sin audio de los tres sectores, logrando un lapso de filmación de aproximadamente 37 minutos.

El presente antecedente filmográfico se encuentra separado en dos fases:

- **Fase 1 (Zona terrestre)**

Se describe el ambiente terrestre aledaño al lago, destacando la morfología, la ubicación del centro de cultivo, la presencia de las islas, la ubicación del origen del río Sofía a partir del lago del mismo nombre, la presencia del ganado en la terraza, aspecto general del Chorrillo A, y se muestra los cambios en las características del suelo y de la vegetación en la medida que aumenta la altura desde la cual se efectuó la filmación (cerro aledaño al cerro Mocho, aproximadamente 900 m de altura). Llama la atención la presencia de nieve durante septiembre 1999 en la parte alta de esta cumbre, como la aridez general del paisaje. También se muestra la presencia de dos tipos de bandas boscosas conformadas por el Ñirre en la parte baja o cercana al lago y otra banda de Lengua en la parte alta del cerro.



## • Fase 2 (Filmación subacuática)

La filmación de este ambiente fue efectuada en tres oportunidades (septiembre de 1999 y enero y mayo, 2000) en el sitio control como en el sector antiguo y nuevo en que se localiza el centro de cultivo (enero, antes de efectuar el cambio del centro de cultivo).

A partir de la delimitación de la zona de sedimentos afectados por el centro de cultivo (color negro, con presencia de una capa de posibles bacterias filamentosas de aproximadamente 10 a 14 cm de altura que han colonizado la interfase agua-sedimento) se logró estimar la superficie afectada por las balsas jaulas. La Tabla 75 muestra que independiente del nivel de producción de salmónidos, el área afectada no sobrepasó de 0,52 hectáreas (5200 m<sup>2</sup>). Esto indica que el efecto del centro se restringe a una superficie que fluctúa entre 0,03 y 0,06% de la superficie total del lago (Tabla 75).

Si se considera el área apta señalada en la Fig. 21 (52,4 hectáreas; fondos con profundidades entre 10 y 20 m), el efecto del centro de cultivo fluctúa entre 0,5 y 1%.

La Tabla 76 muestra un cuadro comparativo derivado del análisis de las tres fases de filmación, estableciendo las diferencias existentes entre las comunidades bentónicas de un sitio sin actividad acuícola y otro afectado por esta actividad.

En la filmación efectuada en enero en el sitio en el cual se establecería posteriormente el centro de cultivo se observan fondos de similares características a los observados en el sitio control. En mayo del 2000, se volvió a filmar después de haberse iniciado el uso del sector en febrero. Se observa presencia de arenas blancas, una especie de planta rastrera, comienza a configurarse una especie de red por parte de las bacterias filamentosas u otro tipo de organismo sobre la cubierta vegetal, además de observarse fuertemente erosionado el fondo por parte de las redes o anclas utilizadas en la fijación de las balsas. De igual manera, en este período filmico se detectó la presencia de peces muertos bajo las balsas, por lo cual existe un mal manejo de estos individuos. Sin embargo, la empresa explicó que previo a la filmación, un operario tuvo un accidente cayendo casualmente un recipiente con los peces muertos al fondo. Cabe destacar que en ninguno de los buceos previos se había detectado este problema. Los individuos de mayor tamaño pueden ser retornantes que comienzan a migrar al lago a desovar. Aún se observan almejas, huellas dejadas por el paso de *Chilina* y algunos restos de alimento que comienzan a cubrir la superficie del sedimento.

La importancia de la filmación radica principalmente en que los lectores de este informe puedan relacionar las imágenes del fondo del lago bajo la influencia del centro de cultivo con los porcentajes de N y P total existente en los sedimentos.

**Tabla 75.-** Area de fondo afectada por el centro de cultivo (St 1) de smolts del Lago Sofía, XII Región, Chile. (Superficie total aproximada del lago = 900 hectáreas), estimada a través de información aportada por las filmaciones. \* Representa el sitio nuevo o St 1B; en este lugar el tren de balsas se separó en dos subtrenes y por esta razón aumentó la superficie; en este caso el efecto del centro es aún incipiente. No se efectuó filmación en julio.

	Septiembre 1999	Enero 2000	Mayo 2000	Julio 2000*
Superficie (Ha)	0,24	0,28	0,43	0,52
Nº balsas c/ peces	6	10	10	14
Superficie del lago afectada (%)	0,03	0,03	0,05	0,06

**Tabla 76.-** Algunas características comparativas que permiten orientar la observación del video con material filmico de los fondos de dos localidades del lago Sofía, XII Región, Chile.

Variable comparación	St 1 (Centro Cultivo)	St 2 (Control)
Tipo sedimento	Arena- grava-fango negro	Arena y grava
Color sedimento	Negro con espacios de color blanco	Blanco
Presencia bacterias filamentosas	Presencia masiva	Ausencia
Presencia planta acuática erecta	Ausente	Presente
Presencia planta acuática rastrera	Presente en la periferia de balsas	Ausente
Presencia Almeja	Ausente	Presente
Presencia Amphipoda	Presente/ausente	Presente
Presencia oligoquetos natatorios	Presentes	Ausente
Presencia de huellas o caminos dejados por el paso del gastrópodo Chilina patagonica	Ausente; en mayo se observan algunos caminos o huellas.	Presente
Presencia restos alimento (puntos de color blanco y forma irregular)	Presencia	Ausencia
Presencia partículas suspendidas	Presencia abundante	Ausencia
Presencia de peces muertos	Presente en mayo en sector nuevo; pueden ser retornantes o del centro de cultivo	Ausente
Presencia burbujas	Presente	Ausente



## CAPITULO N° 20

### LA ROTACION DE AREAS COMO ESTRATEGIA DE MANEJO PARA DESARROLLAR SOSTENIDAMENTE LA SALMONICULTURA EN LAGOS.

La estrategia de manejo se basa en los resultados obtenidos en la composición de N y P total en los sedimentos tanto del muestreo sistemático como en la campaña de muestreo intensivo efectuada en julio, 2000. El presente proyecto desea sugerir esta medida de manejo que podría compatibilizar el uso de lago con la actividad acuícola actual bajo las condiciones en que actualmente el centro de cultivo de salmónidos de la empresa Acuimag S.A..

En este sentido, para proyectar el uso de esta medida de manejo es necesario conocer cuáles son las tasas de enriquecimiento y de recuperación de los fondos evaluado a través del porcentaje o concentración N y P total existente en los sedimentos de la estación 1 antigua (St 1A) que representa la recuperación del sistema bentónico y las tasas a las cuales un fondo no intervenido comienza a enriquecerse con P y N total una vez que comienza la actividad acuícola. También es importante estimar el potencial de dispersión de los alimentos y/o heces de los salmónidos al interior del lago que sobrepasa los límites de las balsas jaulas.

A continuación se describen los resultados obtenidos en cada uno de estos tópicos:

#### **Tasa de enriquecimiento por Nitrógeno total**

En el centro de cultivo durante la campaña de muestreo sistemático se estimaron concentraciones de nitrógeno total en el centro de cultivo que fluctuaron entre 1,79 y 2,81% para un uso aproximado del sitio de aproximadamente 10 años. Esta situación indicaría que anualmente los sedimentos bajo las jaulas se enriquecieron a una tasa de 0,179% a 0,281% por año (promedio = 1,70%). Por otra parte se cuenta con los antecedentes recopilados en el resto de las estaciones, que carecen de actividad acuícola, y en donde se registraron valores < 0,12% en las zonas someras y en el rango de 0,2 a 0,3% en la zona profunda.

En función de estos antecedentes se desarrolló la siguiente fórmula que permitiría estimar las tasas de enriquecimiento de los sedimentos (TES) en cualquier sector del lago conociendo el grado de enriquecimiento actual de los sedimentos en el centro de cultivo (CC), y el grado de enriquecimiento natural de los sedimentos de zonas someras del lago (SZ) y el grado de enriquecimiento natural de los sedimentos de zonas profundas del lago (ZP):

$$TES = CC / (SZ + ZP)$$

donde,

CC = 2,31 % o concentración promedio estimada durante el estudio en la zona del centro de cultivo,

SZ = 0,09% o concentración promedio de los sedimentos de áreas someras,

ZP = 0,24% o concentración promedio de los sedimentos de áreas profundas.

Si el valor de TES = 1 implica que todo el lago habría alcanzado concentraciones similares entre el centro de cultivo y sectores sin actividad acuícola, lo que denotaría una situación altamente negativa. Si el valor de TES > 1 implicaría que el centro de cultivo aporta en forma significativa más nitrógeno que el aportado por otras fuentes, y si el valor de TES < 1, implicaría que el enriquecimiento natural es superior al aportado por el centro de cultivo.

De acuerdo a los valores determinados durante el muestreo intensivo y sistemático (Tablas 22 a y b, 41 y 42), el valor del índice fue de 7, indicando que existen actualmente 7 veces más nitrógeno en los sedimentos del centro de cultivo que en el resto del lago. Sin embargo, el área afectada representa apenas el 0,1% de la superficie total del lago (aproximadamente 900 hectáreas).

Considerando el grado de enriquecimiento estimado en los sedimentos del sitio nuevo con el sitio antiguo se podría estimar la cantidad de años que requeriría un sector en alcanzar un nivel de enriquecimiento similar al existente en el centro de cultivo antiguo. Si en 6 meses el nuevo sitio alcanzó una concentración de 0,29% en los sedimentos (Tabla 42), y si se asume que naturalmente los sedimentos podrían poseer una concentración promedio de 0,09% en los sitios someros (Tabla 22 a y b), y si se considera que a una concentración de 2,31%, los sedimentos muestran claras evidencias de sobreenriquecimiento, se plantea la siguiente función para estimar la cantidad de años (A) necesarios para llegar a determinar cambios en las condiciones naturales de los sedimentos por efectos de la salmonicultura en el lago Sofía:

$$A = [2,31\% / (0,29\% - 0,09\%)] * 0,5.$$

A través de esta función, se logró estimar que una vez iniciada la actividad acuícola para las condiciones ambientales y de cultivo señaladas en este trabajo, en aproximadamente 6 años (5,775 años), se podría alcanzar un nivel de enriquecimiento en el fondo como el que se muestra en la filmación submarina (Ver Video anexo; capítulo 19).

Como medida precautoria se podría sugerir que al momento de alcanzar una concentración 50% inferior al valor actual en los sedimentos (1,16%), debiera cesar el uso de un sector determinado. De esta forma, si se aplica este valor en la fórmula antes indicada, se obtiene que aproximadamente cada 3 años debiera existir un cambio de sitio. A continuación se señala la nueva función:

$$A = [1,16\% / (0,29\% - 0,09\%)] * 0,5 \text{ años.}$$

### Tasa de enriquecimiento por Fósforo total

En el centro de cultivo durante la campaña de muestreo sistemático se estimaron concentraciones de P total en los sedimentos que fluctuaron entre 0,09 y 0,27% para un uso aproximado del sitio de aproximadamente 10 años. Esta situación indicaría que anualmente los sedimentos bajo las jaulas se enriquecieron a una tasa de 0,009% a 0,027% por año (promedio = 0,17%). Por otra parte, se cuenta con los antecedentes recopilados en el resto de las estaciones, que carecen de actividad acuícola, y en donde se registraron valores que fluctuaron entre 0,02% y 0,18% independiente de la profundidad del lago.

En función de estos antecedentes se desarrolló la siguiente fórmula que permitiría estimar las tasas de enriquecimiento de los sedimentos (TES) en cualquier sector del lago conociendo el grado de enriquecimiento actual de los sedimentos en el centro de cultivo (CC), y el grado de enriquecimiento natural de los sedimentos de zonas someras del lago (SZ) y el grado de enriquecimiento natural de los sedimentos de zonas profundas del lago (ZP):

$$TES = CC / (SZ + ZP)$$

donde,

CC = 0,17 % o concentración promedio estimada durante el estudio en la zona del centro de cultivo,

SZ = 0,049% o concentración promedio de P total en los sedimentos de áreas someras,

ZP = 0,147% o concentración promedio de P total en los sedimentos de áreas profundas.

Si el valor de TES = 1 implica que todo el lago habría alcanzado concentraciones similares entre el centro de cultivo y sectores sin actividad acuícola, lo que denotaría una situación altamente negativa. Si el valor de TES > 1 implicaría que el centro de cultivo aporta en forma significativa más fósforo que el aportado por otras fuentes, y si el valor de TES < 1, implicaría que el enriquecimiento natural es superior al aportado por el centro de cultivo.

De acuerdo a los valores determinados durante el estudio, el valor del índice fue de 0,867, indicando que existen actualmente valores relativamente similares en el contenido de P total en el centro de cultivo respecto del centro del lago.

Considerando el grado de enriquecimiento estimado en los sedimentos del sitio nuevo y aquellos del sitio antiguo se podría estimar la cantidad de años que requeriría un sector en alcanzar un nivel de enriquecimiento similar al existente en el centro de cultivo antiguo. Si en 6 meses el nuevo sitio alcanzó una concentración de 0,03% en los sedimentos (Tabla 42) y si se asume que naturalmente los sedimentos podrían poseer una concentración promedio de 0,049% en los sitios someros (Tabla 22 a y b), y si se considera que a una concentración de 0,17%, los sedimentos muestran claras evidencias de sobre-enriquecimiento, se plantea la siguiente función para estimar la cantidad de años (A) necesarios para llegar a determinar cambios en las condiciones naturales de los sedimentos por efectos de la salmonicultura en el lago Sofía:

$$A = [0,17\% / (0,03\%)] * 0,5 \text{ años.}$$

A través de esta función, se logró estimar que una vez iniciada la actividad acuícola para las condiciones ambientales y de cultivo señaladas en este trabajo, en aproximadamente 3 años (2,83 años), se podría alcanzar un nivel de enriquecimiento en el fondo como el que se muestra en la filmación submarina (capítulo 19).

Como medida precautoria se podría sugerir que al momento de alcanzar una concentración 50% inferior al valor actual en los sedimentos (1,4%), debiera cesar el uso de un sector determinado. De esta forma, si se aplica este valor en la fórmula antes indicada, se obtiene que aproximadamente cada 1,5 años debiera existir un cambio de sitio. A continuación se señala la nueva función:

$$A = [1,4\% / (0,29\% - 0,09\%)] * 0,5 \text{ años.}$$

La Fig. 34 muestra las variaciones del contenido de N y P total en los sedimentos localizados bajo las jaulas tanto del sitio antiguo como en el sitio nuevo. La ausencia de actividad en la St 1A reflejaría la tasa de recuperación de los sedimentos una vez que cesa la adición de alimento, en cambio en la St 1B reflejaría la tasa de enriquecimiento de un sitio después de 6 meses de actividad de cultivo.



- **Potencial de dispersión de los alimentos y/o heces de los salmónidos**

Otro factor que se debe considerar al plantear la rotación de áreas como estrategia de manejo en un lago, es el de determinar el potencial de dispersión o de desplazamiento de las partículas (restos de alimento y heces) a través de la columna de agua una vez que sobrepasan los límites de la balsa-jaula de tal manera de predecir cuál será el sitio de disposición final de los residuos aportados por el cultivo de los salmones. Este problema ha sido analizado por varios autores (Silvert 1994, Gowen et al. 1994 & Hargrave 1994), y sería un elemento principal de considerar para predecir bajo determinadas condiciones de velocidad de corrientes, de tasas de sedimentación, profundidad, etc., el tamaño de una concesión acuícola mínimo para lograr desarrollar el proceso de rotación de áreas.

De acuerdo a Gowen et al. (1994), la función que permite predecir el sitio o la distancia recorrida por una partícula en la columna de agua en el mar o en un lago es la siguiente:

$$d = V * D/TS$$

donde,

d = distancia recorrida por la partículas (m)

V = Velocidad de las corrientes (m/s)

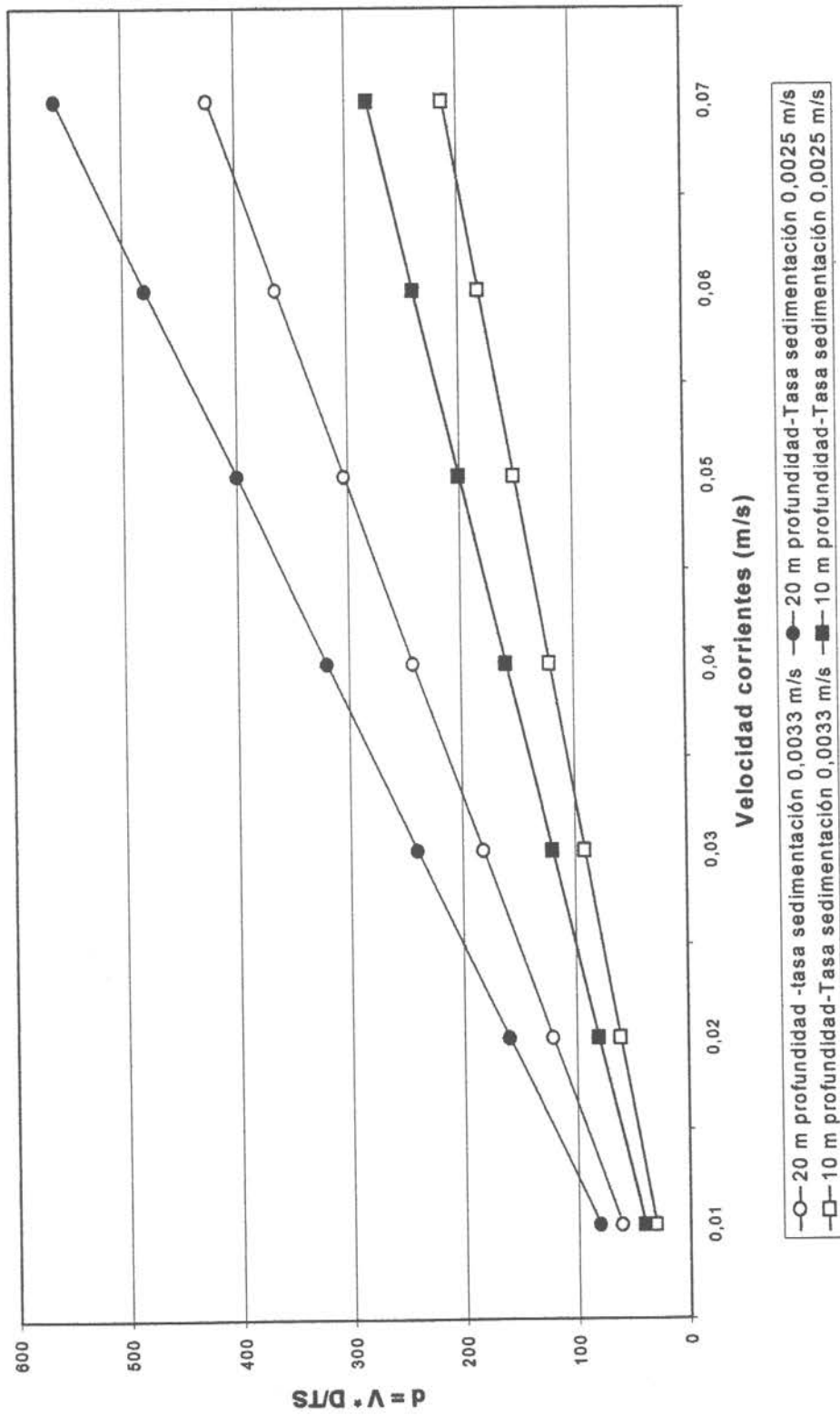
D = es la profundidad del lugar en que se emplaza la balsa (m)

TS = es la tasa de sedimentación de las partículas (m/s), donde la  $TS_{\text{alimento}} > TS_{\text{heces}}$ .

La Fig. 34 muestra las predicciones basadas en la data recolectada para el lago Sofía que la distancia máxima recorrida por una partícula (alimento o heces) no supera los 600 m para una tasa de sedimentación evaluada para el alimento igual a 0,0025 m/s.

Por esta razón, se considera que al formular un plan de manejo de este tipo debieran considerarse ambas variables para plantear el tamaño de una concesión, es decir considerar la tasa de enriquecimiento del bentos y considerar el potencial máximo de dispersión de las partículas generadas por el centro de cultivo.

**MODELO DISPERSION PARTICULAS (GOWEN ET AL 1994)**  
**Distancia de dispersión de partículas, d (m), en la columna de agua del lago Sofia**



**FIGURA N°34:** Aplicación del modelo de Gowen et al. (1994) para simular la distancia (d) recorrida por pellets fecales y/o restos de alimento (m) bajo distintos regímenes de velocidad (m/s)

## CONCLUSIONES

Los principales resultados y conclusiones alcanzadas después de desarrollar este estudio en el lago Sofía, XII Región, entre 1999 y 2000, cuyo principal objetivo era determinar el estado trófico de este cuerpo léntico y la capacidad de carga en términos de definir el número de centros de cultivos dedicados a la salmonicultura capaz de sostener sin comprometer la calidad ambiental actual del lago, son las siguientes:

- El lago Sofía se encuentra localizado al sur del conjunto de lagos que conforman la red léntica del Parque Nacional Torres del Paine, se encuentra a una distancia de 38 km al norte de la ciudad de Puerto Natales, a una altitud de 25 m s.n.m. y a los Latitud Sur. De acuerdo a Clapperton (1993) el lago Sofía podría haber tenido un origen hace 18.000.000 años atrás, ocupa un valle modelado por la acción de los hielos y delimitados por depósitos de morrena. De acuerdo a la clasificación de Hutchinson (1957), este lago corresponde al tipo 28b (es decir, lagos asociados a fiordos). El lago Sofía recibe los aportes del río Rivas y de cinco chorrillos (efluentes de < 2 m de ancho y de < 0,2 m de profundidad) que descargan sus aguas en forma discontinua, dependiendo de la disponibilidad de nieve en la meseta del cerro Mocho, el que forma parte de la cordillera Manuel Señoret.
- De acuerdo al estudio de cuencas y usos de suelo, la cuenca hidrográfica del lago Sofía tiene un área aproximada de 63,6 km<sup>2</sup>, de las cuales 8,9 corresponden a la superficie del lago. Se identificó solamente una cuenca asociada al origen y trayecto del río Rivas más dos subcuencas pequeñas estructuradas por la suma de las quebradas que descargan las aguas desde las cumbres del cerro Mocho hacia el lago. La subcuenca de mayor importancia corresponde a la del chorrillo F.
- A través de las características geomorfológicas y de uso del suelo se observó que en el valle se distingue cinco unidades de paisajes de distinta composición florística, siendo las siguientes:
  - Montañas al norte del Lago (suelo arenoso delgado y roqueros)
  - Terraza lacustre
  - Humedal del Río Rivas (suelo arcilloso y vega plana de gramineas)
  - Planicies onduladas rocosas (suelo arcilloso)
  - Cerros bajos erosionados (suelo delgado sobre roca sedimentaria).

- Las principales características morfométricas del lago Sofía son:

- Latitud	= 51°30'30" S
- Longitud	= 72°40'00" O
- Altitud Promedio (m s.n.m.)	= 25
- Longitud máxima, L, m	= 7194
- Ancho máximo (m), a, m	= 2650
- Ancho promedio (m), $\bar{a}$ , m	= 1275
- Area de la superficie, A, km <sup>2</sup>	= 8,922228
- Profundidad Máxima (m) s. registro ecosonda	= 39
- Profundidad Media (z) = V/A, m	= 22,81
- Volumen (m <sup>3</sup> )	= 247 x 10 <sup>6</sup>

- De acuerdo a las características físicas y químicas de la columna de agua del lago Sofía se puede catalogar como un lago permanentemente mezclado, con ausencia de nutriclinas, con concentraciones de oxígeno relativamente altas (hasta 11 mg O<sub>2</sub>/l) en toda la columna de agua y un límite inferior de 4 mg O<sub>2</sub>/l, que se detecta principalmente en agosto. Presenta una transparencia < 8 m, valores intermedios de conductividad (150 a 170 uS/cm), bajos valores de color, turbidez y seston total. Las concentraciones de P y N total son relativamente altas, con concentraciones de P > 30 ug/l y de N > 900 ug/l. Según los límites entregados por diversos autores para clasificar la trofia de lagos, en el Lago Sofía se observan situaciones atípicas tales como baja concentración de clorofila a, bajos valores de BDO<sub>5</sub>, valores de contenido de oxígeno > 6 mg O<sub>2</sub>/l, que denotarían una columna de agua típica de un lago ultraoligotrófico u oligotrófico. Mientras Inversamente, cuando se comparan las concentraciones de N y P total, se observa que el lago estaría en la categoría de meso-eutroficado.
- El fitoplancton del lago Sofía se compone de 19 especies, cuya abundancia varió en un orden de magnitud durante todo el período de estudio. La especie más abundante y que explica un gran porcentaje de la abundancia es la cianofícea colonial *Merismopedia* sp., fluctuando su aporte entre 64 y 92%. A lo largo del estudio las especies de microalgas recolectadas pertenecen a 4 subclases o divisiones con un total de 18 géneros y 19 especies o taxa discriminantes, con las microalgas Cyanophyceae dominando en términos abundancia, y las Bacillariophyceae y Chlorophyceae en términos de riqueza de especies.

El análisis de la variabilidad temporal muestra que durante el período de estudio la abundancia se ha mantenido en el mismo orden de magnitud, detectándose dos máximos de abundancia fitoplanctónica, uno en noviembre y otro en mayo.

Verticalmente, la comunidad fitoplanctónica no mostró grandes variaciones en términos de abundancia como de riqueza de especies. En todos los estratos la especie más abundante fue la cianophyceae *Merismopedia* sp. (63,8% de la abundancia total) seguida del representante de la división Bacillariophyceae *Melosira distans* (22,8%).

La concentración máxima de clorofila a total fue detectada en noviembre de 1999, alcanzando una concentración de 3,189 mg Cl a m<sup>-3</sup>. Posteriormente, paulatinamente fue decreciendo en aproximadamente 3 veces en mayo y julio, respecto de este valor. De igual modo, la concentración de clorofila a activa a nivel superficial fue superior en el mes de noviembre, alcanzado una concentración de 1,932 mg Cl a m<sup>-3</sup>.

- El zoobentos del lago Sofía se caracteriza por la presencia de 9 especies de invertebrados bentónicos, predominando los oligoquetos en términos de abundancia y los gastrópodos lo hacen en términos de biomasa. La abundancia total fue de 551 individuos y la biomasa total fue de 24,9 g. La macrofauna bentónica se distribuye en gran parte del lago, recolectándose una especie de bivalvo hasta en la zona más profunda del lago. Al establecer comparaciones de riqueza de especies y abundancia en función de la macrofauna asociada a los sedimentos del centro de cultivo versus las estaciones de zonas someras (St 2, 3 y 4), se observó que ambos atributos ecológicos son menores en el bentos recolectado bajo las balsas.
- En el lago Sofía existe solamente un centro de cultivo de propiedad de la empresa Acuimag S.A., el que está autorizado desde 1991 para mantener 12 balsas con smolts de 3 especies de salmónidos (*Salmo salar*, salmón Atlántico; *Onchorynchus kisutch*, Salmón del Pacífico; y, *O. Mykiss*, Trucha Arco Iris). Desde que inició las operaciones la empresa se han cultivado en el lago alrededor de 75 toneladas, utilizando aproximadamente similar cantidad de alimento. Durante el lapso del estudio se determinó que los smolts ingresan con un peso promedio de 4 g y culminan el proceso de esmoltificación o de permanencia en el lago al adquirir un peso de 20 g. Dependiendo de las temperaturas y de la especie, la permanencia de los smolts en el lago se puede extender por 2 a 5 meses. Dependiendo de la densidad, se utiliza diariamente entre 0,5 y 1,0 kg de alimento.

- El análisis de productos quimioterapéuticos se efectuó utilizando carne de salmones cultivados en el lago Sofía como también en sedimentos recolectados bajo las balsas como en un sitio control (St. 2). No se detectaron evidencias de productos quimioterapéuticos en carne de ninguna de las tres especies cultivadas en el lago durante el desarrollo del estudio (Trucha arco Iris, Salmón Atlántico y Salmón Coho). De modo contrario, en los sedimentos se encontraron evidencias de oxitetraciclina tanto bajo las balsas como en el sitio control, existiendo mayores concentraciones en la St 2. Esta situación sugiere que el origen de este producto quimioterapéutico es ajeno al lago y podría ser aportado por la orina del ganado que pasta en las orillas del lago. Un análisis histórico basado en la opinión de la empresa Acuimag S.A. acerca de uso este tipo de productos permitió identificar dos oportunidades en que se ha hecho uso de antibióticos tales como la eritromicina (1997) y florfenicol (agosto, 2000) para controlar enfermedades de tipo bacteriano. Como parte del estudio se generó una importante revisión bibliográfica sobre los productos quimioterapéuticos utilizados en la salmonicultura a nivel nacional. Como parte de este catastro se puede señalar que existen alrededor de 54 productos utilizados en Chile para estos fines, mucho de los cuales aún se encuentran en fase de experimentación. Durante el estudio hubo un brote de hongos que atacaron la aleta caudal de ejemplares smolts del Salmón Atlántico; en esta oportunidad los peces fueron tratados con un agente en polvo denominado Premix (Veterquímica), que actúa como una sal común. Otro producto quimioterapéutico utilizado comúnmente en la empresa es el desinfectante Aqua-Yodo, en especial para el lavado de botas y guantes sobre el muelle y en las balsas.
- Durante el estudio, las balsas fueron cambiadas de lugar (febrero, 2000), lo que ofreció una oportunidad de desarrollar un experimento para determinar tasas de enriquecimiento en áreas sin uso acuícola (St 1B) y tasas de recuperación de un área utilizada en forma casi ininterrumpida durante 10 años (St 1A). Hasta agosto, 2000, después de 6 meses de uso, se observa una rápida recuperación de las características "normales del lago" (ausencia de mal olor por descomposición de los excedentes de alimento y heces, aparición de sedimentos de color pardo, oxigenados, los que han comenzado a cubrir los restos antiguos de sedimentos. De igual manera, en este plazo, los sedimentos de zonas localizadas bajo las balsas del sitio sin intervención previa han comenzado a adquirir características organolépticas alteradas (mal olor, color oscuro de los sedimentos, presencia de restos de alimento y heces, y un aumento en el contenido principalmente de N total).
- En el lago Sofía se evidencian dos tipos de alteraciones por efectos de la presencia de un centro de cultivo: i) un pequeño impacto en las comunidades bentónicas existentes bajo las balsas, que mantienen alterada un



área < 2000 m<sup>2</sup>, con fondos enriquecidos principalmente por excesos de productos nitrogenados, y en donde se evidencia la escasez de fauna de un sitio con actividad permanente durante una década; ii) un impacto de mayor escala que involucra la columna de agua y parece responder al tamaño de los sedimentos en zonas profundas y a la conformación de una pluma de dispersión que tiende a concentrar productos nitrogenados y con fósforo en la zona central del lago.

- De acuerdo a las características de 7 variables consideradas importantes para clasificar la trofia de un cuerpo léntico, se puede señalar que el lago Sofía presenta un estado meso-eutrófico, de acuerdo a los valores obtenidos en seis de ellas.
- Para la hoya hidrográfica del Lago Sofía se muestran seis afluentes, entre los cuales sobresale el río Rivas, el cual presentó un caudal promedio máximo de 0,58 m<sup>3</sup> seg<sup>-1</sup> durante el mes de Agosto del 2000. Los cinco afluentes restantes corresponden a los ríos Chorrillos (A,C,D,E,F), siendo el Chorrillo F el principal en términos de volúmenes de agua que aporta al lago .
- El efluente del Lago Sofía es el Río Sofía cuyo caudal promedio fue de 0,83 m<sup>3</sup> seg<sup>-1</sup>. presentó una temperatura promedio anual de 7,65 °C, siendo ésta superior a la presentada por los afluentes. Presento un pH promedio de 8,08 con un contenido de oxígeno promedio anual de 10,23 mg/l, cuyo valor es ligeramente inferior a los afluentes. Con relación a los nutrientes la concentración promedio anual de Nitrógeno total fue de 1900 µg /l. Para el Fósforo total se registró una concentración promedio anual de 24,47 µg/l.
- Del balance hídrico de la cuenca del lago, se determinó que los aportes de agua por precipitación que alcanzaron la superficie del lago entre Julio 1999 y agosto 2000 fue de 3.354.758 m<sup>3</sup>. A través de los Chorrillos que drenan al lago y el río Rivas ingresaron al Lago Sofía un total de 7.398.453 m<sup>3</sup>, siendo esta cifra el doble de lo aportado por precipitaciones. La evaporación de la superficie del lago fue en total de 1.207.177 m<sup>3</sup>. En la variación temporal del caudal del río Sofía (efluente) se puede visulizar que por cada m<sup>3</sup> que ingresa al lago 2 m<sup>3</sup> salen. Algunos problemas asociados con la determinación del balance hídrico fueron: a) congelamiento de los chorrillos durante invierno (sin aporte al lago), b) ausencia de nieve en la cumbre del cerro Mocho, y c) presencia de neblina húmeda que aumentó el nivel de agua de las bandejas de evaporación por efectos de condensación de agua.
- Se calculó la tasa de renovación total del volumen del lago Sofía, la que se alcanzaría 5,2 años, bajo las condiciones climáticas imperantes durante el estudio.
- El aporte de fósforo total de las aguas de lluvia sobre el lago fue de 102,9 mg/m<sup>2</sup>-año y de 5.586,7 mg/m<sup>2</sup>-año para el caso del nitrógeno.



- Los afluentes aportaron un total de 80,55 mg/m<sup>2</sup>-año de fósforo total, presentando los máximos aportes el río Rivas y el Chorrillo F. Para el caso del nitrógeno, éstos aportaron 5.332,8 mg/m<sup>2</sup>-año.
- El centro de cultivo aportó 16,2 mg/m<sup>2</sup>-año de fósforo total y 80,62 mg/m<sup>2</sup>-año de nitrógeno total. Las trampas de sedimento demostraron que la tasa de sedimentación del P y N total en el centro de cultivo son 40 veces superiores respecto de las tasas naturales de sedimentación en una estación control, fluctuando entre 0,77 y 1,1 g día (ó entre 175 y 227 g/día-m<sup>2</sup>). El contenido de Nitrógeno total en los sedimentos bajo las balsas del centro de cultivo fue entre 24 y 33 veces superior respecto de las otras estaciones someras. En cambio la concentración de P total fue similar entre el centro de cultivo y el de aquellas estaciones localizadas en sitios profundos del lago.
- En el Lago se midieron temperaturas extremas entre 3,02°C para el mes de Agosto y 12,47°C durante el mes de Enero, en lo que se refiere a concentraciones de Fósforo total ésta vario entre 11,55 µg /l y 38,1 µg /l. La concentración de Oxígeno disuelto durante el año varió en un rango de 4,8 mg/l a 11,42 mg/l. La concentración de Nitrógeno total del Lago Sofía durante el año presentó valores entre 910 µg /l y 3263,63 µg /l. En relación, al pH éste vario entre 7,92 y 8,48.
- Se realizó un balance considerando el ingreso y salida (exportación) de fósforo total del lago Sofía en una base anual. Este balance determinó que la carga interna, es decir la proveniente de los sedimentos, es igual a 0,247 toneladas con carga negativa, por lo tanto significa que la carga interna es igual a 0. Se determinó que el ingreso de P total en el lago fue de 0,719 toneladas y la salida fue de 0,472 toneladas.
- Se realizó un balance considerando el ingreso y salida (exportación) de nitrógeno total del lago Sofía en una base anual. Este balance determinó que la carga interna, es decir la proveniente de los sedimentos, es igual a 12,826 toneladas con carga negativa, por lo tanto significa que la carga interna es igual a 0. Se determinó que el ingreso de N total en el lago fue de 47,581 toneladas y la salida fue de 34,080 toneladas.
- La carga crítica estimada para el fósforo fue de 143,89 mg/m<sup>2</sup>-año, valor que sobrepasa en 40,99 mg/m<sup>2</sup>-año a la carga actual que tiene el lago (102,9 mg/m<sup>2</sup>-año). Este hecho indica que el lago dispondría de un margen de aproximadamente 0,36 toneladas de P que podría recibir para cambiar su actual grado de mesotrofia.
- Para estimar la carga crítica del nitrógeno basado en la ecuación de Bachamnn (1984) y planteando que 400 µg/l es el límite de la mesotrofia en sistemas de lagos, se obtuvo que la carga crítica debiera ser igual a 7291 mg/m<sup>2</sup>-año, y la ctual es de 5586,7 102,9 mg/m<sup>2</sup>-año, por lo tanto es posible señalar que existiría un margen de 1704,3 mg/m<sup>2</sup>-año. Es decir existen posibilidades de ingresar hasta 15,2 toneladas de nitrógeno para alcanzar su nivel máximo sin cambiar a un estado eutrófico.

- La carga crítica para el fósforo se alcanzaría en 2,6 años y la carga crítica para el nitrógeno se alcanzaría en 21 años siempre y cuando se mantengan las actuales condiciones ambientales y productivas en el lago (1 tonelada de peces cada 74,3 hectáreas).
- Se realizó un análisis para determinar las áreas más aptas para instalar nuevos centros de cultivo, considerando aspectos batimétricos, fisiográficos, de correntometría, sedimentológicos y de disponibilidad de servicios básicos. De acuerdo al estado de trofia determinado para el lago Sofía el cual se encontraría en el límite superior de un estado mesotrófico con posibilidades de cambiar a un estado inicial de un estado eutrófico se sugiere mantener el estado actual del centro de cultivo de la empresa Acuimag S.A. (no modificar el número actual de balsas autorizadas y no modificar su actual tamaño), como medida preventiva se recomienda no autorizar la instalación de nuevos centros, y se propone aumentar el tamaño de la concesión actual para ofrecer oportunidades de desarrollar un plan experimental de rotación de áreas a la empresa ya existente como el instalar las balsas en zonas con mayor velocidad de corrientes ( $> 2 \text{ cm seg}^{-1}$ ). Se recomienda incorporar tecnología para la recuperación de residuos derivados de los cultivos de salmones.
- De acuerdo al modelo de enriquecimiento del bentos de Gowen et al. (1984), bajo las condiciones de velocidad y a la profundidad en que se localiza el centro de cultivo en el lago Sofía, los residuos derivados de la salmonicultura alcanzarían un radio cercano a 400 m de distancia.
- Las ecuaciones que relacionan las tasas de enriquecimiento para el P y N total en los sedimentos bajo las balsas en un sitio nuevo y en uno antiguo demuestran que para el fósforo se podría alcanzar en 2,83 años una concentración de 0,14% (indicativo de malas condiciones ambientales según lo observado en el lago Sofía). Para el caso del nitrógeno, en aproximadamente 6 años, el uso continuo de un fondo alcanzaría concentraciones de N total igual a 2,31%.
- La principal causa de acumulación de nitrógeno en la columna de agua en el lago estaría, posiblemente asociado, a la ausencia de ambientes anóxicos que permitan desarrollar la nitrificación del amonio a nitrato y a partir de éste generar N gaseoso. Otra posible causa serían las bajas temperaturas que provocaron que durante condiciones invernales se duplicara el nivel de N total en el lago. Esta última situación también se ha observado en una planta de tratamiento de aguas servidas en Puerto Natales.
- Finalmente, a través de este estudio se desea sugerir la incorporación de parámetros o variables indicadores de la calidad de los ambientes bentónicos en la determinación de la calidad de los cuerpos lacustres, la que actualmente se apoya únicamente en las características químicas de la columna de agua.

- Durante la ejecución de este proyecto se efectuaron dos actividades de difusión de los resultados (30 agosto, ante la evaluadora Dra. Lorena Villalobos y el Director Zonal de la XII Región, Ing. Pesquero Patricio Díaz; y el 17 de octubre como parte de una presentación de resultados de proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera realizado en Punta Arenas y que fuera coordinado por el propio FIP y la Dirección Zonal).

### BIBLIOGRAFIA CITADA

- Andersen T 1997. Pelagic nutrients cycles. Herbivores as sources and sinks. Springer-Verlag, Berlín. Ecological Studies 129: 280 p.
- Bachmann RW 1980. Prediction of total nitrogen in lakes and reservoirs. In: U.S. Environment protection Agency, Restoration of lakes and inland waters, International Symposium on inland water and lake restoration, september 8-12, 1980. Portland, Maine: 320-324, EPA 440/5-81-010.
- Bachmann RW 1984. Calculation of phosphorous and nitrogen loadings to natural and artificial lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 22: 239-243.
- Barg UC 1994. Orientaciones para la promoción de la ordenación medioambiental del desarrollo de la acuicultura costera, FAO Documento Técnico de Pesca N° 328.
- Bravo S 1996. Revisión de los medicamentos utilizados para el control de las enfermedades de peces en Chile. Editado por Veterquímica, Chile, 29 p.
- Buckman HO & NC Brady 1993. Naturaleza y propiedades de los suelos. Uteha Noriega Editores, México, 590 p.
- Butman CA 1986. Sediment trap biases in turbulent flows: results of a laboratory flume study. Journal of Marine Research 44: 645-693.
- Campos H, O Parra, A Rodríguez, F Soto, A Hüber, C Oyarzún, D Soto, G Agüero & A Thurner 1995. Determinación de la capacidad de carga (stock explotable) y balance de fósforo y nitrógeno en el lago Rupanco, X Región. Informe Final Convenio FIP-Universidad Austral de Chile, FIP-IT/93-27, 350 p.
- Campos H., JF Gavilán, L. Villalobos, A. Appenzeller, O. Parra, M. Grandjean, M. Mercado, D. Avilés & G. Agüero 1998. Manejo e Investigación aplicada a poblaciones de salmonídeos de importancia deportiva, IX Región. Informe Final presentado al Servicio Nacional de Pesca IX Región por el Instituto de Zoología. Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, 290 p. + 1 anexo.
- Campos H, A Hüber, O Parra, C Oyarzún, L Villalobos, E Jaque, C Beltrán, A. Bravo, M Granjean, D Avilés, G Agüero & C Campusano. 1998. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Natri, Cucao, Huillinco, Tepuhueico y Tarahuín. Informe Final Convenio FIP-Universidad Austral de Chile. Natri (164 p.), Huillinco (218 p.), Cucao (203 p.), Tarahuín (174 p.) & Tepuhueico (169 p.).
- Campos H., Villalobos. L., Grandjean, M., Huber A., Oyarzún, C., Parra, O., Jaque, E., Bertran, C. Bravo, A., Avilés, D., Avila, A. & Agüero 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y

- nitrógeno de los lagos Riesco, Los Palos y Laguna Escondida. Informe Final, Convenio Universidad Austral de Chile-Fondo de Investigación Pesquera, FIP 97-39.
- Cañete JI 1993. Investigación recurso trucha Arco Iris (*Onchorynchus mykiss*) en la Laguna del Maule, Cordillera de los Andes, VII Región. Convenio Gobierno Regional Intendencia del Maule-CAEM Capacitación y Empleo Ltda., Concepción, Chile.
- Cañete JI 1999. Papel de los poliquetos (Annelida) en estudios de impacto ambiental en el mar. Revista Austrouniversitaria, Punta Arenas, Chile, N° 11, pp. 36-38.
- Cañete JI 2000. Catastro de productos quimioterapéuticos existentes en el mercado nacional utilizados en la salmonicultura. Revisión Bibliográfica preparada para el Proyecto FIP 99-26 "Determinación de la capacidad de carga del Lago Sofía en la XII Región.
- Cañete JI, GL Leighton & E Soto. 2000. Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero. Revista de Biología Marina y Oceanografía 35 (2), en prensa.
- Capone DG, DP Weston, Miller V & Shoemaker 1996. Antibacterial residues in marine sediments and invertebrates following chemotherapy in aquaculture. Marine Aquaculture Environment 145: 55-75.
- CONAMA, 2000.- Anteproyecto de norma de calidad para la protección de las aguas continentales superficiales. Resolución Exenta 198 del 7 de marzo, 2000, Comisión Nacional del Medio Ambiente, República de Chile, 18 p. + Análisis General del impacto económico y social del anteproyecto de norma de calidad de las aguas continentales superficiales, Mayo, 2000 (Página WEB CONAMA: Areas Trabajo/Unidad de Economía Ambiental).
- Cortés R 1985. Geología y geomorfología de Última Esperanza entre las latitudes 51 y 52 Sur, I. Geología. En "Transecta Botánica de la Patagonia Austral", CONICET (Argentina), INSTITUTO DE LA PATAGONIA (Chile) y ROYAL SOCIETY (Gran Bretaña), Buenos Aires. Edits. O, Boelcke, D.M.Moore y F. Roig, 733 pp.
- Coyne R, M Hiney & P Smith 1997. Transient presence of oxytetracycline in blue mussels (*Mytilus edulis*) following use at a marine Atlantic salmo farm. Aquaculture 149: 175-181
- Clapperton CM 1993. The quaternary geology and geomorphology of South America. Elsevier, Amsterdam.
- Dentener FJ & PJ Crutzen 1994. A three dimensional model of the global ammonia cycle Journal of Atmospheric Chemistry 19: 331-369.
- Díaz C, C Avilés & R Roberts 1960. Los grandes grupos de suelos de la Provincia de Magallanes, Agricultura Técnica 19/20: 227-308.

- Dillon PJ & FH Rigler 1974. A test of a simple nutrient budget model predicting the phosphorous concentrations in lake water. *Journal of Fishery Research Board of Canada* 31: 1771-1778.
- Dirección General de Aguas. 1978. Normas hidrométricas. Tomo I y II. Departamento de Hidrología, Santiago, Chile.
- Enell M & J Löff 1987. The environmental impact of aquaculture.
- Findlay RH & L Watling 1997. Prediction of benthic impact for salmon net-pens based on the balance of benthic oxygen supply and demand. *Marine Ecology Progress Series* 155: 147-157.
- Galloway JN, WC Keene & GE Likens. 1996. Processes controlling the composition of precipitation at a remote southern hemispheric location: Torres del Paine National Park, Chile. *Journal of Geophysical Research* 101: 6883-6897.
- Gowen RJ, D Smyth & W Silvert 1994. Modelling the spatial distribution and loading of organic fish farm waste to the seabed. In: Hargrave BT (ed.), *Modeling benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture*, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1949: 19-30.
- Håkanson L 1981. *A manual of lake morphometry*. Springer-Verlag, Heidelberg, 78 p.
- Håkanson L & M Jansson 1983. *Principles of lake sedimentology*. Springer-Verlag, Heidelberg, 316 p.
- Håkanson L & M. Wallin. 1991. Use of econometrics analysis to establish load diagram for nutrients in coastal areas. *Marine Aquaculture Environment* 22: 9-23.
- Håkanson L, A Ervik, T. Mäkinen & B Möller 1988. Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. Nordic Council of Ministers. Copenhagen, 1988: 1-103.
- Hargrave BT 1994 (ed.). *Modeling benthic impacts of organic enrichment from marine aquaculture*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1949: 1-125.
- Hedin LO & H Campos 1991. Importance of small streams in understanding and comparing watershed ecosystem process. *Revista Chilena de Historia Natural* 64: 583-596.
- Hektoen H, Berge J.A, Hormazábal V & Yndestad M 1995. Persistence of antibacterial agents in marine sediments. *Marine Aquaculture Environment* 133: 175-184.
- Hutchinson HE. 1957. *A treatise on limnology*. I. Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons. New York.
- INIA 1982. *Distritos agroclimáticos: antecedentes*. Estudio Plan de Desarrollo Tecnológico Agropecuario. Vol VI: Unidad de Trabajo N° 3. Estación Experimental de Kampenaike, Punta Arenas, Chile.



- Jansson M, R Anderson, H. Bergren & L Leonardson, 1994. Wetlands and lakes as nitrogen traps. *Ambio* 23 (6): 320-325.
- Klaver A.L & Matthews R.A 1994. Effects of oxytetracycline on nitrification in a model aquatic system. *Marine Aquaculture Environment* 123: 237-247.
- Lara A & G Cruz. 1987. Vegetación del área de uso agropecuario de la XII Región. Magallanes y de la Antártida Chilena. INIA-Estación Experimental Kampenaike, Punta Arenas, Chile, 23 p.
- Larsen DP & HT Mercier. 1976. Phosphorous retention capacity of lakes. *Journal of Fishery Research Board of Canada* 33: 1742-1750.
- Lorenzen CJ & SW Jeffrey. 1980. Determination of chlorophyll in seawater. UNESCO Technical paper in Marine Science 35: 1-20.
- Lumb CM 1989. Self-pollution by Scottish salmon farms. *Marine Pollution Bulletin* 20: 375-379.
- Lorraine LJ, DM Soballe & BL Jones. 1990. Nutrient budget analyses and phosphorous loading goal for Lake Okeechobee, Florida. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 538-546.
- Margaleff R, 1977.- *Ecología*. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 951 p.
- Markgraf V 1993. Palaeoenvironments and paleoclimates in Tierra del Fuego and southernmost Patagonia. *South America. Palaeo. Palaeo. Palaeo.* 102: 53-68.
- Melillo JM, AD McGuire, DW Kicklighter, B Moore III, CJ Vorosmarty & AL Schloss 1993. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature* 363: 234-240.
- OCDE 1982. *Eutrophication of waters. monitoring, assesment and control*. OCDE, Paris, 154 p.
- Pauer JJ & MT Auer. 2000. Nitrification in the water column and sediment of a hypereutrophic lake and adjoining river system. *Water Research* 34: 1247-1254.
- Phillips MJ & M Beveridge 1986. Cages and effects on water condition. *Fish Farmer* 9 (3): 17-19.
- Pillay TVR 1991. *Aquaculture and the environment*. John Wiley and Sons, New York.
- Prado-Fiedler R 1995. *Métodos analíticos de uso corriente en química del mar*. Publicaciones Ocasionales, Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso, Nº 8, 120 p.
- Prado-Fiedler R, G Leighton, I Serey, N Silva, S Vega & M Escobar 1999. Determinación de la capacidad de carga y balance de fósforo y nitrógeno de los lagos Chapo, Yelcho, Popetán y Laguna San Antonio, en la X Región. Informe Final Proyecto FIP 97-40, Fondo de Investigación Pesquera, Subsecretaría de Pesca, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, 620 p.



- Rachow KH & JT Simpson 1980. A procedure using modeling and error analysis for prediction of lake phosphorous concentration from land use information. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science* 37: 1439-1448.
- Ritz DA, ME Lewis & M Shen 1989. Response to organic enrichment of infaunal macrobenthic communities under salmonid sea cages. *Marine Biology* 103: 211-214.
- Roberts RJ 1989. *Fish Patology*, Baillière Tindall, London, 467 p.
- Rojas CF 1984. Dinámica anual del seston en el estuario del río Queule, IX Región. *Revista de Biología Marina*, Vol 20 (2): 139-
- Roig F, J Anchorena, O. Dollenz, AM Faggi & E Mendez 1985. Las Comunidades Vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral, I. La vegetación del área continental. En "Transecta Botánica de la Patagonia Austral", CONICET (Argentina). INSTITUTO DE LA PATAGONIA (Chile) y ROYAL SOCIETY (Gran Bretaña), Buenos Aires, Edits. O. Boelcke, D.M.Moore y F. Roig, 733 pp.
- Ryding SO & W Rast 1989. El control de la eutroficación en lagos y pantanos. P.J. Editorial Pirámide S.A. y UNESCO, Madrid, España, 375 p.
- Santana A 1984. Variación de las precipitaciones de 97 años en Punta Arenas como índice de posibles cambios climáticos. *Anales del Instituto de la Patagonia. Ciencias Naturales*, Punta Arenas. Chile, 15: 51-60.
- Sáez C 1995. Fertilidad de los suelos de la Región de Magallanes, Universidad de Magallanes. Escuela de Ciencia y Tecnología en Recursos Agrícolas y Acuícolas. Facultad de Ciencias, Punta Arenas, Chile. 29 p., 3 anexos.
- Samuelsen O, V Torsvik, P Kupka Hansen, K Pittman & A Ervik 1988. Organic waste and antibiotics from aquaculture. *International Council for Exploration of the Sea C.M./F. 14: 1-14.*
- Samuelsen OB, BT Lunestad, B Husevåg, T Hølleland & A Ervik. 1992. Residues of oxolinic acid in wild fauna flowing medication in fish farms. *Diseases of Aquatic Organisms* 12: 111-119.
- Soto D, H Campos, WW Steffen, O Parra & L Zuñiga 1994. The Torres del Paine lake district (Chilean Patagonia): A case of potentially N-limited and ponds. *Archives in Hydrobiologie/Supl*, 99, 1/2: 181-197.
- Soto D & L Zuñiga 1991. Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes: A comparison with North American counterparts. *Revista Chilena de Historia natural* 64: 569-581.
- Strickland JDH & TR Parson 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bulletin of Fisheries Research Board of Canada* 167. 310 p.
- Vademecum 1997. *Veterquímica*, 242 p.

- Valderrama JC 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in natural waters. *Marine Chemistry* 10: 109-122.
- Varela C 1978. Morfometría del lago Pullinque (Provincia de Valdivia, Chile). *Medio Ambiente* 3: 59-65.
- Vergara H 1991. Manual de Laboratorio para sedimentología, Instituto de Oceanología. Universidad de Valparaíso. 44 p.
- Vollenweider RA 1968. The scientific basis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorous and nitrogen as eutrophication factor. Technical Report to O.E.C.D., Paris. DAS/CSI/68 (27), 182 p.
- Vollenweider RA 1975. Input-output models with special reference to phosphorous loading concept in limnology. *Schweiz, Zeit, Hydrobiologie* 37: 53-84.
- Vollenweider RA 1976. Advances in defining critical loading level for phosphorous in lake eutrophication, *Mem. Inst. Ital. Hidrobiol*, 33: 58-83.
- Washington Forest Practices, 1993. Rules WAC 222. Method for determination of adequate shade requirements on streams, Bd. Manual Number 6. Department of Natural Resources, Forest Practice Division.
- Weischet W 1956. Ultima Esperanza. Sonderdruck aus *Dier Erde*, Zeitschrift der Gessellschaft für Erdkunde zu Berlin, 88 Jahrg, Heft 2: 128-138.
- Wetzel RG 1981. *Limnología*. Ediciones Omega S.A., Barcelona, 679 p.
- Zamora E & O Dollenz 1985. Geología y geomorfología de Ultima Esperanza entre las latitudes 51 y 52 Sur, II. Geomorfología. En "Transecta Botánica de la Patagonia Austral". CONICET (Argentina). INSTITUTO DE LA PATAGONIA (Chile) y ROYAL SOCIETY (Gran Bretaña), Buenos Aires. Edits. O. Boelcke, D.M.Moore y F. Roig, 733 pp.

UNIVERSIDAD DE MAGALLANES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DPTO. CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES

ANEXO I

PROYECTO

CAPACIDAD DE CARGA DEL LAGO SOFIA EN LA XII REGION  
COD. FIP 99-26

REVISION BIBLIOGRAFICA

CATASTRO

PRODUCTOS QUIMITERAPEUTICOS EXISTENTES EN EL MERCADO  
NACIONAL UTILIZADOS EN LA SALMONICULTURA.

PUNTA ARENAS, ENERO, 2000

## INDICE

1. Introducción
2. Productos Quimioterapéuticos utilizados por la Salmonicultura en Chile según información aportada por el SAG (Servicio Agrícola y Ganadero)
3. Programa de Control de Fármacos del Servicio Nacional de Pesca, Departamento de Sanidad Pesquera
4. Programa de Vigilancia Epidemiológica en Salmonicultura
5. Encuesta acerca de Enfermedades y Productos Quimioterapéuticos utilizados en Centros de Cultivo de la XII Región.
6. Bibliografía
7. Suplementos adjuntos
  - I. Programa de Aseguramiento de la Calidad. Productos Farmacéuticos y Contaminantes en Acuicultura. Guía de trabajo, Departamento de Sanidad Pesquera, Sernapesca, Marzo de 1999.
  - II. Programa de Vigilancia Epidemiológica en Acuicultura. Sernapesca, Informe Periodo Enero-Junio 1999.
  - III. Productos de Uso en Peces Registrados en el Servicio Agrícola y Ganadero.
  - IV. Programa de Control de Fármacos. Manual de Procedimientos, Departamento de Sanidad Pesquera, Sernapesca, Septiembre de 1999.

## 1. INTRODUCCION

Entre las actividades comprometidas en el proyecto "Determinación de capacidad de carga del Lago Sofía en la XII Región", se planteó elaborar una revisión bibliográfica sobre los productos quimioterapéuticos existentes en el mercado nacional utilizados en la salmonicultura. El objetivo de esta revisión es actualizar la lista de productos y normativas que regulan el uso de quimioterapéuticos en la salmonicultura y apoyar las investigaciones realizadas en este proyecto en lo concerniente a la selección de los productos quimioterapéuticos para analizar en este estudio.

La salmonicultura ha tenido un crecimiento acelerado desde que se inició comercialmente en Chile en los años 80. Marcadas condiciones naturales, como la temperatura de las aguas, la geografía de nuestros canales, la disponibilidad de luz, etc., han beneficiado el desarrollo del cultivo del salmón en nuestro país (Samsing, 1998). Uno de los problemas que deben enfrentar los cultivos son las enfermedades, las cuales pueden llegar a producir altos porcentajes de pérdidas. Esto se ha visto acrecentado con la importación de ovas, que han introducido enfermedades inexistentes en Chile (Ovas, 1999). Respecto a este tema se han producido modificaciones a la legislación para complementar las exigencias sanitarias y así imponer condiciones más estrictas a la importación de ovas (Valenzuela, 1999). Este control es fundamental, ya que probablemente por importación de ovas contaminadas introdujo en Chile la Enfermedad Bacteriana del Riñón ó Renicobacteriosis (BKD) y la Necrosis Pancreática Infecciosa (IPN), enfermedades de alto riesgo (Bustos et al, 1999). Estas enfermedades producen grandes pérdidas y obligan el uso de antibióticos, esto último acarrea una serie de alteraciones tanto ambientales, como en los mismos peces.

El uso excesivo de antibióticos y su acumulación en el ambiente crea resistencia por parte de las bacterias a estos fármacos, produciéndose patógenos más agresivos que se van volviendo intratables con los productos quimioterapéuticos disponibles. Además, la administración de antibióticos a los peces, provoca acumulación de residuos en su carne, lo que puede causar daño al consumidor e impedir su comercialización, ya que existen mercados como Estados Unidos y Europa que no aceptan la presencia de ciertos compuestos sobre los límites establecidos (Inglis et al, 1995).

Actualmente se esta incentivando la creación de vacunas contra los patógenos mas comunes y agresivos, ya que el uso de vacunas evitaria la acumulaci3n de residuos en la carne de los peces. Se esta buscando tambi3n un buen m3todo de vacunaci3n, ya que las vacunas inyectables han demostrado ser las mas eficientes, pero producen una gran tasa de estr3s en los animales, provocando por ejemplo, alteraciones en la adaptaci3n al cambio de ambiente de agua dulce a agua salada (Vacunas, 1999).

El Departamento de Sanidad Pesquera del Servicio Nacional de Pesca ha creado el Programa de Aseguramiento de la Calidad, el cual produce el m3ximo de seguridad en todas las etapas del proceso productivo del salm3n. Este programa describe la metodologia de trabajo necesaria para desarrollar un Programa de Aseguramiento de la Calidad, orientado al uso de productos quimioterap3uticos y a controlar la presencia de contaminantes en los centros de cultivo. Los fundamentos del programa se basan en la identificaci3n y an3lisis de los riesgos; la determinaci3n de las medidas preventivas para el control de los riesgos; la identificaci3n de los puntos de control criticos, que corresponden a cualquier paso operacional en un proceso productivo que involucre alg3n riesgo; monitoreo de cada punto de control critico; y, el establecimiento de la documentaci3n correspondiente a todos los procedimientos, creando un sistema de registros.

El objetivo de esta revisi3n bibliogr3fica es recopilar informaci3n acerca de los f3rmacos usados en la salmonicultura en Chile, de las normas existentes que regulan el uso de estos f3rmacos y de las enfermedades que afectan a el cultivo del salm3n en nuestro territorio.

## **2. Productos quimioterap3uticos utilizados por la salmonicultura en Chile, seg3n informaci3n aportada por el SAG ( Servicio Agr3cola y Ganadero).**

Los productos quimioterap3uticos pueden ser aplicados en dos tipos de tratamientos, los tratamientos preventivos y los curativos. En un tratamiento preventivo el f3rmaco es usado para prevenir la aparici3n de una enfermedad, la cual ocurre con cierta periodicidad o se hace presente cuando los peces son sometidos a alg3n manejo que les produzca estr3s. El tratamiento curativo esta enfocado a eliminar o disminuir una enfermedad ya presente en los peces (Bravo. 1996).

En este punto hemos recopilado la informaci3n entregada por el SAG, complementando esta informaci3n con encuestas realizadas directamente en las empresas vendedoras de quimioterap3uticos en

el mercado nacional. Las empresas nos facilitaron las fichas técnicas de cada Fármaco, donde se detallan los nombres comerciales para cada producto, los microorganismos sobre los que actúan, el compuesto activo, el tipo de compuesto quimioterapéutico, la dosis, la cual está sujeta a la opinión de un médico veterinario o un ictiopatólogo, y otras características particulares de cada compuesto, lo que se encuentra resumido en este punto.

A continuación se señalan estas características:

- **Acido oxolínico**

Nombre comercial: **Acido Oxolínico** (elaborados por los laboratorios: Veterquímica, Hoechst Chile Química Farmacéutica Ltda., Arcil signe S.A., Laboratorio Lafi S.A., Quimagro S.A., Agrovét Ltda., Kemifar S.A., Hoechst Roussel Veterinaria Ltda., Biochem Chile S.A., Centrovét Ltda., Recalcine S.A.), **Salmox** (Laboratorio Chile S.A.) y **Bandrol MC** (Laboratorio Veterquímica Ltda.)

- Descripción: Antibiótico perteneciente al grupo de las 4-Quinolonas.
- Composición: Acido oxolínico
- Tratamiento o indicación: Bacterias gram negativas (*Yersinia ruckeri*, *Flexibacter* sp., *Piscirickettsia salmonis* & *Vibrio* spp.).
- Dosis: De 10 a 25 mg por Kg por día durante 10 a 15 días, la dosis en agua de mar es cercana al límite superior.
- Período de resguardo: 300 grados días, para Bandrol MC son 200 grados días.

- **Eritromicina**

Nombre comercial: **Eritromicina** (Laboratorios: Recalcine S.A., Arcil Signe S.A., Agrovét Ltda., Quimagro S.A.), **Macromicin** (Laboratorio Chile S.A.) y **Eritro-Feed** (Laboratorio Veterquímica Ltda.)

- Descripción: Antibiótico perteneciente al grupo de los macrólidos.
- Composición: Eritromicina tiocianato 50 g/100 g.
- Tratamiento o indicación: Bacterias gram positivas como *Renibacterium salmoninarum*, indicada para el tratamiento del BKD (Bacterial Kidney Disease).
- Dosis: De 50 - 100 mg por Kg por día durante 12 a 28 días.
- Período de resguardo: 350 grados días.



- **Flumequina**

- Nombre comercial: **Flumequina** (Laboratorios: Farquímica Ltda., Quimagro S.A., Hoechst de Chile Química y Farmacéutica Ltda., Arcil Signe S.A., Agrovet Ltda., Laboratorio Lafi S.A., Kemifar S.A., Hoechst Roussel Veterinaria Ltda., Biochem Chile S.A., Centrovét Ltda., Recalcine S.A., Animal Services Latina S.A.), **Flox-Feed y Flox-Sol** ( Laboratorio Veterquímica Ltda.) y **Quinoxolin** (Laboratorio Chile S.A.)

- Descripción: Antibiótico del tipo fluoroquinolona.

- Composición: Flumequina

- Tratamiento o indicación: Bacterias gram negativas tales como: *Yersinia ruckeri*, *Flexibacter* sp., *Piscirickettsia salmonis*, *Vibrio* spp., y bacterias de los géneros *Edwardsiella*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*.

- Dosis: Oral: De 10 a 25 mg por Kg por día durante 10 a 15 días.

Flox-Sol es usada en forma de baño con una dosis de 10 a 20g de flumequina por 1000 litros de agua durante 1 a 2 horas.

- Período de resguardo: 300 grados días.

- **Oxitetraciclina**

- Nombre comercial: **Oxitetraciclina** (Laboratorios: Veterquímica, Arcil Signe S.A., Laboratorio Lafi S.A., Quimagro S.A., Kemifar S.A., Biochem Chile S.A.), **Terrivet** (Laboratorio Veterquímica Ltda.) y **Oxosalmin** (Laboratorio Chile S.A.)

- Descripción: Antibiótico o aditivo antibacteriano para peces.

- Composición: Oxitetraciclina (dihidrato) 50g/100g

- Tratamiento o indicación: Bacterias gram negativas (*Yersinia ruckeri*, *Flexibacter* sp., *Piscirickettsia salmonis* & *Vibrio* sp.) y bacterias gram positivas como *Renibacterium salmoninarum*.

- Dosis: De 75 a 120 mg por Kg por día durante 10 a 21 días.

- Período de resguardo: 300 grados días

- **Amoxicilina**

- Nombre comercial: **Amox-Feed** (Laboratorios: Veterquímica Ltda.)

- Descripción: Antibiótico para peces del tipo penicilina semi-sintética.

- Composición: 50 g de Amoxicilina trihidrato por 100 g.

- Tratamiento o indicación: Bacterias gram positivas y gram negativas.

- Dosis: 40 a 80 mg de amoxicilina/ Kg pez/ día, durante 7 a 10 días.

- Periodo de resguardo: 70 grados-dias.

- **Sulfadoxina trimetoprim**

- Nombre comercial: **Ditral 12** (Laboratorios: Veterquímica Ltda.)
- Descripción: Antibiótico o aditivo antibacteriano para peces en solución.
- Composición: 10 g Sulfadoxina y 2 g Trimetoprim por 100 ml.
- Tratamiento o indicación: Actúa sobre un amplio espectro de bacterias como: Estreptococos, Renibacterias, Aeromonas, Edwarsiella, Flexibacter, Pseudomonas, Vibrio y Yersinia.
- Dosis: Oral: 0,25 ml/ Kg pez/ día durante 5 a 7 días mezclandolo con el alimento.
- Baño: durante 1 a 2 horas 100 a 100 ml/ 1.000 litros de agua.

- **Vacuna contra *piscirickettsia salmonis***

- Nombre comercial: **Vacuna Ricketvac Aqua** ( Laboratorio Recalcine S.A.)
- Descripción: Vacuna contra *Piscirickettsia salmonis*.
- Composición: Sobrenadante de cultivos de *Piscirickettsia salmonis* inactivada.
- Tratamiento o indicación: Prevención del Síndrome Rickettsial del Salmón (SRS).
- Administración y Dosis: Vía intraperitoneal, 0,2 ml/ pez, 30 a 45 días previos al traslado al agua de mar.

- **Vacuna contra *yersinia ruckeri***

- Nombre comercial: **Yeni-Vac** ( Laboratorio Veterquímica Ltda.)
- Descripción: Vacuna contra *Yersinia ruckeri*.
- Composición: cultivo total de *Yersinia ruckeri* inactivada con aldehído fórmico.
- Tratamiento o indicación: Prevención de la enfermedad Entérica de la Boca Roja (ERM) o Yersiniosis.
- Administración y Dosis: Por inmersión de los peces. durante 30 segundos en una solución diluida en agua en una proporción 1:10 de solución total. En esta solución se pueden vacunar hasta 100 Kg de peces en 20 inmersiones de 5 Kg por vez.

- **Benzocaina**

- Nombre comercial: **Benzocaina** (Laboratorios: Veterquímica Ltda., Quimagro S.A., Biochem Chile S.A.)
- Descripción: anestésico para peces.

- Composición: 20 g de etil p-aminobenzoato en 100 g.
- Indicación: Se anestecian los peces previo al traslado o a la vacunación.
- Administración y dosis: Se aplica en forma de baño. de 25 a 45 mg/ litro, depende de la temperatura del agua y del tamaño de los peces.

- **Cloramina t**

- Nombre comercial: **Daclor** (Laboratorio Veterquímica Ltda.)
- Descripción: Desinfectante y germicida para peces.
- Composición: 80 g de Cloramina T en 100 g.
- Indicación: Para combatir la enfermedad bacteriana de las branquias (BGD) y el parásito *Ichthyophthirius multifiliis*.
- Administración y dosis: Se aplica en forma de baño a una concentración de 6 a 12 ppm por 1 hora durante 2 a 3 días consecutivos.

- **Yodóforos**

- Nombre comercial: **Aqua Yodo** (Laboratorio Veterquímica Ltda.)
- Descripción: Desinfectante para ovas y utensilios en la piscicultura.
- Composición: 1,5% de yodo activo.
- Indicación: Es efectivo contra una amplia variedad de bacterias, hongos de ovas y virus como IHN, IPN y VHS.
- Administración y dosis: Se aplica en forma de baño a una concentración de 100 ppm, es decir diluyendolo 150 veces, durante 10 min. Cuando se sospecha la presencia de un virus, se usa a 200 ppm.

### 3. Programa de Control de Fármacos del Servicio Nacional de Pesca, Departamento de Sanidad Pesquera.

El Servicio Nacional de Pesca emitió un Manual de Procedimientos, en el cual se especifica la normativa legal existente para el registro y uso de drogas de uso Veterinario en especies acuícolas, como también el control de sus residuos. Cada producto farmacéutico de uso en especies acuícolas deberá estar inscrito en el SAG y deberá contar con un registro con un rol especial. Cada vez que se requiera el registro de un nuevo producto farmacéutico el SAG solicitará la opinión técnica de Sernapesca.

En cuanto al control de residuos de fármacos y contaminantes en productos de la acuicultura, Sernapesca emitió un manual (capítulo V del Manual de Procedimientos), en el cual actualiza y, con el cual reemplaza al "Instructivo para el Control de Residuos de Productos Farmacéuticos de Uso en Peces de Cultivo destinados a Exportación", versión Noviembre de 1997 y lo complementa de acuerdo a la directiva del Consejo 96/23/CE de Abril de 1996, al Federal Register, 21 CR parte 123 de Diciembre de 1995 y al Fish and Fisheries Products Hazards and Control Guide, 2ª edición de Enero de 1998, FDA. El capítulo VI del Manual de Procedimientos, define las Sustancias Prohibidas.

A continuación se entrega la información contenida en ambos capítulos.

#### CAPITULO V

##### • CONTROL DE RESIDUOS DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS

a) El control de residuos se efectuará a través de los Programas de Aseguramiento de calidad de las plantas pesqueras que procesen peces de cultivo. Estos Programas deberán tener incorporados y desarrollados los riesgos de presencia de residuos en niveles superiores a los tolerados, en la carne y piel de pescado.

b) La presencia de residuos en la carne y piel, en niveles superiores a los tolerados, será responsabilidad de las empresas de cultivo de las cuales procedan los pescados. No obstante lo anterior, las plantas dedicadas al procesamiento deberán cumplir ciertas obligaciones en este sistema, tendientes a cautelar los mecanismos de control.

c) Estarán afectos a control de residuos aquellos productos destinados a los mercados que exigen esta certificación.

d) Para los efectos de este manual, se entenderá por:

**Jaula o Estanque:** a las unidades mínimas de tratamiento, según el tipo de centro de cultivo (agua dulce o mar) del cual se originan los peces destinados a proceso.

**Lote:** a los peces que ingresan a una planta de proceso, en un solo día, procedentes de un mismo centro de cultivo. Cada lote podrá estar compuesto por una o más jaulas o estanques o fracciones de éstas.

**Grupo de Tratamiento:** representa a un grupo de peces dentro de un centro de cultivo, perfectamente identificable, el cual puede estar constituido por una o más jaulas o estanques que han sido sometidos a iguales condiciones de manejo farmacéutico.

**Laboratorios de Verificación:** corresponden a aquellos laboratorios reconocidos por Sernapesca para efectuar las labores de análisis estipuladas en el capítulo V, punto C de este Manual, referidas a las verificaciones.

**Laboratorios de Análisis:** corresponden a aquellos laboratorios autorizados por Sernapesca para efectuar los análisis y emitir los informes pertinentes reseñados en el capítulo V, punto A.1.1, letra b.

#### **A.1. Obligaciones de las Empresas de Cultivo**

Las empresas de cultivo deberán acreditar que los niveles de residuos no superan los tolerados en cada lote que ingrese a proceso. Para esto deberán presentar una Declaración de Garantía suscrita por quien la empresa designe, en el cual se afirme que las jaulas o estanques destinados a proceso "han cumplido con los periodos de resguardo mínimos necesarios para alcanzar niveles inferiores a los límites establecidos por las normativas de los mercados de destino, para residuos de productos farmacéuticos de uso veterinario".

La Declaración de Garantía debe además, consignar lo siguiente:

- Nombre, RUT, cargo que desempeña en la empresa de cultivo, fono, fax y dirección laboral de quien suscribe.

- Jaulas o estanques que cubre la Declaración de Garantía, indicando sus códigos o números, plataforma(s), centro de cultivo y empresa.
- Cantidad de pescados, especie y número de guía de despacho (puede complementar esta información con cepa y temporada productiva de los peces).
- Fecha de emisión de la Declaración de Garantía y folio de la misma.
- Tipo de documento que respalda la Declaración de Garantía (orden del médico veterinario, informe de análisis o declaración jurada y su correspondiente folio u otra identificación).

Cada Declaración de Garantía respalda únicamente a los peces que conforman a un lote. Este documento debe ser presentado al ingreso a la planta por cada lote recepcionado. Asimismo, cada Declaración de Garantía deberá estar respaldada en los archivos sanitarios de la empresa de cultivo, por alguno de los tres documentos que se señalan a continuación, el cual deberá estar disponible para Sernapesca.

**a.- Orden o prescripción Médico Veterinaria:**

- Debe ser suscrita por un profesional Médico Veterinario u otro legalmente habilitado para recetar productos farmacéuticos de uso veterinario.
- Debe identificarse con su nombre, RUT y cargo o función que desempeña en la empresa de cultivo (indicar si es asesor externo). Además, debe indicar fono, fax y dirección laboral.
- Debe identificar las jaulas o estanques y plataformas respaldadas por la Orden o Prescripción, señalando su código o número, especie, centro de cultivo y empresa.
- Fecha de tratamiento, producto utilizado (principio activo y nombre comercial), dosis utilizada y fecha de inicio y término del tratamiento.
- Fecha en que pueden ser cosechadas las jaulas o estanques previamente identificados conforme a los tratamientos aplicados, o bien el periodo de resguardo establecido en grados días por el Médico Veterinario tratante.
- Cada Orden o Prescripción Médico Veterinaria debe estar foliada.
- Fecha de emisión de la Orden o Prescripción Médico Veterinaria.

**b.- Informe de Análisis:** señala los niveles residuales detectados en la(s) jaula(s) o estanques analizados a partir de muestras representativas. El informe deberá cumplir además, con lo siguiente:

- Debe ser suscrito y emitido por un laboratorio autorizado por Sernapesca para efectuar análisis de residuos de drogas.
- Debe señalar fecha de emisión, nombre, firma y profesión del analista y responsable del informe. Deberá ser foliado o claramente identificable.
- Debe identificar la especie, empresa y centro de cultivo, código o número de las jaulas o estanques que respalda el informe.

**c.- Declaración Jurada Simple** emitida por el representante legal de la empresa de cultivos. Este mecanismo sólo se aceptará cuando los peces destinados a proceso no hayan sido sometidos a tratamiento alguno por un período mínimo de cuatro meses. La declaración jurada simple deberá consignar lo siguiente:

- Nombre, firma y cargo de quien declara.
- Dirección, fono y fax.
- Identificar expresamente la especie, empresa y centro de cultivo y jaulas o estanques (con sus números o códigos), que respalda la declaración jurada simple.
- Señalar expresamente que las jaulas o estanques identificados no han sido expuestos a productos farmacéuticos de uso veterinario en los últimos cuatro meses.
- La Declaración Jurada deberá ser foliada o claramente identificable.

Los documentos señalados precedentemente, en los literales a, b y c, podrán respaldar un grupo de tratamiento completo, no obstante deberán identificar claramente cada una de las jaulas o estanques constituyentes.

La ausencia de documento de respaldo pertinente en los registros del centro de cultivo, o la no presentación de la Declaración de Garantía por parte de la empresa de cultivo, en dos oportunidades, determinará la suspensión automática de la certificación sanitaria vía P.A.C. para los productos pesqueros provenientes de aquellas empresas de cultivo que incurran en dicha omisión. Esta condición se prolongará hasta la presentación de la documentación correspondiente. Sin perjuicio de lo anterior, la planta de proceso siempre deberá implementar la acción correctiva prevista en el punto A.2.3.



El Servicio fiscalizará la existencia y contenido de los documentos de respaldo de la Declaración de Garantía, la cual podrá ser efectuada en forma periódica o intensiva; en forma dirigida o al azar, con inspecciones in situ de los registros o solicitando copia via fax u otro mecanismo que se estime pertinente.

El Servicio Nacional de Pesca ha desarrollado el Programa de Aseguramiento de Calidad para productos farmacéuticos y contaminantes en la acuicultura con el fin de apoyar la labor de prevención y control en los centros de cultivo.

Los centros de cultivo deberán guardar registros de todos los tratamientos efectuados en, al menos, los últimos dos años, los cuales deberán señalar producto utilizado (nombre genérico y comercial), dosis utilizadas, fecha de inicio y término del tratamiento, periodo de resguardo aplicado y fecha de cosecha. Estos registros deberán estar disponibles para el Servicio en caso que sean solicitados.

## **A.2. Obligaciones de las Plantas de Proceso**

Toda planta de proceso que cuente con un Programa de Aseguramiento de Calidad deberá exigir como medida preventiva, al ingreso de materia prima procedente de centros de cultivo de peces, la Declaración de Garantía reseñada en el punto A.1.1., destinada a acreditar que los residuos no sobrepasan los máximos tolerados.

La existencia de la citada Declaración de Garantía deberá ser monitoreada por la planta de proceso y quedar convenientemente archivada y a disposición de los profesionales de Sernapesca, quienes supervisan la operatividad de los Programas de Aseguramiento de Calidad.

En el evento que la empresa de cultivo no haya presentado la Declaración de Garantía en original sobre residuos, la planta de proceso a modo de acción correctiva deberá mantener en observación la partida e informar a la empresa de cultivos con el fin que se remita la documentación pertinente. Si el problema no es resuelto oportunamente, se deberá tomar cinco muestras de la partida ingresada, con el objeto de comprobar que los niveles de drogas de uso veterinario no superan los tolerados, utilizando para ello el mecanismo expuesto en el punto C del Capítulo V de este Manual. Una vez tomadas las cinco muestras, la planta podrá procesar el lote, el que deberá ser mantenido en observación a la espera de los resultados del Laboratorio de Verificación. Para estos efectos se realizarán los controles correspondientes a las Verificaciones de ese mes, según lo señalado en el Anexo I. Para estos efectos el periodo prudente

de espera, para proceder al envío de las muestras al laboratorio de verificación de residuos, será un máximo de 24 horas.

En ausencia de la Declaración de Garantía, la no aplicación de la acción correctiva según lo indicado en el número 3 precedente, determinará que el funcionario de Sernapesca proceda conforme a lo establecido en el Manual de Procedimientos del Programa de Aseguramiento de Calidad, capítulo VI de Supervisión.

Las plantas de proceso deberán incorporar en sus P.A.C., dentro de las verificaciones, el muestreo y análisis destinado a detectar la presencia de residuos, de acuerdo al mecanismo señalado en el punto C correspondiente a Verificaciones.

## **B. CONTROL DE CONTAMINANTES**

Se entenderá por contaminante a toda sustancia química proveniente de la actividad industrial en general, pesticidas y elementos tóxicos contenidos en las aguas donde los peces son mantenidos y que pueden acumularse en la carne de estos en niveles que pueden causar daño al consumidor.

El control de contaminantes se efectuará a través de los Programas de Aseguramiento de Calidad de las plantas pesqueras que procesen peces de cultivo. Estos programas deberán tener incorporados y desarrollados el riesgo de presencia de contaminantes en la carne y piel de pescado.

La presencia de contaminantes en carne y piel de pescado será responsabilidad de la empresa de cultivo de la cual procedan los pescados, no obstante lo anterior, las plantas dedicadas al procesamiento deberán cumplir ciertas obligaciones en este sistema, tendientes a cautelar los mecanismos de control y prevención.

Estarán afectos al control de contaminantes aquellos productos destinados a los mercados que exigen esta certificación. Los contaminantes se indican en el anexo II de este Manual.

### **B.1. Obligaciones de las Empresas de Cultivos**

- Las empresas de cultivo deberán acreditar la ausencia de contaminantes en cada lote que ingresa a proceso. Para esto deberá indicarse en la Declaración de Garantía que los peces provenientes de las jaulas o estanques destinados a proceso "fueron cosechados de aguas no contaminadas con químicos de manera que en la carne y piel de pescado no se encuentran niveles que superan las tolerancias establecidas por los mercados de destino".

- Se debe indicar la ausencia de residuos de productos farmacéuticos de uso veterinario y contaminantes en la misma Declaración de Garantía, señalada en el punto A.1.1. del capítulo V de este Manual.
- Para respaldar la Declaración de Garantía, cada centro deberá monitorear sus peces para pesquisar presencia de contaminantes y deberá mantener en los archivos del centro los resultados del monitoreo.
- Para lo señalado en el punto anterior, cada centro de cultivo deberá ser monitoreado semestralmente tomando las muestras en condiciones de mayor riesgo.
- Adicionalmente, se debe tomar muestras después de la presentación de hechos inusuales de riesgo que puedan afectar al centro de cultivo. La toma de muestra deberá efectuarse en el centro de cultivo sobre peces próximos a la cosecha y con un  $n=5$ .
- Las muestras podrán ser tomadas por personal idóneo designado por la empresa de cultivos y deben ser enviadas a laboratorios autorizados por Sernapesca. Los informes de análisis deberán ser archivados en el centro de cultivo como respaldo a lo que se señale en las Declaraciones de Garantía.

Estos informes de análisis deberán contener al menos lo señalado a continuación:

- Debe ser suscrito y emitido por un laboratorio autorizado por Sernapesca para efectuar análisis de contaminantes.
- Debe señalar número, fecha de emisión, nombre, firma y profesión del analista y responsable del informe.
- Debe identificar claramente la especie, empresa y centro de cultivo, código o número de las jaulas o estanques que respalda el informe.

Los métodos químicos necesarios para efectuar estos análisis son reseñados en la Norma Técnica LAB/NT4.

La ausencia del documento de respaldo pertinente en los registros del centro de cultivo, o la no presentación de la Declaración de Garantía por parte de la empresa de cultivos, en dos oportunidades, determinará la suspensión automática de la certificación sanitaria vía P.A.C., para aquellas empresas de cultivo que incurran en dicha omisión. Esta condición se prolongará hasta la regularización del sistema.

El servicio fiscalizará la existencia y contenido de los documentos de respaldo de la Declaración de Garantía, lo cual podrá ser efectuado de manera regular o intensiva; en forma dirigida o al azar, con inspecciones in situ de los registros o solicitando copia vía fax u otro mecanismo que se estime pertinente.

El Servicio Nacional de Pesca ha desarrollado el Programa de Aseguramiento de Calidad para productos farmacéuticos y contaminantes en la acuicultura con el fin de apoyar la labor de prevención y control en los centros de cultivo.

## **B.2. Obligaciones de las Plantas de Proceso**

- Toda planta de proceso, que cuente con un Programa de Aseguramiento de Calidad deberá exigir como medida preventiva, al ingreso de materia prima procedente de centros de cultivo de peces, la Declaración de Garantía reseñada en el punto B.1.1., que acredita que los peces destinados a proceso no sobrepasan los límites de contaminantes permitidos por los mercados de destino.
- La existencia de la citada Declaración de Garantía deberá ser monitoreada por la planta de proceso y deberá quedar convenientemente archivada y a disposición de los profesionales de Sernapesca, quienes supervisan la operatividad de los Programas de Aseguramiento de Calidad.
- En el evento que la empresa de cultivos no hubiese presentado la Declaración de Garantía en original sobre contaminantes, la planta de proceso a modo de acción correctiva deberá mantener en observación la partida e informar a la empresa involucrada con el fin que se remita la documentación pertinente. Si el problema no es resuelto oportunamente, se deberá tomar cinco muestras de la partida ingresada, con el objeto que no exista presencia de contaminantes, utilizando para ello el mecanismo expuesto para las verificaciones en el punto C del capítulo V de este Manual. Una vez tomadas las cinco muestras, la planta podrá procesar el lote, el que deberá ser mantenido en observación a la espera de los resultados del Laboratorio de Verificación. Para estos efectos se realizarán los controles correspondientes a las Verificaciones de ese mes según lo señalado en el Anexo I.
- Para estos efectos, el periodo prudente de espera, para proceder al envío de las muestras al laboratorio de Verificación de contaminantes, será un máximo de 24 horas.
- En ausencia de la Declaración de Garantía, la no aplicación de acción correctiva según lo indicado en el párrafo precedente, determinará que el funcionario de Sernapesca proceda conforme a lo establecido en el Manual de Procedimientos del Programa de Aseguramiento de Calidad.

- Las plantas de proceso deberán incorporar en sus P.A.C., dentro de las verificaciones, el muestreo y análisis destinado a detectar la presencia de contaminantes de acuerdo al mecanismo señalado en el punto de verificaciones.

### C. VERIFICACIONES

1. Las plantas de proceso deberán incorporar en sus programas de verificaciones, el análisis de 5 muestras mensuales para residuos de productos farmacéuticos y contaminantes
2. Las verificaciones estarán orientadas a pesquisar la presencia de residuos de productos farmacéuticos y contaminantes, debiendo dichas muestras ser analizadas por un Laboratorio de Verificación reconocido para dicho efecto.
3. el mecanismo de verificación de productos farmacéuticos y contaminantes señalado, se efectuará de la siguiente forma:
  - a) Cinco análisis destinados a la detección de residuos de Oxitetraciclina, con un método de detección microbiológico con sensibilidad suficiente para detectar, al menos 0.015 ppm.
  - b) Cinco análisis mediante un método microbiológico que servirá de screening para detectar la presencia de otras drogas antimicrobianas (quinolonas, florfenicol, sulfas, betalactámicos y cefalosporinas).
  - c) Un análisis comprobatorio para confirmar la ausencia de quinolonas (ácido oxolinico, flumequina, enrofloxacino y ciprofloxacino), mediante un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales de 5 ppb.
  - d) Análisis de sulfas y florfenicol por un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales.
  - e) Análisis de ivermectina y verde de malaquita por un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales de las sustancias químicas (Químico 3 y 4, Anexo I).
  - f) Análisis de organoclorados y organofosforados por un método instrumental que permitirá detectar niveles residuales de estos contaminantes (Químico 1 y 2, Anexo I).

La determinación de residuos de drogas antimicrobianas será realizada mensualmente para quinolonas y oxitetraciclina, bimensual para sulfas y florfenicol, y trimestralmente, en forma aleatoria, para sustancias químicas, organofosforados, organoclorados, ivermectina y verde de malaquita. Ver esquema explicativo en Anexo I.

Las cinco muestras consideradas para la verificación, serán suficientes para efectuar todas las determinaciones indicadas previamente. Conforme con las exigencias y dinámicas de los mercados de destino y condiciones de uso de drogas a nivel nacional, podrá ser incorporado el análisis de residuos de otras drogas.

4. Las muestras de verificación deberán ser tomadas al ingreso de la materia prima a la planta y en lo posible de una misma jaula o estanque. Se recomienda dirigir en forma aleatoria e imprevista los sucesivos muestreos entre los diferentes orígenes de la materia prima, ya sea centros de cultivo o empresas.
5. En relación a la toma de muestras y su procedimiento de envío, se debe cumplir con lo siguiente:
  - a) Las muestras deben ser obtenidas por el responsable del P.A.C. (Jefe de Control de Calidad o Jefe de Aseguramiento de Calidad) o muestreador autorizado por Sernapesca. Este procedimiento se debe realizar en presencia de un inspector de Sernapesca quién deberá seleccionar las muestras al azar y sellar las cajas despachadas al laboratorio de verificación.
  - b) La identificación de la muestra debe considerar jaula, identificación del lote, centro de cultivo, empresa de cultivo, especie (nombre científico), zona del pescado del cual se obtuvo la muestra, fecha de muestreo y planta pesquera donde se elaboró el producto.
  - c) Cada muestra debe estar constituida por un trozo de músculo con piel, de alrededor de 100 gramos.
  - d) Las muestras deben ser enviadas en adecuadas condiciones de aislamiento y bajo frío, debiendo ser remitidas directamente al laboratorio de verificación. La empresa o muestreador debe responsabilizarse del envío y comunicar al laboratorio, vía telefónica o fax, el despacho de las muestras.

6. Los resultados obtenidos a través de las verificaciones serán remitidos directamente por el Laboratorio de Verificación al Departamento de Sanidad Pesquera, el cual enviará copia del informe a la Empresa de Cultivo.
7. El Laboratorio de Verificación hará llegar a la planta de proceso una constancia por medio de la cual se identifica el número del informe despachado al Servicio. Dicha constancia no incluirá los resultados del análisis. Los resultados serán remitidos por Sernapesca a las empresas de cultivos involucradas.
8. Las empresas de cultivo que requieran que el resultado de las verificaciones sea remitido a la planta de proceso de la cual se originan las muestras, deberán informarlo por escrito al Departamento de Sanidad Pesquera.
9. Las plantas de proceso que no hayan ingresado materia prima durante los últimos 30 días, suspenderán el proceso de verificaciones, hasta que se produzcan nuevos ingresos.
10. Las plantas que reciban materia prima semi procesada de plantas con P.A.C. (producto congelado para ser ahumado, por ejemplo) deberán realizar la correspondiente verificación mensual para productos farmacéuticos y contaminantes. Para el ingreso de esta materia prima a proceso se deberá exigir una declaración a la planta de origen que indique que participa del Programa de Verificaciones de Residuos de Sernapesca, identificando claramente la partida que esta ingresando, así como la Declaración de Garantía que respaldó el ingreso de los peces a la planta.

#### D. LABORATORIOS

1. El servicio define en el Manual de Procedimientos de Laboratorios (LAB/MP4/) las condiciones para participar del sistema de control de residuos, como Laboratorio de Verificación de residuos y Contaminantes o como Laboratorio de Análisis de residuos o contaminantes.
2. El Servicio dispone de una nómina actualizada de laboratorios autorizados para el análisis de residuos o contaminantes.



## E. CONTROL E INSPECCIONES DE SERNAPESCA

1. **Inspecciones en planta:** Los funcionarios del Servicio deberán supervisar que las obligaciones de la planta de proceso se estén efectuando conforme a lo dispuesto en este Manual. Se deberán verificar que los lotes ingresados a proceso efectivamente hayan presentado las Declaraciones de Garantía. Asimismo, será necesario determinar si el contenido de las declaraciones obedece a lo estipulado en este Manual.

### 2. Inspecciones en Centros de Cultivo:

Los funcionarios de Sernapesca podrán solicitar los registros y documentos de respaldo de las declaraciones emitidas para los lotes destinados a proceso. Para esto es conveniente tener información previa de lotes procesados en planta y contenidos de las declaraciones emitidas por la empresa de cultivos, a objeto de correlacionar información y determinar el nivel de coherencia de los datos obtenidos en ambas inspecciones. Para realizar estas inspecciones se deberá utilizar la Pauta de Inspecciones para Centros de Cultivo, FAR/SI3/.

### Verificaciones:

Cuando los resultados emitidos por el Laboratorio de Verificación sean desfavorables, se procederá según lo señalado a continuación:

#### a.- Lotes provenientes de un centro de cultivo con resultados desfavorables a Verificación en una primera oportunidad:

La oficina central dará aviso inmediato vía telefónica y vía fax a la Dirección Regional de Sernapesca y a la empresa de cultivos involucrada y solicitará un informe con antecedentes que permitan realizar un seguimiento del problema. Si del análisis de la información se desprende que la totalidad o parte del producto fue exportado, se solicitará a la empresa la devolución del producto desde el país de destino. No obstante Sernapesca evaluará cada caso y procederá a dar aviso a la autoridad competente en el país de destino, cuando los antecedentes así lo ameriten.

Acciones frente a la existencia de productos o peces afectados en nuestro país: Si existen peces afectados en el centro de cultivo, se deberá tomar las acciones correctivas que correspondan para ese

riesgo. Si existe producto afectado Sernapesca informará de estos resultados al Servicio de salud en el marco del Plan Nacional de Residuos que lleva el Ministerio de Salud. También se notificará a las Direcciones regionales de Sernapesca, la identificación del producto problema con el objeto de supervisar la disposición final de éste. La empresa de cultivo deberá realizar una revisión de sus procedimientos internos, de manera de garantizar que no repetirá un problema similar.

**b.- Lotes provenientes de un centro de cultivo con resultados desfavorables a Verificación en más de una oportunidad.**

Se entenderá por más de una oportunidad a la obtención de resultados desfavorables a verificación en el mismo centro de cultivo dentro de los 12 meses posteriores a la verificación con resultados desfavorables al mismo grupo de sustancias (Producto Farmacéutico o Contaminantes).

Se procederá según lo señalado en el punto anterior (a). Todos los lotes provenientes del centro de cultivo afectado enviados a planta, deberán ser analizados para el control de residuos de productos farmacéuticos o contaminantes, según corresponda. Los centros de cultivo quedarán sujetos a esta disposición hasta la obtención de resultados satisfactorios por 6 lotes consecutivos enviados a planta.

Las muestras deberán ser tomadas en planta por una persona autorizada, asignada especialmente para estos efectos por la empresa de cultivos.

La identificación de la muestra debe considerar jaula, identificación del lote, centro de cultivo, empresa de cultivo, especie (nombre científico), zona del pescado de donde se obtuvo la muestra, fecha de muestreo y planta pesquera donde se elaboró el producto. De cada lote ingresado a la planta se tomarán 5 muestras, cada muestra debe estar constituida por un trozo de músculo con piel, de alrededor de 100 gramos.

Las muestras deben ser enviadas en adecuadas condiciones de aislamiento y bajo frío, debiendo ser remitidas directamente al domicilio del laboratorio de verificación. La empresa o muestreador autorizado, deberá responsabilizarse del envío y comunicar al laboratorio, vía telefónica o fax, el despacho de las muestras.

El muestreador será el responsable por el despacho de las muestras al laboratorio de verificación. El costo del muestreo y análisis será de cargo de la empresa de cultivo.

La empresa de cultivo será la responsable de informar al Departamento de Sanidad Pesquera el cumplimiento de los muestreos correspondientes al centro de cultivo afectado.

## CAPITULO VI

### CONTROL DE SUSTANCIAS PROHIBIDAS

De acuerdo a la normativa de SERNAPESCA, se entenderá por sustancia prohibida o producto no autorizado a las sustancias o productos cuya administración a un animal esté prohibida por la legislación chilena y de los mercados de destino. Las sustancias prohibidas para especies hidrobiológicas que serán controladas son esteroides, estilbenos, dimetridazol, cloranfenicol y nitrofuranos.

El muestreo de estas sustancias se debe realizar directamente en los centros de cultivo, tomando peces en todas las etapas de producción. El tamaño de la muestra deberá ser de  $n=5$ , tomados de una misma etapa de producción.

El procedimiento será realizado por un inspector de Sernapesca quién emitirá un informe de muestreo. El centro de cultivo debe proveer los materiales necesarios para la toma de muestra y el despacho.

Las muestras deberán ser enviadas al laboratorio de verificación para su análisis. El costo de análisis y envío de las muestras será de cargo del centro de cultivo. La frecuencia de muestreo será una vez al año para cada centro de cultivo. Frente a resultados desfavorables se procederá a lo señalado en el punto E.3 de este Manual, referido a Control e Inspecciones de Sernapesca.

TABLA I

## ESQUEMA DE VERIFICACIONES MENSUALES PARA PLANTAS DE PROCESO

Mes	DETERMINACIONES AL AZAR
1	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
2	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
3	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
4	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4
5	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
6	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
7	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
8	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4
9	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
10	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
11	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
12	Screening Microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4

## TABLA II

## LISTA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS INCORPORADAS A LAS VERIFICACIONES

## ➤ Sustancias Químicas

1. Aldrin
2. Dieldrin
3. Clordano
4. DDT
5. TDE
6. DDE
7. Heptacloro
8. Heptacloro epóxico
9. Mirex
10. PCB
11. Diquat
12. 2.4-D
13. Metil mercurio
14. Verde de Malaquita
15. Ivermectina

TABLA III

LÍMITES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS PERMITIDAS EN CARNE Y PIEL DE PESCADO POR  
MERCADOS REGULADOS

	USA	UE
1.- Antimicrobianos:		
- Oxitetraciclina	2 ppm	0.1 ppm
- Ácido oxolinico	ausencia	ausencia
- Flumequina	ausencia	0.15 ppm
- Enrofloxacino	ausencia	ausencia
- Sulfas	ausencia	0.1 ppm
- Florfenicol	ausencia	ausencia
2.- Sustancias Químicas:		
- Aldrin	0.3 ppm	
- Dieldrin	0.3 ppm	
- Clordano	0.3 ppm	
- DDT	5.0 ppm	
- TDE	5.0 ppm	
- DDE	5.0 ppm	
- Heptacloro	0.3 ppm	
- Heptacloro epóxico	0.3 ppm	
- Mirex	0.1 ppm	
- PCB	2.0 ppm	
- Diquat	0.1 ppm	
- Metil mercurio	1.0 ppm	
- 2.4-D	1.0 ppm	
- Verde de Malaquita	ausencia	
- Ivermectina	ausencia	
3.- Sustancias Prohibidas:		
- Esteroides	ausencia	
- Estilbenos	ausencia	
- Dimetridazol	ausencia	
- Cloranfenicol	ausencia	
- Nitrofuranos	ausencia	

## 1. Programa de Vigilancia Epidemiológica en Salmonicultura

El Servicio Nacional de Pesca elabora semestralmente un informe que recopila información acerca de la presencia de enfermedades o agentes etiológicos presentes en áreas geográficas preestablecidas de nuestro país. Esta información fue obtenida de los datos que mensualmente envían los Laboratorios incorporados a la nómina oficial de Laboratorios Reconocidos por Sernapesca.

Los datos se obtuvieron en el periodo que corresponde entre los meses de Enero de 1999 y Junio de 1999.

Se definen 20 áreas las cuales corresponden a las siguientes:

Maule, Concepción/Nehuentué, Valdivia, Panguipulli, Lago Puyehue, Lago Rupanco, Lago Llanquihue, Lago Chapo, Osorno, Estero de Reloncavi, Seno de Reloncavi, Fiordo Comau, Calbuco/Chiloé insular, Castro, Lago Huillinco, Chaitén, Lago Natri, Chiloé Sur, Cisnes y Aysén (Tabla N°1, anexo 2).

Para cada una de estas áreas, se indican los agentes etiológicos o las enfermedades presentes en el área predeterminada, las especies analizadas y el lugar de origen de las muestras.

El Programa de Vigilancia Epidemiológica no informa alguna zona en la XII Región, para esclarecer la situación de dicha región se recurrió a la oficina local del Servicio Nacional de Pesca, al Informe Técnico FIP-IT/ 93-29 y directamente a la empresa Acuimag, que cuenta con la concesión de un centro de cultivo en el Lago Sofía.

## 5. Encuesta acerca de enfermedades y productos quimioterapéuticos utilizados en Centros de Cultivo de la XII Región

La XII Región ha sido considerada a lo largo de muchos años como una región libre de enfermedades, esto ocurre principalmente por las condiciones de baja temperatura existentes en la región.

Entre 1992 y 1994 un 20% de los centros de cultivo de mar de la XII Región presentaron renicobacteriosis ó BKD. en la zona de Rio Verde. los que afectaron a salmones coho en balsas jaulas. Esta enfermedad puede atacar a los salmones tanto en la etapa de agua dulce como en la de agua salada, es producida por la bacteria gram (+) *Renicobacterium salmoninarum*, produciendo una granulosis nodular o difusa del riñón y de los órganos internos (Reichenbach-Klinke, 1982).

Se cuenta con información de un brote de Síndrome Rickettsial del Salmón (SRS) en el canal Señoret, Puerto Natales, pero se consideran libres de SRS las aguas continentales de la XI y XII Regiones. La piscirickettsiosis o SRS es producida por la bacteria *Piscirickettsia salmonis*, un parásito intracelular



gram (-), que produce infección sistémica, atacando principalmente a los riñones, hígado, bazo, corazón, intestino, ovarios y branquias (Kuzik et al, 1996). El hecho de ser una bacteria intracelular dificulta el tratamiento (Fryer et al, 1997).

Tanto BKD como SRS, se consideran enfermedades de alto riesgo, ya que producen mortalidades superiores al 10% acumulado por brote, no son controlables y producen secuelas en los peces sobrevivientes, como: tumores, deformidades, disminución en el crecimiento y presencia de peces portadores (Smith et al, 1997).

En el lago Sofia se produjo a fines de 1996 un brote de BKD, en este caso se trataron aproximadamente 300.000 peces con Eritromicina oral a una dosis de 80 mg/ kg por 18 días. Este es el único antecedente de algún producto quimioterapéutico usado en el lago.

Durante el desarrollo del estudio apareció un brote de hongos en los peces cultivados (post-alevines de salmón del Atlántico) en el lago Sofia el cual ha sido tratado con el Polvo Premix (Veterquímica), el cual es una sal inhibidora del desarrollo de hongos. Esta se ha aplicado en forma de baño. Esta enfermedad se controla principalmente adelantando el cambio de los peces desde la fase de agua dulce a la fase de agua de mar.

**Bibliografía**

- Aquanoticias. 1999. Importación de Ovas: Aguas Turbulentas. Aquanoticias 46: 6-12.
- Aquanoticias. 1999. Vacunas: Promesas de Refuerzo. Aquanoticias 47: 6-15.
- Bravo, S. 1996. Revisión de los Medicamentos Utilizados para el Control de las Enfermedades de Peces en Chile. Veterquímica.
- Bustos, P., Midtlyng, P.J., Maira, C. 1999. IPN: Un Enorme Desafío para la Industria Salmonera. Aquanoticias 48: 48- 51.
- Campalans, M. 1995. Programa de Vigilancia de Patologías de Salmónidos Cultivados en la Zona Sur Austral de Chile. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso. Informe Técnico FIP-IT / 93-29.
- Fryer, J.L., Lannan, C.N., Giovannoni, S.J., Wood, N.D. 1992. *Piscirickettsia salmonis* gen. nov., sp. Npv., the Causative Agent of an Epizootic Disease in Salmonid Fishes. Int. J. Syst. Bacteriol. 42: 120-126.
- Inglis, V., Cafini, M., Yoshida, T. 1995. The Interaction of Trimethoprim and Quinolones against Gram-negative Fish Pathogens. J. Appl. Bacteriol. 79: 135-240.
- Kinkelin, P., Michel, Ch., Ghittino, P. 1991. Tratado de las Enfermedades de los Peces. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 353 p.
- Kuzyk, M., Thorton, J., Kay, W. 1996. Antigenic Characterization of the Salmonid Pathogen *Piscirickettsia salmonis*. Infect. Immun. 64: 5205-5210.
- Reichenbach-Klinke, H. 1982. Enfermedades de los Peces. Ed. Acribia, Zaragoza, España. 345 p.
- SAG. 1999. Productos de Uso en Peces Registrados en el Servicio Agrícola y Ganadero. 5 pág.
- Samsing, K. 1998. La Salmonicultura en Chile: Pasado, Presente y Futuro. Aquanoticias 44: 15-19.
- Sernapesca. 1999. Programa de Aseguramiento de Calidad, Productos Farmacéuticos y Contaminantes en Acuicultura, Guía de Trabajo. 26 pág.
- Sernapesca. 1999. Programa de Control de Fármacos, Manual de Procedimientos. 24 pág.
- Sernapesca. 1999. Programa de Vigilancia Epidemiológica en Acuicultura. Informe Período Enero – Junio de 1999. 12 pág.
- Smith, P.A., Contreras, J.R., Larenas, J.J., Aguillon, J.C., Garces, L.H., Perez, B., Fryer, J.L. 1997. Immunization with Bacterial Antigens: *Piscirickettsiosis*. Dev. Biol. Stand. 90: 161-166.
- Veterquímica. 1997. Vademecum 1997. 246 pág.
- Valenzuela, M. 1999. Una Ley con Efectos Secundarios. Aquanoticias 48: 47-48.

SUPLEMENTOS ADJUNTOS

## **Programa de Aseguramiento de Calidad**

### **Productos Farmacéuticos y Contaminantes en Acuicultura**

#### **Guía de Trabajo**

**Departamento de Sanidad Pesquera  
Servicio Nacional de Pesca  
Marzo 1999.**

## Índice

	Página
I. Objetivo de la guía	1
II. Antecedentes del Sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos	1
III. Fundamentos del Sistema HACCP	2
IV. Consideraciones Generales en el Desarrollo de un Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC), Basado en HACCP	3
V. Etapas en el Desarrollo de un Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC) para los Centros de Cultivo de Peces:	3
V.1 Formar un Equipo de Trabajo	3
V.2 Definir el Producto	4
V.3 Elaborar un Diagrama de Flujo	6
V.4 Identificar los Riesgos y Determinar los Puntos de Control	9
V.5 Analizar los Riesgos	11
V.6 Evaluar los Riesgos	13
V.7 Eliminar los Riesgos	14
V.8 Definir las Medidas Preventivas	14
V.9 Identificar los Puntos de Control Críticos	15
V.10 Determinar los Límites Críticos en cada PCC	17
V.11 Establecer los Procedimientos de Monitoreo	18
V.12 Establecer Acciones Correctivas	21
V.13 Establecer el Sistema de Registros	22
V.14 Establecer los Procedimientos de Verificación	24

## I.- Objetivo de la guía:

Esta guía tiene como finalidad entregar los lineamientos básicos del sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (HACCP). Describe de manera sistemática la metodología de trabajo para desarrollar un programa de aseguramiento de calidad basado en HACCP, orientado al uso de productos farmacéuticos y al control de contaminantes en los centros de cultivo, dedicados a la producción de peces.

Se entenderá por **Productos Farmacéuticos de Uso Exclusivamente Veterinario**, toda sustancia natural o sintética o mezcla de ellas que, presentada bajo una forma farmacéutica determinada, está destinada a la prevención, diagnóstico, curación, tratamiento y atenuación de las enfermedades animales o sus síntomas.

En el mismo sentido, se entenderá por **Contaminante Químico Ambiental**, toda sustancia química proveniente de la actividad industrial, pesticidas y elementos tóxicos, contenidos en las aguas donde los peces son mantenidos y que pueden acumularse en la carne de estos en niveles que pueden causar enfermedades.

## II.- Antecedentes del Sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos:

El concepto de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (HACCP: Hazard Analysis Critical Control Point), puede ser entendido como una aproximación sistemática a la identificación de riesgos y el establecimiento de técnicas de prevención y control y cuyo principal objetivo, en la industria alimentaria, es la generación de alimentos seguros.

El sistema HACCP comenzó a desarrollarse en la industria alimentaria desde la década de los setenta. Fue inicialmente incorporado, en los Estados Unidos, por la primera conferencia nacional de protección de los alimentos (APHA, 1972). En el año 1973 el sistema HACCP fue implementado exitosamente en el proceso de elaboración de alimentos enlatados de baja acidez y en el año 1986, dada la creciente inquietud de los norteamericanos por la seguridad en el consumo de pescados y mariscos, el congreso de E.E.U.U. dispuso que el NMFS (National Marine Fisheries Service) diseñara un programa de inspección de productos del mar basado en este concepto. En 1991 FDA/NOAA (Food and Drug Administration / National Oceanic and Atmospheric Administration) iniciaron en U.S.A. un programa voluntario de inspección de productos pesqueros basado en HACCP.

En el mismo sentido, a partir de 1992 el gobierno canadiense, junto con la industria pesquera de ese país, implementaron un Programa de Manejo de Calidad (Quality Management Program, QMP) sostenido en el concepto HACCP.

Además, la Unión Europea estableció la exigencia de implementar sistemas de aseguramiento de calidad, basados en HACCP, para productos pesqueros, a través de la Directiva 91/493/CEE.

Desde 1987 el concepto ha sido incorporado rápidamente por un número significativo de organizaciones internacionales, entre las que podemos señalar al Codex Alimentarius y a la Comisión Internacional para las Especificaciones Microbiológicas de los Alimentos (ICMSF), entre otras.

El sistema HACCP es una metodología que requiere un amplio conocimiento de la producción, procesamiento y uso final de los diferentes productos alimentarios.

El primer paso de este proceso es llevar a cabo un riguroso análisis de riesgo del alimento, que incluya consideraciones de insumos, manejos realizados en los centros de cultivo, grupos de peces afectos a riesgos, entre otros. La segunda etapa del desarrollo del sistema HACCP, estructura los mecanismos de control de puntos críticos.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que la implementación de un sistema HACCP se traduce en beneficios para productores, porque estos aseguran el correcto desarrollo de sus ciclos de producción, a través de una optimización en sus prácticas de manejo, así como para los consumidores, porque estos cuentan con alimentos más seguros.

### **III.- Fundamentos del Sistema HACCP:**

El sistema HACCP se basa en los siguientes siete principios:

1. Identificación y análisis de riesgos y determinación de las medidas preventivas para su control
2. Identificación de los puntos de control críticos
3. Determinación de los límites críticos en cada uno de los puntos de control críticos identificados



4. Establecimiento de procedimientos de monitoreo para cada punto de control crítico
5. Establecimiento de las acciones correctivas que deberán tomarse cuando el monitoreo indique que un punto de control crítico no está bajo control
6. Establecimiento de la documentación correspondiente a todos los procedimientos del programa y del sistema de registros
7. Determinación de procedimientos de verificación, incluidos los ensayos y procedimientos complementarios, para corroborar que el sistema HACCP está funcionando correctamente.

#### **IV.- Consideraciones Generales en el Desarrollo de un Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC), basado en HACCP:**

Para desarrollar un PAC basado en el sistema HACCP, cada centro de cultivo deberá seguir al menos las indicaciones contempladas en la presente Guía.

Además, cada centro deberá estructurar su PAC en función a su propia realidad y considerando las particularidades de su sistema productivo.

Cabe señalar que los ejemplos considerados en esta Guía fueron realizados sólo con fines ilustrativos y no necesariamente corresponden a todas las realidades de producción.

#### **V.- Etapas en el Desarrollo de un Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC) para los centros de Cultivo de Peces:**

##### **1.- Formar Un Equipo de Trabajo:**

El primer paso para desarrollar un programa de aseguramiento de calidad es la formación de un equipo de trabajo, compuesto por el personal del centro de cultivo, con o sin la participación de asesoría externa, que tendrá como objetivo desarrollar el programa en cuestión.

Este equipo deberá poseer los conocimientos necesarios relacionados con la producción (alimentación, administración de productos farmacéuticos, enfermedades, etc.) de las diferentes especies cultivadas, además de los riesgos que cada una de estas actividades conlleva.

El equipo de trabajo podrá estar compuesto por:

- Personal de los centros de cultivo.
- Persona responsable de los distintos manejos del centro de cultivo.
- Médico veterinario especialista en acuicultura

Es importante señalar que el equipo de trabajo debe disponer de información y registros, para elaborar un adecuado programa de aseguramiento de calidad.

En el PAC elaborado para cada centro de cultivo debe incluirse, para cada uno de los integrantes del equipo de trabajo, al menos la siguiente información:

- Nombre, profesión o grado de experiencia, cargo, responsabilidad y labor desempeñada en el PAC;
- Capacitación en HACCP

El equipo debe definir quienes son los responsables de la ejecución del PAC, con especial énfasis en los encargados de los monitoreos, las acciones correctivas y verificaciones. Además, debe considerarse un organigrama jerárquico del grupo de trabajo relacionado con la ejecución del PAC.

## **2.- Definir el Producto:**

Esta segunda etapa consiste en hacer una completa descripción del producto **generado por el centro de cultivo**, con la finalidad de realizar una evaluación sistemática de todos los riesgos asociados a éste y a sus insumos.

Esta descripción debe considerar al menos lo siguiente:

- ⇒ Nombre del producto
- ⇒ Especie (nombres común y científico)
- ⇒ Tipo de centro de cultivo (en mar, agua dulce; balsa jaula, piscinas, etc)
- ⇒ Posibles mercados de destino
- ⇒ Niveles de tolerancia a productos farmacéuticos y contaminantes, especificando claramente los estándares.

A modo de ejemplo, podemos incluir lo siguiente:

TRUCHA PAN SIZE
Trucha arcoiris
<i>Onchorrhynchus mykiss</i>
Agua dulce / Piscina
Alimentados según etapa y estación
Mercado: Alemania
Tolerancia a Residuos de Productos Farmacéuticos (fuente normativa comunitaria):
Sulfonamidas: 100 µg / kg
Amoxicilina: 50 µg / kg
Ampicilina: 50 µg / Kg
Flumequina: 150 µg /kg
Peróxido de Hidrógeno: Sin LMR
Eritromicina: 400µg / kg
Trimetoprim: 50 µg / kg
Dimetridazol: No puede estar presente
Nitrofuranos: No pueden estar presentes
Etc.

### **3.-Elaborar el Diagrama de Flujo:**

La siguiente etapa es elaborar un diagrama de flujo del proceso de producción de peces, que represente todos los pasos operacionales o de manejo a través del centro de cultivo. Este flujograma debe indicar en forma clara y ordenada todos los pasos del ciclo de producción.

El equipo de trabajo debe diseñar un flujograma que sea fácil de seguir y represente exactamente todo el proceso, es decir, señalando todas las etapas en forma cronológica y esquemática, sin dejar de lado ninguna.

Para complementar este flujograma debe hacerse una breve descripción de cada uno de los pasos operacionales indicados, considerando, entre otros, los tiempos de estadía en las diferentes etapas, traslado de peces y desdoble, selección, incorporación de productos farmacéuticos y sus correspondientes particularidades, etc

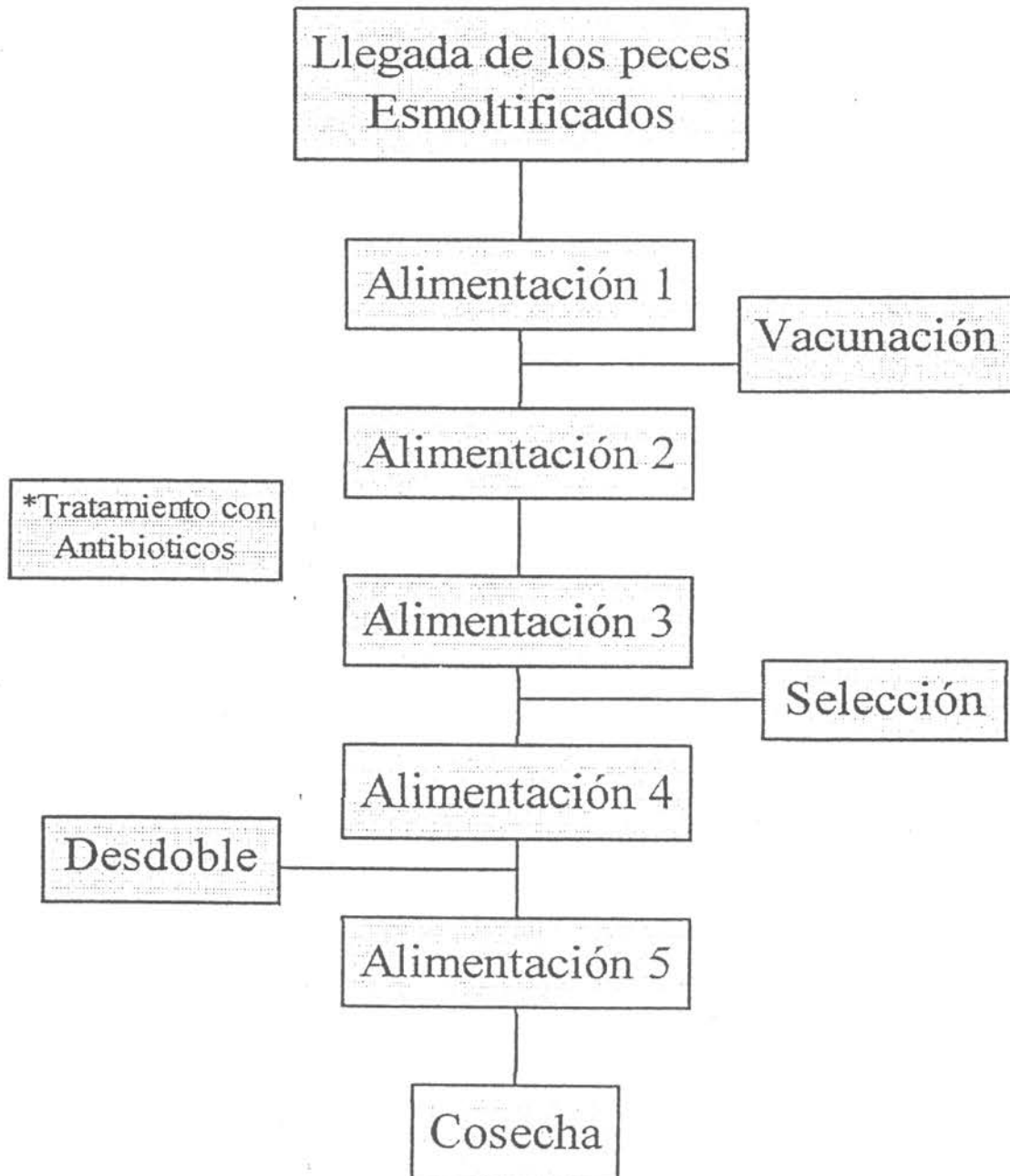
Se sugiere, además, la incorporación de un plano esquemático que indique el diseño de las instalaciones, incluyendo, si es posible, la ubicación de los peces a lo largo de su ciclo de producción.

A continuación se entrega un ejemplo que ilustra lo anterior:

**Diagrama de Flujo tipo  
del ciclo de Producción de Salmónidos**



## Diagrama de flujo de un Centro de Engorda



\* Procedimiento alternativo.

Ejemplo de descripción de pasos operacionales:

- Alimentación 1: Una vez llegados los peces recién esmoltificados, se procede a su ambientación al medio marino. Para esto se entrega un alimento pelletizado de aproximadamente 0,1 mm por un período de 20 días.
- Vacunación: Como medida rutinaria y teniendo presentes los antecedentes históricos de prevalencia de determinada enfermedad, se procede a su vacunación...

#### **4.- Identificar los Riesgos y Determinar los Puntos de Control:**

Definido el producto que elaborará cada centro de cultivo y diseñado el flujograma de proceso, el equipo de trabajo deberá identificar los riesgos asociados a la generación del producto. Es importante en este punto, incorporar algunas definiciones que serán de utilidad:

**Riesgo**, en el ámbito de los productos farmacéuticos y contaminantes en acuicultura, se define como la presencia de residuos de estas sustancias que pueden afectar al consumidor. Dichas sustancias pueden ser carcinogénicas, alergénicas y/o pueden causar resistencia a los antibióticos en el hombre.

A este respecto la FDA (Food and Drug Administration) considera que los productos farmacéuticos usados en la acuicultura y sobre los cuales no existen regulaciones, constituyen un riesgo potencial para la salud humana.

En el mismo sentido la Unión Europea considera que la administración de medicamentos veterinarios a animales destinados a la producción de alimentos puede dejar residuos en los productos alimenticios obtenidos de animales tratados y que por lo tanto se requiere de procedimientos urgentes para la revisión de las tolerancias que pudieran no ser suficientes para proteger la salud pública.

Respecto de la identificación de riesgos y para dar cumplimiento a los objetivos de la presente Guía, el equipo de trabajo deberá considerar sólo riesgos atribuibles a la seguridad del producto, lo que corresponde a los aspectos de un producto que pueden causar enfermedad o muerte.



Deberán considerarse en la identificación de los riesgos, los requisitos exigidos por la autoridad oficial de los posibles países de destino, por ejemplo, presencia de residuos de productos farmacéuticos tales como antibióticos, antiparasitarios, desinfectantes, etc.

Para realizar una identificación ordenada de los riesgos, se deberá comenzar por enumerar en cada paso operacional del flujograma, lo siguiente:

- ◆ **Insumos:** Esto involucra al pez mismo así como a cada uno de los componentes que se utiliza en cada paso operacional del proceso y que forman parte del producto final, es decir, cualquier ingrediente incluyendo alimentos, productos farmacéuticos, aditivos, etc.
- ◆ **Operaciones:** Estas incluyen todas las acciones reales involucradas en ese paso operacional que se encuentran bajo el control del productor.

Se deberá identificar en cada paso operacional, para cada insumo y operación involucrada, los riesgos asociados a ellos. La identificación del riesgo debe ser lo más específica posible, definida principalmente en función del producto más que a la causa del problema.

Algunos ejemplos de riesgos asociados al uso de productos farmacéuticos pueden ser vistos a continuación:

- ❖ Presencia de pesticidas en la carne de pescado por contaminación ambiental
- ❖ Presencia de pigmentos no aprobados en la carne de pescado por error en la formulación del alimento
- ❖ Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado, no aprobados por el mercado de destino, por equivocación en el manejo del alimento
- ❖ Niveles de antibióticos en la carne de pescado sobre la norma, debido a inadecuados períodos de carencia
- ❖ Presencia de residuos de antiparasitarios en la carne de pescado, prohibidos en el mercado de destino, por no respetar instrucciones técnicas
- ❖ Presencia de residuos de fungicidas en la carne de pescado, prohibidos en el mercado de destino, por no respetar instrucciones técnicas

Una vez identificados los pasos operacionales del proceso y los riesgos asociados a los insumos y operaciones, corresponde ahora determinar los puntos de control del proceso.

Se define como **Punto de control (PC)**, a cualquier paso operacional en un proceso productivo que involucre algún riesgo. Por lo tanto, se deberá identificar cuáles pasos operacionales involucran riesgos.

A continuación, a modo de ejemplo se señala una manera de ordenar la información obtenida hasta ésta etapa:

<b>Paso Operacional</b>	<b>Insumos</b>	<b>Riesgos</b>	<b>Operaciones</b>	<b>Riesgos</b>	<b>Punto de Control</b>
Engorda	Alimento	Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por error en la formulación del alimento	Alimentación	Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por equivocación en la operación (medicado/no medicado)	SI
Cosecha	-----	-----	Cosechar	Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por cosecha errónea de jaula medicada	SI

### 5.-Analizar los Riesgos:

Una vez establecidos los puntos de control del proceso y con la finalidad de analizar cada uno de los riesgos identificados, se deberá determinar para cada uno de estos:

- La probabilidad de ocurrencia
- El efecto
- La incidencia

**Probabilidad de ocurrencia:** Es la frecuencia posible de presentación del riesgo identificado, la cual se determina en forma cualitativa de acuerdo a los siguientes niveles de ocurrencia: alto, mediano y bajo. Para lo anterior se pueden utilizar diversas fuentes de información que ayuden a identificar con qué frecuencia puede ocurrir el riesgo, por ejemplo, archivos antiguos de la empresa, resultados de programas de muestreo de los productos, causales de rechazo, etc.

**Efectos,** corresponden a las consecuencias resultantes de la ocurrencia del riesgo. Algunos ejemplos son:

- Enfermedad del consumidor (alergia, cáncer)
- Generación de resistencia a los antibióticos

En la descripción de efectos es importante que estos sean definidos en función del consumidor.

**Incidencia,** corresponde a la posibilidad que una vez ocurrido el riesgo, se obtenga un producto final inseguro o contaminado.

La incidencia asociada con cada riesgo puede clasificarse en tres categorías:

- **Siempre:** La ocurrencia del riesgo resultará *automáticamente* en un producto final inseguro o contaminado (p.e. Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por cosecha errónea de jaula en medicación).
- **A Veces :** La ocurrencia del riesgo *puede* resultar en un producto inseguro o contaminado (p.e. Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por cosecha en el límite del periodo de carencia)
- **Nunca:** La ocurrencia del riesgo *no resultará* en un producto inseguro o contaminado (p.e. Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por uso de antibióticos con un periodo de carencia corto en la fase de preengorda).

A continuación se resumen, a través de un ejemplo, los tres aspectos que deben considerarse para el análisis de cada riesgo identificado en cada punto de control:

Punto de Control	Riesgos	Probabilidad de Ocurrencia	Efecto	Incidencia
Engorda	Presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por error en la formulación del alimento	Media	Enfermedad para el consumidor o resistencia a los antibióticos	Siempre
Cosecha				

#### 6.-Evaluar los Riesgos:

La etapa siguiente del análisis de riesgos es determinar cuáles de los riesgos identificados en el flujograma son significativos.

Esta evaluación, realizada por el equipo de trabajo, deberá basarse en los antecedentes obtenidos del análisis de riesgos, es decir, ponderar la magnitud e importancia del efecto, probabilidad de ocurrencia y la incidencia de cada riesgo identificado.

Sobre la base de este análisis, se deberá evaluar si el riesgo es o no significativo. No existen fórmulas para realizar esta evaluación y la decisión quedará a criterio del equipo de trabajo, dado que muchos de estos riesgos serán específicos para cada centro de cultivo.

A continuación se señala una manera de ordenar la información obtenida en los puntos 5 y 6:

Punto de Control	Riesgos	Probabilidad de Ocurrencia	Efecto	Incidencia	Riesgo Significativo
1.-	1.- 2.- ...				SI NO ...
2.-	1.- 2.-				SI NO

## 7.-Eliminar Riesgos:

Una vez determinados los riesgos significativos, corresponde analizar cuales de ellos pueden ser eliminados al rediseñar o cambiar el proceso productivo.

Es importante destacar que la situación ideal es rediseñar el proceso para eliminar la ocurrencia de riesgos, por lo tanto, si es factible, deberá optarse por esta alternativa.

Si se decide eliminar riesgos mediante el rediseño del proceso, se deberá revisar y completar la identificación, análisis y evaluación de los riesgos asociados al nuevo flujo de proceso (puntos 4, 5 y 6).

Sólo aquellos riesgos significativos que no pueden ser evitados o eliminados al cambiar el proceso, deberán ser incluidos en la siguiente etapa.

Este capítulo debe estar incluido en el programa, independientemente que se decida o no rediseñar o cambiar el proceso, es decir, se debe indicar al menos que el punto fue analizado.

A modo de ejemplo:

Riesgo	Rediseño
Presencia de residuos de antibióticos en carne de pescado, por contaminación de una partida de alimento, debido a al uso común de máquina mezcladora (medicado / no medicado).	Inclusión de una nueva mezcladora de alimentos que evite la contaminación con antibióticos.

## 8.-Definir las Medidas Preventivas:

Este paso consiste en determinar las medidas preventivas que pueden ser usadas para reducir la ocurrencia de los riesgos.

Las medidas preventivas se definen como cualquier acción que disminuya a niveles aceptables la posibilidad de ocurrencia de riesgos.

Algunas medidas preventivas son:

- ◆ Capacitación de los empleados en manejo de alimentos.
- ◆ Especificaciones de compra de alimentos
- ◆ Separación de alimentos medicados y no medicados
- ◆ Identificación adecuada de jaulas medicadas o en medicación.

Se deberá definir, para cada riesgo significativo identificado en el proceso al menos una medida preventiva.

Por último, en los casos que se estime necesario, se deben establecer registros de ejecución de las medidas preventivas.

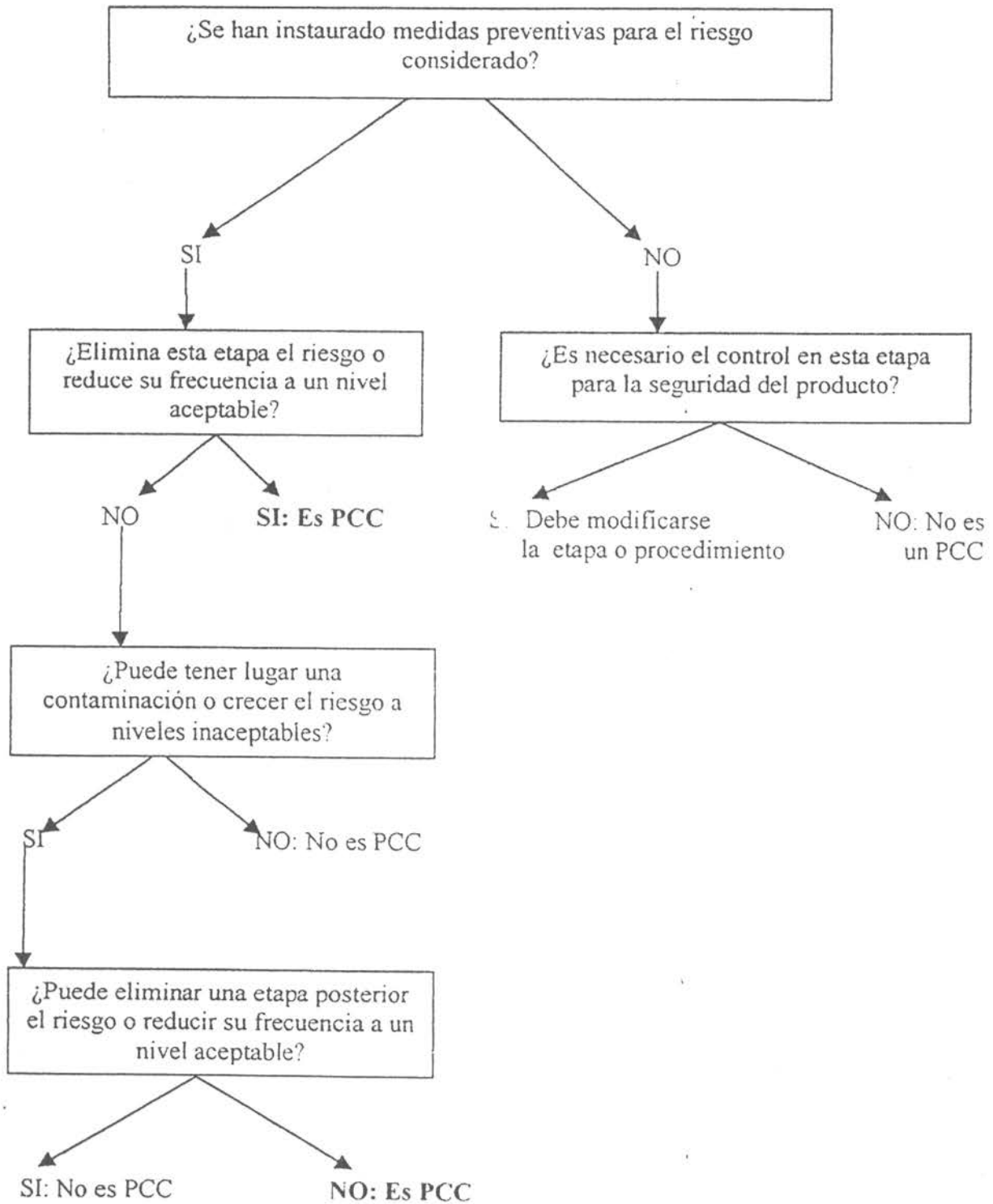
#### **9.- Identificar los puntos de Control Críticos:**

En esta etapa corresponde identificar que puntos de control dentro del proceso, con riesgos significativos asociados, son críticos.

**Punto de Control Crítico (PCC):** Es cualquier paso operacional en el proceso productivo, en donde la pérdida del control puede automáticamente ocasionar un producto que representa un problema de seguridad.

Cabe señalar que no necesariamente todos los riesgos significativos identificados en el proceso deben formar parte de un PCC.

Se recomienda el siguiente árbol de decisiones para determinar si cada riesgo significativo formará parte o no de un PCC.





Para identificar un PCC se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- ⇒ Un riesgo significativo debe ser asociado al paso operacional donde ese riesgo puede ser controlado convirtiéndose ese paso operacional en un PCC.
- ⇒ Los puntos de un proceso donde el control es deseable, pero no esencial, no son PCC.
- ⇒ Un punto de control no es un PCC si un proceso subsiguiente elimina el riesgo.

Al realizar esta identificación es importante destacar que uno de los objetivos de un programa de aseguramiento de calidad es reducir y concentrar el control de riesgos a un mínimo de puntos de control dentro del proceso.

No siempre se puede reducir el control de un riesgo a un punto específico del proceso, ya que a veces este control es crítico en más de un punto.

Corresponde ahora identificar en que etapas del proceso es crítico su control.

#### 10.-Determinar los Límites Críticos en cada PCC:

Una vez determinados cuáles son los puntos de control críticos dentro del flujo de proceso del centro de cultivo, se deben establecer los límites críticos para cada riesgo significativo asociado a ese PCC.

Se define como **Límite Crítico** la tolerancia preestablecida que no debe ser excedida para mantener controlado un riesgo.

En general los límites críticos deberían establecerse de tal forma que si estos no se cumplen, puede cuestionarse la seguridad del producto.

Por un lado, si se establecen en forma muy restrictiva y exigente, puede ocurrir que se tomen acciones correctivas aunque no existan riesgos en ese punto. En el mismo sentido, si se establecen límites críticos demasiado tolerantes, como resultado se pueden obtener productos inseguros para el consumidor.

Cada riesgo en cada PCC debe tener, por lo menos un límite crítico asignado. A su vez estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

A modo de ejemplo se entregan algunos límites críticos asociados al uso de productos farmacéuticos en la salmonicultura:

- Presencia de residuos de antibióticos en carne de pescado por equivocación en el manejo del alimento. El límite crítico para ese riesgo puede ser: todas las bolsas de alimento recepcionadas deben estar rotuladas.
- Presencia de residuos de antibióticos debido a cosecha anticipada por inadecuado control de temperatura del agua. El límite crítico para ese riesgo puede ser período de carencia de 300° día.

### 11.-Establecer los Procedimientos de Monitoreo:

Una vez establecidos los límites críticos, corresponde determinar los procedimientos de monitoreo.

**Monitoreo** se define como la realización de pruebas u observaciones programadas, que son registradas por el centro de cultivo para informar los resultados de los controles establecidos en cada PCC.

Es importante señalar que todo monitoreo debe ser documentado. El objetivo del monitoreo apunta básicamente a obtener la información necesaria que permita mantener el proceso bajo control. Advierte tempranamente que se está perdiendo el control o que el proceso está fuera de control, por lo tanto se puede actuar para restablecerlo y reducir las pérdidas por un producto fuera de especificaciones. El monitoreo también ayuda a localizar la causa del problema cuando se pierde el control.

Para diseñar adecuadamente el programa de monitoreo deben plantearse al menos las siguientes preguntas:

- **¿Qué será monitoreado?:** respecto del tema uso de productos farmacéuticos y contaminantes en la acuicultura, algunos de los temas a monitorear pueden ser, entre otros, los tipos de drogas usadas, su fecha y cantidad de uso, así como la fecha de finalización de aplicación del producto.
- **¿Cómo será monitoreado?:** Existen diversos métodos para realizar el monitoreo, algunos de ellos son la observación visual, preguntas a los empleados a cargo del proceso, obtención de muestras, control de temperatura, etc.

- **¿Cuándo debe ser realizado el monitoreo?:** Idealmente el monitoreo debería ser permanente. Sin embargo, en la práctica muchas veces es necesario establecer planes de muestreo e intervalos de monitoreo que garanticen responsablemente que el riesgo está bajo control. Se requieren análisis estadísticos para determinar los planes de muestreo, que dependerán del nivel de riesgo que esté dispuesto a aceptar el centro de cultivo.
- **¿Dónde monitorear?:** El monitoreo debe hacerse en el PCC donde se refleje exáctamente el estado de un límite crítico, sin embargo a veces es necesario, por diversos motivos, monitorear en otros puntos, debido a particularidades propias de cada sistema.
- **¿Quién debe realizar el monitoreo?:** Es importante que la persona que va a realizar el monitoreo tenga fácil acceso al PCC y habilidades y conocimientos para entender no sólo el proceso de producción, sino también, el propósito e importancia de la actividad de monitoreo.

El monitoreo es una acción de obtención de datos, para lo cual es importante seguir las siguientes recomendaciones:

- ✓ Formular las preguntas correctas, que deben relacionarse con la información específica requerida
- ✓ Diseñar planillas o formularios sencillos, pero efectivos, para la toma de datos. Verificar que las planillas se expliquen por si mismas, que permitan el registro de todos los datos necesarios y que estén diseñadas para reducir la posibilidad de error. Además, en los formularios debe incluirse los límites críticos correspondientes, con la finalidad de compararlos con los datos obtenidos del monitoreo
- ✓ Seleccionar una persona imparcial para tomar los datos
- ✓ Preparar instrucciones
- ✓ Someter a prueba los formularios e instrucciones y modificarlos si fuera necesario
- ✓ Entrenar al personal encargado de tomar los datos
- ✓ Chequear el proceso de obtención de datos y validar los resultados

La administración del centro de cultivo debe firmar todos los registros después de revisarlos.

La descripción del procedimiento de monitoreo para un riesgo de un PCC, debe considerar al menos:

- ❖ Procedimiento
- ❖ Plan de Muestreo
- ❖ Frecuencia
- ❖ Responsable
- ❖ Lugar
- ❖ Registros

Un ejemplo puede resumir el punto anterior:

PCC	Riesgo	Límite Crítico	Qué monitorear	Cómo monitorear	Cuándo monitorear	Quién monitorea	Dónde monitorear
Engorda	Presencia de residuos de oxitetraciclina en carne de pescado por no respetar periodo de resguardo predefinido por el centro	Periodo de resguardo de oxitetraciclina: 21 días	Tipo de alimento usado	Observación visual de la práctica de alimentación	Al inicio del periodo de carencia	Jefe centro	En la balsa jaula
			Fecha, tipo y cantidad de alimento utilizado	Chequeo del registro de alimentación	Semanalmente	Jefe centro	Oficina de registros del centro

## 12.-Establecer acciones correctivas:

**Acción correctiva** se define como el o los procedimientos a seguir cuando se alcanza o excede un límite crítico, con la finalidad de recuperar el control del proceso y evitar la elaboración de productos inseguros.

En cada punto de control crítico se deben diseñar las acciones correctivas que permitan eliminar el riesgo identificado siempre que se produzca una desviación inaceptable de los límites establecidos.

Cada vez que se aplica una acción correctiva debe haber algún tipo de documentación para futura referencia. Esto ayudará en la modificación del programa para problemas recurrentes, así como para determinar la disposición final del producto afectado.

Las acciones correctivas pueden ser:

**a) Acciones correctivas inmediatas:** Son de ejecución inmediata y evitan la generación de productos que no cumplan especificaciones. Por ejemplo, para el riesgo presencia de residuos de antibióticos en carne de pescado, cuando por monitoreo se ha detectado presencia de estos, la acción correctiva inmediata puede ser continuar con el período de carencia del lote.

**b) Acciones correctivas resolutivas:** Son aquellas que devuelven un proceso a control y corresponden a soluciones definitivas que apuntan a la causa del problema, por lo tanto deben ser siempre consideradas. Por ejemplo, para el riesgo presencia de residuos de antibióticos en la carne de pescado por utilizar mezcladora de alimentos común para alimentos medicados y no medicados, la acción correctiva resolutiva indicada puede ser incluir una máquina mezcladora de alimentos nueva, para evitar contaminación del alimento.

Cuando se detecta una desviación de un límite crítico, es necesario evaluar la condición del producto generado desde el último monitoreo, con resultados dentro de los límites tolerables, hasta la corrección del problema.

Siempre se debe registrar la ocurrencia de un problema, las acciones correctivas ejecutadas para corregirlo y la disposición del lote afectado, con el fin de establecer un archivo que contenga esta información en forma organizada.

Para establecer cada una de las acciones correctivas, correspondientes a la desviación de los límites críticos de todos los riesgos significativos de cada PCC identificado, se deberá incluir en el programa al menos los siguientes puntos:

- Posibles desviaciones de los límites críticos, las acciones correctivas correspondientes y los procedimientos para manipular el producto afectado.
- Persona responsable de la acción correctiva
- Pruebas para establecer aceptabilidad
- Disposición final del producto
- Documentación y firmas

A modo de ejemplo:

1. Por monitoreo previo a la cosecha es detectada la presencia de niveles de antibióticos sobre la norma del mercado de destino
2. Como acción correctiva es determinado un alargamiento del periodo de resguardo
3. Se establecen nuevas tomas de muestras para controlar niveles de antibióticos, para determinar momento de cosecha
4. Se registra todo el proceso en el archivo n° 4 de acciones correctivas del centro de cultivo
5. El jefe de centro firma todos los documentos pertinentes para oficializar el proceso

### 13.- Establecer el Sistema de Registros:

Para cada punto de control crítico se debe diseñar los **Registros** que demuestren que se están ejecutando los procedimientos de monitoreo, las acciones correctivas y las verificaciones, de manera de llevar un seguimiento del producto en todas las etapas del programa.

Los objetivos del sistema de registros son los siguientes:

- ⇒ Documentar los resultados de las actividades de monitoreo
- ⇒ Documentar las acciones correctivas ejecutadas
- ⇒ Documentar los procedimientos de verificación

Los registros pueden ser de diferentes tipos y deben ser lo más simple posibles; pueden readecuarse formularios ya existentes en el centro, siempre y cuando permitan recopilar la información necesaria. Los registros deben estar siempre disponibles y mantenerse de una manera eficiente y ordenada

Estos pueden ser combinados en un solo formato para evitar exceso de formularios, siempre y cuando resulte práctico para el monitor.

La revisión permanente de los registros ayudará a la administración del centro de cultivo a determinar si existen tendencias indeseables, dónde y cómo evitar su repetición.

Los tipos de registros para los PCC son:

- ◆ **Registro de Monitoreo de los Puntos de Control Crítico:** Estos registros deben contener toda la información específica necesaria para informar de los resultados de los controles establecidos en cada PCC. El límite crítico debe estar incluido en el registro de monitoreo como una advertencia constante al examinador u observador.
- ◆ **Registros de Acciones Correctivas y Situaciones Imprevistas:** Estos registros sólo se utilizan cuando se identifican las desviaciones de los límites críticos a través del proceso de monitoreo. Ellos indican qué acciones se tomaron para corregir los problemas detectados. Sirven también para registrar hechos imprevistos, incorrectos o inaceptables desde un punto de vista de seguridad.
- ◆ **Registros de Verificación:** Son registros que demuestran que se realizan las verificaciones del programa y que incluyen los resultados de éstas.

Además, la planta deberá mantener otro tipo de registros, necesarios para controlar y evaluar el proceso productivo. Estos incluyen entre otros:



- a) Registros de almacenamiento y distribución
- b) Informes de retiro de productos distribuidos
- c) Informes de quejas del consumidor
- d) Registro de ejecución de medidas preventivas
- e) Registro de control de stock de producto elaborado

El centro debe contar con un sistema de seguimiento de todos los peces para realizar cualquier acción correctiva en caso de detectarse algún problema con el producto final. Los registros deben permanecer almacenados por un período mínimo de dos años.

A continuación se señala una forma de sistematizar la información obtenida entre los puntos V.9 hasta V.13:

PCC	Riesgos	Límites Críticos	Procedimientos de Monitoreo	Acciones correctivas	Registros
1.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.
2.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.	1. 2. 3.

#### 14.-Establecer los Procedimientos de Verificación:

La **Verificación** consiste en el procedimiento de revisión periódica realizada por el centro de cultivo o su administración para corroborar el correcto funcionamiento del programa.

Esta verificación debe ser realizada por el personal designado especialmente para desarrollar esta labor.

En la programación y ejecución de los procedimientos de verificación deben incluirse verificaciones diarias, periódicas e integrales.

**Verificación diaria:** Corresponde a la revisión de los registros y de los procedimientos de monitoreo para cada PCC. Es decir, la persona encargada de realizar estas verificaciones debe confirmar el adecuado desempeño del encargado del monitoreo de cada punto de control crítico y confirmar que las mediciones correspondientes hayan sido registradas correctamente de acuerdo a lo programado.

**Verificación periódica:** Estas verificaciones deben incluir muestreos y análisis de productos y otras comprobaciones necesarias para asegurar que los PCC están bajo control

En esta verificación debe señalarse el laboratorio autorizado que realizará los análisis y los planes de muestreo a utilizar. Los análisis deben estar en directa relación con los requisitos de los mercados de destino, así como los de Sernapesca.

Este tipo de verificación debe ser ejecutada cada 15 días.

**Verificación integral:** Corresponde a una revisión completa del PAC que involucra la realización del análisis de riesgo en todos los pasos operacionales, tal como fue llevado a cabo en el desarrollo inicial del programa. Se considera recomendable que este tipo de verificación sea realizada cada 12 meses. Además, esta verificación deberá ser realizada cuando se presenten algunas de las siguientes situaciones:

- Existencia de un producto sospechoso de contener residuos de productos farmacéuticos o contaminantes
- No cumplimiento de los criterios establecidos en el PAC
- Uso de nuevos productos farmacéuticos
- Cambio en la presentación de algunos medicamentos
- Efectos potenciales de productos farmacéuticos o contaminantes son descubiertos, por ejemplo:
  - nuevos efectos
  - efectos sobre el ambiente
- Nuevos métodos para controlar un riesgo son desarrollados

## Bibliografía

1. Análisis de Riesgos y Puntos de Control Crítico (basado en HACCP). Manual de Capacitación. Rama de capacitación nacional. National Marine Fisheries Service (NMFS) División de Servicios de Inspección. USA.
2. Quality Management Program. Plant Management Handbook. Fisheries and Oceans. Canadá.
3. Directrices para la Aplicación del Sistema de Análisis de Riesgo y De los Puntos Críticos de Control (HACCP). Codex Alimentarius, Volumen 1, Suplemento 1, 1993.
4. Fish and Fisheries Products Hazards & Control Guide: second edition. 1998. USA.
5. Model Seafood Surveillance Project. HACCP Regulatory Model Aquaculture. National Marine Fisheries Service. Office of Trade and Industry Services. National Seafood Inspection Laboratory. Pascagoula, MS, December, 1991.



## PROGRAMA DE VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA EN ACUICULTURA INFORME PERÍODO ENERO - JUNIO 1999

El contenido de este informe establece la presencia de enfermedades o agentes etiológicos informados por los Laboratorios Reconocidos por Sernapesca en áreas geográficas preestablecidas por este Servicio (Tabla N1 1).

La información incluida en este Documento ha sido elaborada con los datos que mensualmente envían los Laboratorios incorporados en la **ANómina Oficial de Laboratorios Reconocidos por Sernapesca**, de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Programa Oficial de Vigilancia Epidemiológica.

Los antecedentes que a continuación se detallan corresponden a datos recopilados entre los meses de enero de 1999 a junio de 1999 (Tabla N° 2 )

Los laboratorios que enviaron antecedentes en el período enero 1999 - junio 1999 son los siguientes:

- Alitec Ltda.,
- Aqua Sciences
- Aquatic Health.
- Biovac, Fish Health and Quality Services
- Diagnostec, Santiago
- Especialidades Técnicas Marinas
- Fundación Chile, Puerto Montt
- Fundación Chile, Castro
- Instituto de Fomento Pesquero, Coyhaique

**TABLA N° 1**  
**Áreas informadas y sus referencias geográficas**

Zona	Límites y referencias geográficas
Maule	Lmte. Norte: Pta. Curaumilla Lmte. Sur: 36° L.S.
Concepción/ Nehuentué	Lmte. Norte: 36° L.S. Lmte. Sur: 39° L.S.
Valdivia	Lmte. Norte: 39° L.S. Lmte. Sur: 40° 20' L.S. Lmte. Este: 73° W
Panguipulli	Lmte. Norte: 39° L.S. Lmte. Sur: 40° 20' L.S. Lmte. Oeste: 73° W - Incluye Lagos Ranco, Panguipulli, Riñihue, Maihue
Lago Puyehue	
Lago Rupanco	
Lago Llanquihue	
Lago Chapo	
Osorno	Lmte. Norte: 40° 20' L.S. Lmte. Sur: Pta. Puga hasta Límite con Argentina - Excepto Lagos Puyehue, Rupanco, Llanquihue, Chapo.
Estero Reloncaví	
Seno Reloncaví	Incluye Puerto Montt, Chinquihue, Ilque, Huenquillahue, Huelmo, Pta. Guatral, Isla Guar, Bahía Lenca, Contao, La Poza, Aulen.
Fiordo Comau	Lmte. Oeste: 73° W hasta Pta. Chulao - Incluye Canal Llancahue, Canal Cholgo, Canal Hornopirén
Calbuco / Chiloé Insular Norte	Lmte. Sur: 42° L.S. Lmte. Este: 73° W - Incluye Calbuco, Isla Tautil, Canal Huito, Isla Tabón, Bahía Manao, Bahía Linao, Bahía de Ancud.
Castro	Lmte. Norte: 42° L.S. Lmte. Sur: 43° L.S. Lmte. Este: 73° W
Lago Huillinco	Incluye lago Cucao
Chaitén	Lmte. Norte: Pta. Chulao Lmte. Sur: 43° L.S. Lmte. Oeste: 73° W

**TABLA N° 1**  
**Áreas Geográficas Informadas y sus referencias geográficas**  
**(continuación)**

Zona	Límites y referencias geográficas
Lago Natri	
Chiloé Sur	Lmte. Norte: 43° L.S. Lmte. Sur: 43° 40' L.S. Incluye lagos Tarahuin y Tepuhueco
Cisnes	Lmte. Norte: 43° 40' L.S. Lmte. Sur: 44° 58' L.S.
Aysén	Lmte. Norte: 44° 58' L.S. Lmte. Sur: 46° L.S.

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Maule	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. mykiss	Alevín
Concepción/ Nehuentué	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. mykiss	Alevín
	- Flavobacterium spp.	O. mykiss S. salar	Piscicultura (alevín) Piscicultura (alevín)
Valdivia	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S. salar	Estuario
	- Flavobacterium psychrophilum	O. mykiss	Estuario
	- Hexamita	O. mykiss	Estuario
Panguipulli	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Alevín
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV, serotipo 1)	S. salar	Alevín
	- Costia	S. salar	Lago
	- Flavobacterium psychrophilum	S. salar	Lago
	- Flavobacterium spp.	S. salar	Lago
	- Flavobacterium columnare	S. salar	Lago
Lago Puyehue	- Ichthyophthirius	S. salar	Lago
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. mykiss	Lago
Lago Rupanco	- Flavobacterium spp.	O. mykiss	Lago
	- Flavobacteriosis Visceral (F. columnare)	O. mykiss	Alevín
	- Flavobacterium columnare	S. salar	Lago
	- Flavobacterium spp.	S. salar	Lago Alevín



TABLA N° 2

Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Lago Rupanco	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV, serotipo sp.)	S. salar	Lago / alevín
	- Aeromonas hydrophila	S. salar	Lago
	- Yersinia ruckeri	S. salar	Lago
Lago Llanquihue	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV, serotipo sp.)	S. salar O. kisutch O. mykiss	Lago Alevín Lago
	- Flavobacterium spp.	S. salar O. mykiss	Lago Lago
	- Flavobacterium aquatilis	O. mykiss S. salar	Lago Piscicultura/Lago
	- Flavobacterium psychrophilum	S. salar O. mykiss	Lago Lago
	- Flavobacteriosis visceral (F. columnare, F. psychrophilum)	S. salar	Alevín
	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Smolt/Alevín
	- Aeromonas hydrophila	O. mykiss	Lago
	- Ergasilus	S. salar	Lago
	- Ichthyophthirius	S. salar	Lago
	- Chilodonella	S. salar	Lago
Lago Chapo	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar O. kisutch O. mykiss	Lago (alevín) Lago Lago (alevín)
	- Flavobacterium spp.	S. salar	Lago

- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S.salar	Lago
------------------------------------	---------	------

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Osorno	- Flavobacteriosis visceral (F. psychrophilum)	S. salar O. mykiss O. kisutch	Piscicultura (alevín) Piscicultura (alevín) Piscicultura (alevín)
	- Flavobacterium aquatilis	S.salar	Piscicultura
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNv, serotipo sp.)	S.salar	Lago (alevín)
	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Estuario (alevín)
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S.salar	Alevín
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S. salar	No se indica
Seno Reloncaví	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNv, serotipo sp.)	S. salar	Mar
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S.salar O. mykiss O.kisutch	Mar/ Estuario Mar Mar
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S.salar O. mykiss O. kisutch	Mar / Estuario Mar Mar
	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Alevín
	- Flavobacterium spp.	O. kisutch	Mar
	- Caligus spp.	O. kisutch O. mykiss	Mar Mar
	- Vibrio spp.	O. mykiss	Mar
	- Nucleospora salmonis	O.kisutch S.salar O. mykiss	Mar Mar Mar

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Estero Reloncaví	- Aeromona spp.	S. salar	Estuario
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. kisutch	Estuario
		S. salar	Estuario
		O. mykiss	Estuario
	- Caligus spp.	O. kisutch	Estuario
		S. salar	Estuario
		O. mykiss	Estuario
	- Cerathotoa	S. salar	Estuario
	- Flavobacterium psychrophilum	O. kisutch	Estuario
		S. salar	Estuario / Piscicultura (alevín)
	- Flavobacterium spp.	S.salar	Estuario /Piscicultura (alevín)
	- Flexibacler marilimus	O. kisutch	Estuario
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)	O. kisutch	Estuario
		S. salar	Estuario/ Piscicultura (alevín)
O. mykiss		Estuario	
- Nucleospora salmonis	S. salar	Estuario	
	O. chinook	Estuario	
- Piscirikettsiosis (P. salmonis)	S. salar	Estuario	
	O. kisutch	Estuario	
	O. mykiss	Estuario	
- Streptococcus spp.	S. salar	Estuario	
- Vibrio spp.	O. kisutch	Estuario	
- Yersiniosis (Y. ruckeri)	S. salar	Estuario	

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Fiordo Comau	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. mykiss O. kisutch S. salar O. tschawytscha	Mar Mar Mar Mar
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. tschawytscha	Mar
	- Caligus spp.	S. salar O. mykiss O. tschawytscha	Mar Mar Mar
	- Cerathotoa	S. salar	Mar
	- Flavobacterium spp.	S.salar	Piscicultura (alevín)
	- Nucleospora salmonis	O. tschawytscha	Mar
Calbuco/ Chiloé Insular Norte	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S. salar O. mykiss O. kisutch	Mar Mar Mar
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. kisutch O. mykiss	Mar Mar
	- Caligus	S. salar O. mykiss	Mar Mar
	- Cerathotoa	S. salar O. mykiss	Mar Mar
	- Flavobacterium spp.	S.salar	Mar
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNv)	S. salar	Mar
	- Nucleospora salmonis	S. salar O. mykiss	Mar Mar
	- Vibrio spp.	S. salar	Mar

TABLA N° 2

Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras. (continuación)

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Castro	- Leucosis Linfoblástica (Nucleospora salmonis)	O. kisutch	Mar
	- Leucosis linfoblástica (agente no identificado)	O. kisutch	Mar
	- Nucleospora salmonis	O. kisutch	Mar
	- Microsporidium spp.	O. mykiss	Mar
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch	Mar
		S. salar	Mar
		O. mykiss	Mar / Piscicultura (Reproductor)
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S. salar	Mar
		O. kisutch	Mar (smolt y engorda)
	- Flavobacteriosis visceral (F. psychrophilum)	O. mykiss	Piscicultura (alevín)
	- Flavobacterium spp.	S. salar	Mar
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)	S. salar	Alevín
		O. mykiss	Mar
Chaitén	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S. salar	Estuario (alevín) / Mar
	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Estuario (alevín)
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV, serotipo Sp.)	S. salar	Estuario (alevín) / Mar

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Lago Huillinco	- Yersiniosis (Y. ruckeri)	S. salar	Lago
	- Aeromona hydrophila	S. salar	Lago
	- Aeromona spp.	S. salar	Lago
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S. salar	Lago
	- Flavobacterium spp.	S. salar O. mykiss	Lago Lago
	- Flavobacterium psychrophilum	O. mykiss	Lago
	- Pseudomona spp.	S. salar	Lago
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch S. salar	Lago Lago
Lago Natri	- Flavobacteriosis visceral (F. psychrophilum)	S. salar	Lago
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch	Lago
	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)	O. kisutch	Lago
Chiloé Sur	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	S. salar O. kisutch O. mykiss	Mar Mar Mar
	- Yersiniosis (Y. ruckeri, serotipo I)	S. salar	Lago (alevín y smolt)/Mar
	- Flavobacteriosis Visceral (F. psychrophilum)	O. mykiss S. salar O. kisutch	Lago (alevín) Piscicultura (alevín) Lago (alevín)
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S. salar O. kisutch O. mykiss	Mar Mar Mar
	- Necrosis Pancreática Infecciosa		

	(IPNV, serolipo sp.)	S. salar O. kisutch	Mar/ Lago (Alevín/ Smolt) Mar/Lago
--	----------------------	------------------------	---------------------------------------

**TABLA N° 2**

**Detalle de análisis positivos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.(continuación)**

Zona	Agente etiológico y enfermedad	Especies analizadas	Origen de las muestras
Chiloé Sur	- Caligus spp.	O. mykiss	Mar
	- Flexibacter marilimus	O mykiss	Mar
Cisnes	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. kisutch S.salar	Mar Piscicultura (alevín)
	- Flavobacterium spp.	S. salar	Piscicultura (alevín)
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch	Mar
		O. mykiss	Mar
Aysén	- Flavobacterium spp	O. kisutch O. mykiss	Piscicultura (alevín) / Estuario Estuario
	- Flavobacteriosis cutánea (F. hutchinsonii)	O kisutch	Estuario (engorda)
	- Flavobacteriosis visceral (F. psychrophilum)	O. kisutch	Estuario (engorda)
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch	Estuario / Piscicultura (reproductor)/ Mar
		O. mykiss S. salar	Estuario (engorda) Piscicultura (reproductor) / Estuario/Mar
	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S. salar O. mykiss O. kisutch	Piscicultura (reproductor)/ Mar / Estuario Estuario Piscicultura (reproductor)/ Mar
	- Yersiniosis (Y. ruckeri)	S. salar	Estuario



**TABLA N° 3**

**Detalle de análisis negativos según zona, enfermedad, especie y origen de las muestras.**

Zona	Agente etiológico y Enfermedad	Especies	Origen de las muestras
Valparaíso	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)*	O. mykiss S. salar	Alevín Alevín
Valdivia	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)	O. mykiss	Piscicultura
Lago Llanquihue	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	S. salar	Lago
Lago Chapo	- Necrosis Pancreática Infecciosa (IPNV)	S. salar	Lago
Osorno	- Renibacteriosis (R. salmoninarum)	O. kisutch	Piscicultura
	- Piscirickettsiosis (P. salmonis)	O. kisutch	Piscicultura
	- F. columnare	S. salar	Piscicultura
Seno Reloncaví	- F. aquatilis	S. salar	Piscicultura

\* Datos obtenidos a partir del Programa de Centros Libres de Necrosis Pancreática Infecciosa de Sernapesca

PRODUCTOS DE USO EN PECES REGISTRADOS EN EL  
SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO

PRDUCTO	Nº REGISTRO	LABORATORIO	FECHA
Aqua-Yodo Solución desinfectante	0035	Veterquímica Ltda.	14.11.95
Flumequina 10% polvo soluble	0079	Farquímica Ltda.	01.04.96
Acido oxolínico 8.5% solución oral	0088	Veterquímica Ltda.	08.05.96
Flumequina 10% solución externa	0093	Veterquímica Ltda.	08.05.96
Benzocaina 20% solución externa	0094	Veterquímica Ltda.	23.05.96
Flox-Feed Flumequina 10% polvo oral	0095	Veterquímica Ltda.	29.05.96
Eritromicina Tiocianato 50% Polvo oral	0108-B	Veterquímica Ltda.	17.07.96
Sulfadoxina trimetoprim solución externa	0117	Veterquímica Ltda.	20.08.96
Oxitetraciclina 20% Solución oral	0118-B	Veterquímica Ltda.	20.08.96
Amoxicilina 50% polvo oral	0121-B	Veterquímica Ltda.	20.08.96
Flumequina 20% Solución oral	0137	Quimagro S.A.	12.09.96
Terrivet 50% polvo oral Oxitetraciclina	0149-B	Veterquímica Ltda.	09.10.96
Daclor 80% polvo solub. Cloramina-T	0150	Veterquímica Ltda.	08.10.96

Ácido oxolínico 10% polvo oral	0194	Hoechst de Chile Química y Farmacéutica Ltda.	11.03.97
Flumequina 20% Polvo oral	0226	Hoechst de Chile Química y Farmacéutica Ltda.	14.04.97
Oxitetraciclina 40% polvo oral	0227-B	Arcil Signe S.A.	16.04.97
Flumequina 20% polvo oral	0229	Arcil Signe S.A.	17.03.97
Flumequina 20% polvo oral	0231	Agrovet Ltda.	17.03.97
Ácido Oxolínico 20% polvo oral	0232	Arcil Signe S.A.	17.03.97
Flumequina 20% polvo oral	0253	Laboratorio Lafi S.A.	10.06.97
Ácido Oxolínico 10% polvo oral	0254	Laboratorio Lafi S.A.	10.06.97
Oxitetraciclina 50% polvo oral	0262-B	Laboratorio Lafi S.A.	12.06.97
Oxosalmin Oxitetraciclina 20% Polvo oral	0266-B	Laboratorio Chile S.A.	22.07.97
Oxosalmin Oxitetraciclina 50% polvo oral	0267-B	Laboratorio Chile S.A.	02.07.97
Macromicin Eritromicina 50% polvo oral	0268-B	Laboratorio Chile S.A.	24.06.97
Oxitetraciclina 40% polvo oral	0281-B	Biochem Chile S.A	01.08.97
Salmox 20% Ácido oxolínico polvo oral	0290	Laboratorio Chile S.A.	13.08.97
Quinoxolin 50% polvo oral Flumequina	0292	Laboratorio Chile S.A.	25.08.97
Flumequina 20% polvo oral	0308	Quimagro S.A.	16.09.97

Oxitetraciclina 40% polvo oral	0309-B	Quimagro S.A.	16.09.97
Ácido oxolínico 20% polvo oral	0310	Quimagro S.A.	16.09.97
Eritromicina Tiocianato 50% polvo oral	0319-B	Recalcine S.A.	08.10.97
Eritromicina 20% polvo oral	0323-B	Arcil Signe S.A.	13.10.97
Vacuna Bacterina <i>Yersinia ruckeri</i> Ersinia-C	0355-B	Aqua Health Chile S.A.	31.12.97
Eritromicina Tiocianato 50% polvo oral	0359-B	Agrovet Ltda.	22.01.98
Eritromicina 20% polvo oral	0360-B	Quimagro S.A.	30.01.98
Benzocaína 20% solución externa	0364	Quimagro S.A.	27.02.98
Factor Liberador de Hormona Luteinizante, LHRH-Análogo, inyectable	0365	Veterquímica Ltda.	27.02.98
Vacuna Bacterina <i>Yersinia ruckeri</i> Aquayer	0387-B	Aquatic Health Chile S.A.	31.03.98
Ácido oxolínico 20% polvo oral	0401	Agrovet Ltda.	27.04.98
Vacuna inactivada <i>Piscirickettsia salmonis</i> suspensión inyectable Ricketvac Aqua	0410-B	Recalcine S.A.	08.05.98
Bandrol 50% Polvo oral	0427	Veterquímica Ltda.	29.07.98

Flox Feed 50% polvo oral (Flumequina)	0429	Veterquímica Ltda.	29.07.98
Flumequina 20% Polvo oral	0431	Kemifar S.A.	29.07.98
Ácido oxolínico 20% polvo oral.	0434	Kemifar S.A.	06.08.98
Ácido oxolínico 80% polvo oral	0435	Hoechst Roussel Veterinaria Ltda.	28.08.98
Flumequina 80% polvo oral	0437	Hoechst Roussel Veterinaria Ltda.	28.08.98
Oxitetraciclina 40% polvo oral	0439-B	Kemifar S.A.	08.09.98
Ácido oxolínico 80% polvo oral	0441	Laboratorio Lafi S.A.	08.09.98
Flumequina 80% polvo oral	0442	Laboratorio Lafi S.A.	08.09.98
Ácido Oxolínico 10% Solución oral	0462	Biochem Chile S.A.	03.12.98
Flumequina 20% solución oral	0465	Biochem Chile S.A.	14.12.98
Benzocaína 20% solución externa	0466	Biochem Chile S.A.	03.12.98
Ácido oxolínico 20% polvo oral	0470	Centrovét Ltda.	14.12.98
Flumequina 20% polvo oral	0472	Centrovét Ltda.	14.12.98
Factor Liberador de Hormona Luteinizante SGnRH-A- Domperidona Solución inyectable	0473	Agrovét Ltda.	14.12.98
Flox-Feed 80% polvo oral Flumequina	0478	Veterquímica Ltda.	20.01.99

Bandrol 80% polvo oral	0481	Veterquímica Ltda.	22.01.99
Flumequina 80% polvo oral	0483	Kemifar S.A.	22.01.99
Flumequina 50% polvo oral	0484	Recalcine S.A.	22.01.99
Terrivet 80% polvo oral - oxitetraciclina	0485 -B	Veterquímica Ltda.	05.02.99
Oxitetraciclina 80% polvo oral	0488-B	Kemifar S.A.	09.02.99
Ácido oxolínico 80% polvo oral	0490	Kemifar S.A.	09.02.99
Flumequina 20 % Polvo oral	0501	Animal Services Latina S.A.	24.03.99
Factor Liberador de Hormona Luteinizante SGnRH- Análogo Implante	0505	Agrovvet Ltda.	07.04.99

Nota : Los registros en ISP para peces, no están incorporados aún en base de datos.  
Los productos B tienen Control de Series.

Productos registrados por ISP para peces:

1. Flumequina 80% polvo oral

Abril, 1999



Ministerio de Economía,  
Fomento y Reconstrucción

**Sernapesca**

Servicio Nacional de Pesca

(FAR/MP 1/99)

## **Programa de Control de Fármacos**

### **Manual de Procedimientos**

**Departamento de Sanidad Pesquera  
Servicio Nacional de Pesca  
Septiembre, 1999.**



# PROGRAMA DE CONTROL DE FÁRMACOS

## Manual de Procedimientos

---

### Indice de Materias

	Pág.
<b>Normativa Legal</b>	<b>01</b>
<b>Capítulo I :</b> Registro de Productos Farmacéuticos de Uso Acuícola	<b>02</b>
<b>Capítulo II :</b> Aprobación de Series	<b>03</b>
<b>Capítulo III :</b> Aprobación de Importación y Condiciones de Uso Productos sin Registro	<b>03</b>
<b>Capítulo IV :</b> Control de Comercialización de Productos Farmacéuticos	<b>04</b>
<b>Capítulo V :</b> Control de Residuos de Productos Farmacéuticos y Contaminantes	<b>05</b>
<b>A. Control de Residuos de Productos farmacéuticos</b>	<b>05</b>
A.1. Obligaciones de las Empresas de Cultivos	<b>06</b>
A.2. Obligaciones de las Plantas de Proceso	<b>09</b>
<b>B. Control de Contaminantes</b>	<b>10</b>
B.1. Obligaciones de las Empresas de Cultivos	<b>11</b>
B.2. Obligaciones de las Plantas de Proceso	<b>13</b>
<b>C. Verificaciones</b>	<b>14</b>
<b>D. Laboratorios</b>	<b>17</b>
<b>E. Control e Inspecciones de Sernapesca</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo VI :</b> Control de sustancias prohibidas	<b>20</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>21</b>

## MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PROGRAMA DE CONTROL DE FÁRMACOS

Este Manual de Procedimientos incluye aspectos relativos al Registro y Uso de drogas de uso exclusivamente Veterinario en especies de la acuicultura, así como el control de sus residuos.

### NORMATIVA LEGAL:

- Ley 19.283, la cual modifica la Ley 18.755, Orgánica del Servicio Agrícola y Ganadero.
- Decreto N°139, del Ministerio de Agricultura "Reglamento de Productos Farmacéuticos de Uso Exclusivamente Veterinario".
- Resolución 724 del Ministerio de Economía del 01/12/97, por la cual se aprueba el Convenio de Cooperación Interinstitucional entre el SAG y Sernapesca, en el ámbito de los Productos Farmacéuticos de uso Exclusivamente Veterinario de uso Acuícola.
- D.S. N°430/91, Ley General de Pesca y Acuicultura.
- DFL N° 1 (ley 18.892) de 1992 : Modifica la estructura orgánica de la Subsecretaría de Pesca y de Sernapesca.
- Directiva del Consejo 96/23/CE de abril de 1996.
- Federal Register, 21 CFR Parts 123 and 1240, December 18, 1995- Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration.
- Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guide, 2ª Edición Enero 1998, Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration.

## CAPÍTULO I

### REGISTRO DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS DE USO ACUÍCOLA

Se entiende por Producto Farmacéutico de Uso Exclusivamente Veterinario, a toda sustancia natural o sintética o mezcla de ellas que, presentada bajo una forma farmacéutica determinada, está destinada a la prevención, diagnóstico, curación, tratamiento y atenuación de las enfermedades de los animales o sus síntomas. Se incluyen en este concepto los productos destinados a medicar los alimentos, a estimular el desarrollo de los animales, los destinados al embellecimiento de los mismos, los desinfectantes de uso ambiental o de equipos y todo otro producto que utilizado en los animales o su hábitat, protege, restaura o modifica sus funciones orgánicas o fisiológicas.

Registro es el procedimiento destinado a estudiar las propiedades farmacológicas, toxicológicas, clínicas, terapéuticas y farmacéuticas de un producto con el fin de determinar su eficacia, seguridad y calidad para ser administrado a los animales, así como, la seguridad para el ser humano y el medio ambiente.

Una vez evaluado, previo a su distribución y comercialización en el país, será inscrito en un rol especial con numeración correlativa que mantiene el SAG.

Cada vez que se requiera el registro de un producto farmacéutico de uso exclusivamente veterinario de uso en especies acuícolas, el SAG requerirá la opinión técnica de Sernapesca, para lo cual remitirá a la oficina central la solicitud y dossier (carpeta con antecedentes) presentado por el interesado.

El Departamento de Sanidad Pesquera a nivel central es el encargado de evaluar los antecedentes presentados por el interesado. Para esto se utilizará la *Pauta de Evaluación de Productos Farmacéuticos de Uso en Especies Acuícolas FAR/SI1/* y la Norma Técnica FAR/NT2/ del Programa de Control de Productos Farmacéuticos.

Para la emisión del informe técnico al SAG, el Servicio contará con un plazo no superior a 90 días desde formulado el requerimiento.

El Informe técnico de Sernapesca podrá indicar:

- 1.- Recomendación de registro sanitario.
- 2.- Situación pendiente por antecedentes insuficientes.
- 3.- Rechazo de la solicitud de registro.

## CAPÍTULO II

### APROBACIÓN DE SERIES

Las partidas o series, corresponden a la cantidad de un producto obtenido en un ciclo de producción, a través de etapas continuadas y que se caracteriza por su homogeneidad.

Para la aprobación de series de productos biológicos importados o nacionales el SAG requerirá la opinión técnica de Sernapesca. Para estos efectos el SAG remitirá al Departamento de Sanidad Pesquera a nivel central, copia del formulario en el cual se consigna la información necesaria para la evaluación de Sernapesca (FAR/NT3/).

La aprobación o rechazo de la serie, por parte de Sernapesca, se manifiesta remitiendo un informe al SAG, en la cual se debe identificar al producto, el fabricante y la serie evaluada.

## CAPÍTULO III

### APROBACIÓN DE ELABORACIÓN, IMPORTACIÓN, VENTA Y USO DE PRODUCTOS SIN REGISTRO.

En ocasiones se solicita la elaboración, importación, venta y uso de productos farmacéuticos de uso veterinario en especies acuícolas que no han sido previamente registrados. Esta situación puede considerarse cuando no exista un similar o bien sea para fines de investigación o ensayo.

El SAG remitirá a Sernapesca los antecedentes presentados por el interesado. Sernapesca, a nivel central, evaluará los antecedentes del producto, así como las condiciones de uso propuestas, con el fin de emitir un pronunciamiento oficial.

El informe técnico de Sernapesca podrá indicar:

- 1.- Recomendación de aprobación de la solicitud.
- 2.- Situación pendiente por antecedentes insuficientes.
- 3.- Rechazo de la solicitud.

Una vez aprobada la solicitud, el Departamento de Sanidad Pesquera remitirá a la oficina regional correspondiente los antecedentes de la autorización.

Cuando el Departamento de Sanidad Pesquera lo solicite, la oficina regional deberá constatar el cumplimiento de las condiciones estipuladas en la autorización, emitiendo un informe con lo observado a la oficina central.

## CAPÍTULO IV

### CONTROL DE LA COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS DE USO VETERINARIO EN ESPECIES ACUÍCOLAS.

Sernapesca, en sus labores de inspección verificará el cumplimiento de lo estipulado en el Reglamento de Productos Farmacéuticos de Uso Exclusivamente Veterinario. Para estos efectos se utilizará la Pauta de inspección dispuesta en FAR/SI2/.

Las transgresiones a la reglamentación deberán ser comunicadas a la oficina central de Sernapesca.

## CAPÍTULO V

### CONTROL DE RESIDUOS DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS Y CONTAMINANTES EN PRODUCTOS DE LA ACUICULTURA.

Este Capítulo reemplaza al "Instructivo para el Control de Residuos de Productos Farmacéuticos de Uso en Peces de Cultivo destinados a la Exportación" versión Noviembre de 1997 y lo complementa de acuerdo a la Directiva del Consejo 96/23/CE de Abril de 1996, al Federal Register, 21 CR parte 123 de Diciembre de 1995 y al Fish and Fisheries Products Hazards and Controls Guide, 2ª Edición Enero 1998, FDA.

#### A.- CONTROL DE RESIDUOS DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS

- a) El control de residuos se efectuará a través de los Programas de Aseguramiento de Calidad de las plantas pesqueras que procesen peces de cultivo. Estos Programas deberán tener incorporados y desarrollados el riesgo de presencia de residuos en niveles superiores a los tolerados, en la carne y piel de pescado.
- b) La presencia de residuos en carne y piel, en niveles superiores a los tolerados, será responsabilidad de las empresas de cultivo de las cuales procedan los pescados. No obstante lo anterior, las plantas dedicadas al procesamiento deberán cumplir ciertas obligaciones en este sistema, tendientes a cautelar el cumplimiento de los mecanismos de control.
- c) Estarán afectos al control de residuos aquellos productos destinados a los mercados que exigen esta certificación.
- d) Para los efectos de este Manual, se entenderá por:

**Jaula o Estanque:** a las unidades mínimas de tratamiento, según el tipo de centro de cultivo – agua dulce o mar - del cual se originan los peces destinados a proceso.

**Lote:** a los pescados que ingresen a una planta de proceso, en un solo día, procedentes de un mismo centro de cultivo. ***Cada lote podrá estar compuesto de una o más jaulas o estanques o fracciones de éstas.***

**Grupo de Tratamiento:** representa a un grupo de peces dentro de un centro de cultivo, perfectamente identificable, el cual puede estar constituido por una o más jaulas o estanques que han sido sometidos a iguales condiciones de manejo farmacéutico.

**Laboratorios de Verificación:** corresponden a aquellos laboratorios reconocidos por Sernapesca para efectuar las labores de análisis estipuladas en el capítulo V, punto C de este Manual, referidas a verificaciones.

**Laboratorios de Análisis:** corresponden a aquellos laboratorios autorizados por Sernapesca para efectuar los análisis y emitir los informes pertinentes reseñados en el capítulo V, punto A.1.1. letra b.

## A.1. OBLIGACIONES DE LAS EMPRESAS DE CULTIVO

- 1.- Las empresas de cultivo deberán acreditar que los niveles de residuos no superan los tolerados en cada lote que ingrese a proceso. Para esto deberán presentar una **Declaración de Garantía** suscrita por quien la empresa designe, en la cual se afirme que las jaulas o estanques destinados a proceso ***“han cumplido con los periodos de resguardo mínimos necesarios para alcanzar niveles inferiores a los límites establecidos por las normativas de los mercados de destino, para residuos de productos farmacéuticos de uso veterinario”***.

La **Declaración de Garantía** debe además, consignar lo siguiente:

- ✓ Nombre, R.U.T., cargo que desempeña en la empresa de cultivo, fono, fax y dirección laboral de quien suscribe.
- ✓ Jaulas o estanques que cubre la **Declaración de Garantía**, indicando sus códigos o números, plataforma(s), centro de cultivo y empresa.
- ✓ Cantidad de pescados, especie y número de guía de despacho (puede complementar esta información con cepa y temporada productiva de los peces).
- ✓ Fecha de emisión de la **Declaración de Garantía** y folio de la misma.



- ✓ Tipo de documento que respalda la **Declaración de Garantía** (orden médico veterinaria, informe de análisis o declaración jurada y su correspondiente folio u otra identificación).

Cada **Declaración de Garantía** respalda únicamente a los pescados que conforman un **lote**, de acuerdo a lo definido en el punto A.d). del capítulo V de este Manual. Este documento debe ser presentado al ingreso a planta por cada lote recepcionado.

Asimismo, cada **Declaración de Garantía** deberá estar respaldada en los archivos sanitarios de la empresa de cultivos, por alguno de los tres documentos que se señalan a continuación, el cual deberá estar disponible para Sernapesca.

#### a.- **Orden o Prescripción Médico Veterinaria:**

- ✓ Debe ser suscrita y firmada por un profesional Médico Veterinario u otro legalmente habilitado para recetar productos farmacéuticos de uso veterinario.
- ✓ Debe identificarse con su nombre, R.U.T. y cargo o función que desempeña en la empresa de cultivo (indicar si es asesor externo). Además, debe indicar fono, fax y dirección laboral.
- ✓ Debe identificar la(s) jaula(s) o estanque(s) y plataforma(s) respaldadas por la Orden o Prescripción, señalando su código o número, especie, centro de cultivo y empresa.
- ✓ Fecha de tratamiento, producto utilizado (principio activo y nombre comercial), dosis utilizada y fecha de inicio y fin del tratamiento.
- ✓ Fecha en que pueden ser cosechadas las jaulas o estanques previamente identificados conforme a los tratamientos aplicados, o bien el periodo de resguardo establecido en grados días por el Médico Veterinario tratante.
- ✓ Cada Orden o Prescripción Médico Veterinaria debe estar foliada.
- ✓ Fecha de emisión de la Orden o Prescripción Médico Veterinaria.

**b.- Informe de Análisis:** señala los niveles residuales detectados en la(s) jaula(s) o estanques analizados a partir de muestras representativas.

El informe deberá cumplir, además, con lo siguiente:

- ✓ Debe ser suscrito y emitido por un laboratorio autorizado por Sernapesca para efectuar análisis de residuos de drogas.
- ✓ Deber señalar fecha de emisión, nombre, firma y profesión del analista y responsable del informe. Deberá ser foliado o claramente identificable.
- ✓ Debe identificar la especie, empresa y centro de cultivo, código o número de las jaulas o estanques que respalda el informe.

Los métodos microbiológicos necesarios para efectuar éstos análisis son reseñados en la Norma Técnica LAB/NT4/.

**c.- Declaración Jurada Simple** emitida por el representante legal de la empresa de cultivos. Este mecanismo sólo se aceptará cuando los peces destinados a proceso no hayan sido sometidos a tratamiento alguno por un periodo mínimo de cuatro meses. La declaración jurada simple deberá consignar lo siguiente:

- ✓ Nombre, firma y cargo de quien declara.
- ✓ Dirección, fono, fax.
- ✓ Identificar expresamente la especie, empresa y centro de cultivo y jaulas o estanques (con sus códigos o números), que respalda la declaración jurada simple.
- ✓ Señalar expresamente que las jaulas o estanques identificados no han sido expuestos a productos farmacéuticos de uso veterinario en los últimos cuatro meses.
- ✓ La Declaración Jurada deberá ser foliada o claramente identificable.

Los documentos señalados precedentemente, en los literales **a**, **b** y **c**, podrán respaldar un **grupo de tratamiento** completo, no obstante deberán identificar claramente cada una de las **jaulas o estanques** constituyentes.

- 2.- La ausencia del documento de respaldo pertinente en los registros del centro de cultivo, o la no presentación de la **Declaración de Garantía** por parte de la empresa de cultivos, en dos oportunidades, determinará la suspensión automática de la certificación sanitaria vía P.A.C. para los productos pesqueros provenientes

de aquellas empresas de cultivo que incurran en dicha omisión. Esta condición se prolongará hasta la presentación de la documentación correspondiente. Sin perjuicio de lo anterior, la planta de proceso siempre deberá implementar la acción correctiva prevista en el punto A.2.3., del Capítulo V de este Manual.

- 3.- El Servicio fiscalizará la existencia y contenido de los documentos de respaldo de la **Declaración de Garantía**, la cual podrá ser efectuada de manera periódica o intensiva; en forma dirigida o al azar, con inspecciones in situ de los registros o solicitando copia vía fax u otro mecanismo que se estime pertinente.
- 4.- El Servicio Nacional de Pesca ha desarrollado el Programa de Aseguramiento de Calidad para productos farmacéuticos y contaminantes en la acuicultura con el fin de apoyar la labor de prevención y control en los centros de cultivo.
- 5.- Los centros de cultivo deberán guardar registros de todos los tratamientos efectuados en, al menos, los últimos dos años, los cuales deberán señalar producto utilizado (nombre genérico y comercial), dosis utilizada, fechas de inicio y término de tratamiento, periodo de resguardo aplicado y fecha de cosecha. Estos registros deberán estar disponibles para el Servicio en caso que sean solicitados.

## A.2. OBLIGACIONES DE LAS PLANTAS DE PROCESO

- 1.- Toda planta de proceso que cuente con un Programa de Aseguramiento de Calidad deberá exigir, como medida preventiva, al ingreso de materia prima procedente de centros de cultivo de peces, la **Declaración de Garantía** reseñada en el punto A.1.1., destinada a acreditar que los residuos no sobrepasan los máximos tolerados.
- 2.- La existencia de la citada **Declaración de Garantía** deberá ser monitoreada por la planta de proceso y quedar convenientemente archivada y a disposición de los profesionales de Sernapesca quienes supervisan la operatividad de los Programas de Aseguramiento de Calidad.
- 3.- En el evento que la empresa de cultivos no hubiese presentado la **Declaración de Garantía** en original sobre residuos, la planta de proceso a modo de acción correctiva deberá mantener en observación la partida e informar a la empresa de cultivos con el fin que se remita la documentación pertinente. Si el problema no es

resuelto oportunamente, se deberá tomar cinco muestras de la partida ingresada, con el objeto de comprobar que los niveles de residuos de drogas de uso veterinario no superan los tolerados, utilizando para ello el mecanismo expuesto para las verificaciones en el punto C del Capítulo V de este Manual. Una vez tomadas las 5 muestras, la planta podrá procesar el lote, el que deberá ser mantenido en observación a la espera de los resultados del Laboratorio de Verificación. Para estos efectos se realizarán los controles correspondientes a las Verificaciones de ese mes, según lo señalado en el Anexo I.

Para estos efectos, el periodo prudente de espera, para proceder al envío de las muestras al laboratorio de verificación de residuos, será un máximo de 24 horas.

- 4.- En ausencia de la **Declaración de Garantía**, la no aplicación de la acción correctiva según lo indicado en el número 3 precedente, determinará que el funcionario de Sernapesca proceda conforme a lo establecido en el Manual de Procedimientos del Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC/MP/), Capítulo VI de Supervisión.
- 5.- Las plantas de proceso deberán incorporar en sus P.A.C., dentro de las verificaciones, el muestreo y análisis destinado a detectar la presencia de residuos, de acuerdo al mecanismo señalado en el punto C correspondiente a Verificaciones.

## B.- CONTROL DE CONTAMINANTES

- 1.- Se entenderá por **Contaminante** a toda sustancia química proveniente de la actividad industrial en general, pesticidas y elementos tóxicos contenidos en las aguas donde los peces son mantenidos y que pueden acumularse en la carne de estos en niveles que pueden causar daño al consumidor.
- 2.- El control de contaminantes se efectuará a través de los Programas de Aseguramiento de Calidad de las plantas pesqueras que procesen peces de cultivo. Estos Programas deberán tener incorporados y desarrollados el riesgo de presencia de contaminantes en la carne y piel de pescado.

- 3.- La presencia de contaminantes en carne y piel de pescado será responsabilidad de la empresa de cultivo de las cuales procedan los pescados, no obstante lo anterior, las plantas dedicadas al procesamiento deberán cumplir ciertas obligaciones en este sistema, tendientes a cautelar el cumplimiento de los mecanismos de control y prevención.
- 4.- Estarán afectos al control de contaminantes aquellos productos destinados a los mercados que exigen esta certificación. Los contaminantes se indican en el anexo II de este Manual.

#### B.1. OBLIGACIONES DE LAS EMPRESAS DE CULTIVOS

1. Las empresas de cultivo deberán acreditar la ausencia de Contaminantes en cada lote que ingresa a proceso. Para esto deberá indicarse en la **Declaración de Garantía** que los peces provenientes de las jaulas o estanques destinados a proceso **"fueron cosechados de aguas no contaminadas con químicos de manera que en la carne y piel de pescado no se encuentran niveles que superan las tolerancias establecidas por los mercados de destino"**.
2. Se debe indicar la ausencia de residuos de productos farmacéuticos de uso veterinario y contaminantes en la misma **Declaración de Garantía**, señalada en el punto A.1.1. del Capítulo V de este Manual.  
Este documento deberá presentarse al ingreso a planta la cual respaldará únicamente pescados que conforman un lote.
3. Para respaldar la **Declaración de Garantía** cada centro deberá monitorear sus peces para pesquisar presencia de contaminantes y deberá mantener en los archivos del centro los resultados del monitoreo.
4. Para lo señalado en el punto anterior, cada centro de cultivo deberá ser monitoreado semestralmente tomando las muestras en condiciones de mayor riesgo.  
Adicionalmente, se debe tomar muestras después de la presentación de hechos inusuales de riesgo que puedan afectar al centro de cultivo.  
La toma de muestras deberá efectuarse en el centro de cultivo sobre peces próximos a la cosecha y con un  $n=5$ .

Las muestras podrán ser tomadas por personal idóneo designado por la empresa de cultivos y deben ser enviadas a laboratorios autorizados por Sernapesca. Los informes de análisis deberán ser archivados en el centro de cultivo como respaldo a lo que se señale en las **Declaraciones de Garantía**.

Estos informes de análisis deberán contener al menos lo señalado a continuación:

- ✓ Debe ser suscrito y emitido por un laboratorio autorizado por Sernapesca para efectuar análisis de contaminantes.
- ✓ Debe señalar número, fecha de emisión, nombre, firma y profesión del analista y responsable del informe.
- ✓ Debe identificar claramente la especie, empresa y centro de cultivo, código o número de las jaulas o estanques que respalda el informe.

Los métodos químicos necesarios para efectuar estos análisis son reseñados en la Norma Técnica LAB/NT4/.

5. La ausencia del documento de respaldo pertinente en los registros del centro de cultivo, o la no presentación de la **Declaración de Garantía** por parte de la empresa de cultivos, en dos oportunidades, determinará la suspensión automática de la certificación sanitaria vía P.A.C. para aquellas empresas de cultivo que incurran en dicha omisión. Esta condición se prolongará hasta la regularización del sistema.
6. El Servicio fiscalizará la existencia y contenido de los documentos de respaldo de la **Declaración de Garantía**, lo cual podrá ser efectuado de manera regular o intensiva; en forma dirigida o al azar, con inspecciones in situ de los registros o solicitando copia vía fax u otro mecanismo que se estime pertinente.
7. El Servicio Nacional de Pesca ha desarrollado el Programa de Aseguramiento de Calidad para productos farmacéuticos y contaminantes en la acuicultura con el fin de apoyar la labor de prevención y control en los centros de cultivo.



## B.2. OBLIGACIONES DE LAS PLANTAS DE PROCESO

1. Toda planta de proceso, que cuente con un Programa de Aseguramiento de Calidad deberá exigir, como medida preventiva, al ingreso de materia prima procedente de centros de cultivo de peces, la **Declaración de Garantía** reseñada en el punto B.1.1., que acredita que los peces destinados a proceso no sobrepasan los límites de contaminantes establecidos por los mercados de destino.
2. La existencia de la citada **Declaración de Garantía** deberá ser monitoreada por la planta de proceso y quedar convenientemente archivada y a disposición de los profesionales de Sernapesca quienes supervisan la operatividad de los Programas de Aseguramiento de Calidad.
3. En el evento que la empresa de cultivos no hubiese presentado la **Declaración de Garantía** en original sobre contaminantes, la planta de proceso a modo de acción correctiva deberá mantener en observación la partida e informar a la empresa involucrada con el fin que se remita la documentación pertinente. Si el problema no es resuelto oportunamente, se deberá tomar cinco muestras de la partida ingresada, con el objeto de comprobar que no existe presencia de contaminantes, utilizando para ello el mecanismo expuesto para las verificaciones en el punto C del Capítulo V de este Manual. Una vez tomadas las 5 muestras, la planta podrá procesar el lote, el que deberá ser mantenido en observación a la espera de los resultados del Laboratorio de Verificación. Para estos efectos se realizarán los controles correspondientes a las Verificaciones de ese mes según lo señalado en Anexo I.

Para estos efectos, el periodo prudente de espera, para proceder al envío de las muestras al laboratorio de verificación de contaminantes, será un máximo de 24 horas.

4. En ausencia de la **Declaración de Garantía**, la no aplicación de acción correctiva según lo indicado en el párrafo precedente, determinará que el funcionario de Sernapesca proceda conforme a lo establecido en el **Manual de Procedimientos del Programa de Aseguramiento de Calidad (PAC/MPI) Capítulo VI de Supervisión.**



5. Las plantas de proceso deberán incorporar en sus P.A.C., dentro de las verificaciones, el muestreo y análisis destinado a detectar la presencia de contaminantes de acuerdo al mecanismo señalado en el punto de verificaciones.

## C. VERIFICACIONES

- 1.- Las plantas de proceso deberán incorporar en sus programas de verificaciones, el análisis de 5 muestras mensuales para residuos de productos farmacéuticos y contaminantes.
- 2.- Las verificaciones estarán orientadas a pesquisar la presencia de **residuos de productos farmacéuticos y contaminantes**, debiendo dichas muestras ser analizadas por un **Laboratorio de Verificación** reconocido para dicho efecto.
- 3.- El mecanismo de verificación de productos farmacéuticos y contaminantes señalado, se efectuará de la siguiente forma:
  - a) Cinco análisis destinados a la detección de residuos de Oxitetraciclina, con un método de detección microbiológico con sensibilidad suficiente para detectar, al menos 0.015 ppm.
  - b) Cinco análisis mediante un método microbiológico que servirá de screening para detectar la presencia de otras drogas antimicrobianas. ( quinolonas, florfenicol, sulfas, betalactámicos y cefalosporinas)
  - c) Un análisis comprobatorio para confirmar la ausencia de quinolonas (ácido oxolinico, flumequina, enrofloxacino y ciprofloxacino), mediante un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales de 5 ppb.
  - d) Análisis de sulfas y florfenicol por un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales.
  - e) Análisis de ivermectina y verde de malaquita por un método instrumental (HPLC) que permitirá detectar niveles residuales de estas sustancias químicas.(Químico 3 y Químico 4, Anexo I).

- f) Análisis de organoclorados y organofosforados por un método instrumental que permitirá detectar niveles residuales de estos contaminantes. (Químico 1 y Químico 2, Anexo I).

La determinación de residuos de drogas antimicrobianas será realizada mensualmente para quinolonas y oxitetraciclina, bimensual para sulfas y florfenicol y trimestralmente, en forma aleatoria, para sustancias químicas, organofosforados, organoclorados, ivermectina y verde de malaquita. Ver esquema explicativo en Anexo I.

Las cinco muestras consideradas para la verificación, serán suficientes para efectuar todas las determinaciones indicadas previamente.

Conforme a las exigencias y dinámica de los mercados de destino y condiciones de uso de drogas a nivel nacional, podrá ser incorporado el análisis de residuos de otras drogas.

- 4.- Las muestras de verificación deberán ser tomadas al ingreso de la materia prima a la planta y en lo posible de una misma **jaula o estanque**. Se recomienda dirigir en forma aleatoria e imprevista los sucesivos muestreos entre los diferentes orígenes de la materia prima, ya sea centros de cultivo o empresas.
- 5.- En relación a la toma de muestras y su procedimiento de envío, se debe cumplir con lo siguiente:
- a) Las muestras deben ser obtenidas por el responsable del P.A.C. (Jefe de Control de Calidad o Jefe de Aseguramiento de Calidad) o muestreador autorizado por Sernapesca. Este procedimiento se debe realizar en presencia de un inspector de Sernapesca quien deberá seleccionar las muestras al azar y sellar las cajas despachadas al laboratorio de verificación.
  - b) La identificación de la muestra debe considerar jaula, identificación del lote, centro de cultivo, empresa de cultivo, especie (nombre científico), zona del pescado del cual se obtuvo la muestra, fecha de muestreo y planta pesquera donde se elaboró el producto.
  - c) Cada muestra debe estar constituida por un trozo de músculo con piel, de alrededor de 100 gramos.

- d) Las muestras deben ser enviadas en adecuadas condiciones de aislamiento y bajo frío, debiendo ser remitidas directamente al domicilio del laboratorio de verificación<sup>1</sup>. La empresa o muestredor autorizado, deberá responsabilizarse del envío y comunicar al laboratorio, vía telefónica o fax, el despacho de las muestras.
- 6.- Los resultados obtenidos a través de las **verificaciones** serán remitidos directamente por el Laboratorio de Verificación al Departamento de Sanidad Pesquera, el cual enviará copia del Informe a la **Empresa de Cultivo**.
- 7.- El laboratorio de verificación hará llegar a la planta de proceso una **constancia** por medio de la cual se identifica el número del informe despachado al Servicio. Dicha constancia no incluirá los resultados de análisis.  
Los resultados serán remitidos por Sernapesca a las empresas de cultivos involucradas.
- 8.- Las empresas de cultivo que requiera que el resultado de las verificaciones sea remitido a la planta de proceso de la cual se originan sus muestras, deberán informarlo por escrito al Departamento de Sanidad Pesquera.
- 9.- Las plantas de proceso que no hayan ingresado materia prima durante los últimos 30 días, suspenderán el proceso de verificaciones, hasta que se produzcan nuevos ingresos.
- 10.- Las plantas que reciban materia prima semiprocesada de plantas con PAC (producto congelado para ser ahumado, por ejemplo) deberán realizar la correspondiente verificación mensual para productos farmacéuticos y contaminantes. Para el ingreso de esa materia prima a proceso se deberá exigir una declaración a la planta de origen que indique que participa del Programa de Verificaciones de Residuos de Sernapesca, identificando claramente la partida que está ingresando, así como la **Declaración de Garantía** que respaldó el ingreso de los peces a planta.

---

<sup>1</sup> Dra. Betty San Martín, Laboratorio de Farmacología de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile. Santa Rosa N°11735, fono 2-6785580, fax 2-5416840.

## D. LABORATORIOS

- 1.- El Servicio define en el Manual de Procedimientos de Laboratorios (LAB/MP4/) las condiciones para participar en el sistema de control de residuos, como Laboratorio de Verificación de Residuos y Contaminantes o como Laboratorio de Análisis de residuos o contaminantes.
- 2.- El Servicio dispone de una nómina actualizada de laboratorios autorizados para realizar análisis de residuos o contaminantes.

## E. CONTROL E INSPECCIONES DE SERNAPESCA

- 1.- **Inspecciones en Planta:** Los funcionarios del Servicio deberán supervisar que las obligaciones de la planta de proceso se estén efectuando conforme a lo dispuesto en este Manual. Se deberá verificar que los lotes ingresados a proceso efectivamente hayan presentado las **Declaraciones de Garantía**. Asimismo, será necesario determinar si el contenido de las declaraciones obedece a lo estipulado en este Manual.
- 2.- **Inspecciones en Centros de Cultivo:** Los funcionarios de Sernapesca podrán solicitar los registros y documentos de respaldo de las declaraciones emitidas para los lotes destinados a proceso. Para esto es conveniente tener información previa de lotes procesados en planta y contenidos de las declaraciones emitidas por la empresa de cultivos, a objeto de correlacionar información y determinar el nivel de coherencia de los datos obtenidos en ambas inspecciones. Para realizar estas inspecciones se deberá utilizar la Pauta de Inspección para Centros de Cultivo, FAR/SI3/.

### 3.- Verificaciones :

Cuando los resultados emitidos por el Laboratorio de Verificación sean desfavorables, se procederá según lo señalado a continuación:

**I. Lotes provenientes de un centro de cultivo con resultados desfavorables a Verificación en una primera oportunidad:**

1.- La oficina central dará aviso inmediato vía telefónica y vía fax a la Dirección Regional de Sernapesca y a la empresa de cultivos involucrada y solicitará un informe con antecedentes que permitan realizar un seguimiento del problema.

a) Si del análisis de la información se desprende que la totalidad o parte del producto afectado fue exportado, se solicitará a la empresa la devolución del producto desde el país de destino. No obstante, Sernapesca evaluará cada caso y procederá a dar aviso a la autoridad competente del país de destino, cuando los antecedentes así lo ameriten.

b) Acciones frente a la existencia de producto o peces afectados en nuestro país:

✓ Si existen peces afectados en el centro de cultivo, se deberá tomar las acciones correctivas que correspondan para ese riesgo.

✓ Si existe producto afectado:

- Sernapesca informará de estos resultados al Servicio de Salud en el marco del Plan Nacional de Residuos que lleva el Ministerio de Salud.

- Se notificará a las Direcciones Regionales de Sernapesca, la identificación del producto problema con el objeto de supervisar la disposición final de éste.

2.- La empresa de cultivo deberá realizar una revisión de sus procedimientos internos, de manera de garantizar que no repetirá un problema similar.

**II. Lotes provenientes de un centro de cultivo con resultados desfavorable a verificación en más de una oportunidad.**

Se entenderá por más de una oportunidad a la obtención de resultados desfavorables a verificación en el mismo centro de cultivo dentro de los 12

meses posteriores a la primera verificación con resultados desfavorables al mismo grupo de sustancias (Productos Farmacéuticos o Contaminantes).

- a) Se procederá según lo señalado en el punto anterior. ( I. )
- b) Todos los lotes provenientes del centro de cultivo afectado enviados a planta, deberán ser analizados para el control de residuos de productos farmacéuticos o contaminantes, según corresponda. Los centros de cultivo quedarán sujetos a esta disposición hasta la obtención de resultados satisfactorios por 6 lotes consecutivos enviados a planta.

Las muestras deberán ser tomadas en planta por un muestreador autorizado asignado especialmente para estos efectos por la empresa de cultivos.

La identificación de la muestra debe considerar jaula, identificación del lote, centro de cultivo, empresa de cultivo, especie (nombre científico), zona del pescado del cual se obtuvo la muestra, fecha de muestreo y planta pesquera donde se elaboró el producto.

De cada lote ingresado a planta se tomarán 5 muestras, cada muestra debe estar constituida por un trozo de músculo con piel, de alrededor de 100 gramos.

Las muestras deben ser enviadas en adecuadas condiciones de aislamiento y bajo frío, debiendo ser remitidas directamente al domicilio del laboratorio de verificación. La empresa o muestreador autorizado, deberá responsabilizarse del envío y comunicar al laboratorio, vía telefónica o fax, el despacho de las muestras.

El muestreador será el responsable por el despacho de las muestras al laboratorio de verificación. El costo del muestreo y análisis será de cargo de la empresa de cultivo.

La **empresa de cultivo** será la responsable de informar al Departamento de Sanidad Pesquera el cumplimiento de los muestreos correspondientes al centro de cultivo afectado.

## CAPÍTULO VI

### CONTROL DE SUSTANCIAS PROHIBIDAS

Para efectos de este Manual, se entenderá por sustancia prohibida o producto no autorizado a las sustancias o productos cuya administración a un animal esté prohibida por la legislación chilena y de los mercados de destino.

Las sustancias prohibidas para especies hidrobiológicas que serán controladas son esteroides, estilbenos, dimetridazol, cloranfenicol y Nitrofuranos.

El muestreo de estas sustancias se debe realizar directamente en los centros de cultivo, tomando peces en todas las etapas de producción. El tamaño de la muestra deberá ser de  $n=5$ , tomados de una misma etapa de producción.

El procedimiento será realizado por un inspector de Sernapesca quién emitirá un informe de muestreo.

El centro de cultivo debe proveer los materiales necesarios para la toma de muestra y el despacho.

Las muestras deberán ser enviadas al laboratorio de Verificación para su análisis. El costo de análisis y envío de las muestras será de cargo del centro de cultivo.

La frecuencia de muestreo será una vez al año para cada centro de cultivo.

Frente a resultados desfavorables, se procederá a lo señalado en el punto E.3 de este Manual, referido a Control e inspecciones de Sernapesca.



## ANEXO I

### ESQUEMA DE VERIFICACIONES MENSUALES PARA PLANTAS DE PROCESO

Mes	DETERMINACIONES A REALIZAR
1	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
2	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
3	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
4	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4
5	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
6	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
7	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
8	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4
9	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 1
10	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 2
11	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC sulfas + Químico 3
12	Screening microbiológico + HPLC quinolonas + HPLC florfenicol + Químico 4

## ANEXO II

### LISTA DE SUSTANCIAS QUÍMICAS INCORPORADAS EN LAS VERIFICACIONES

#### ✓ Sustancias Químicas

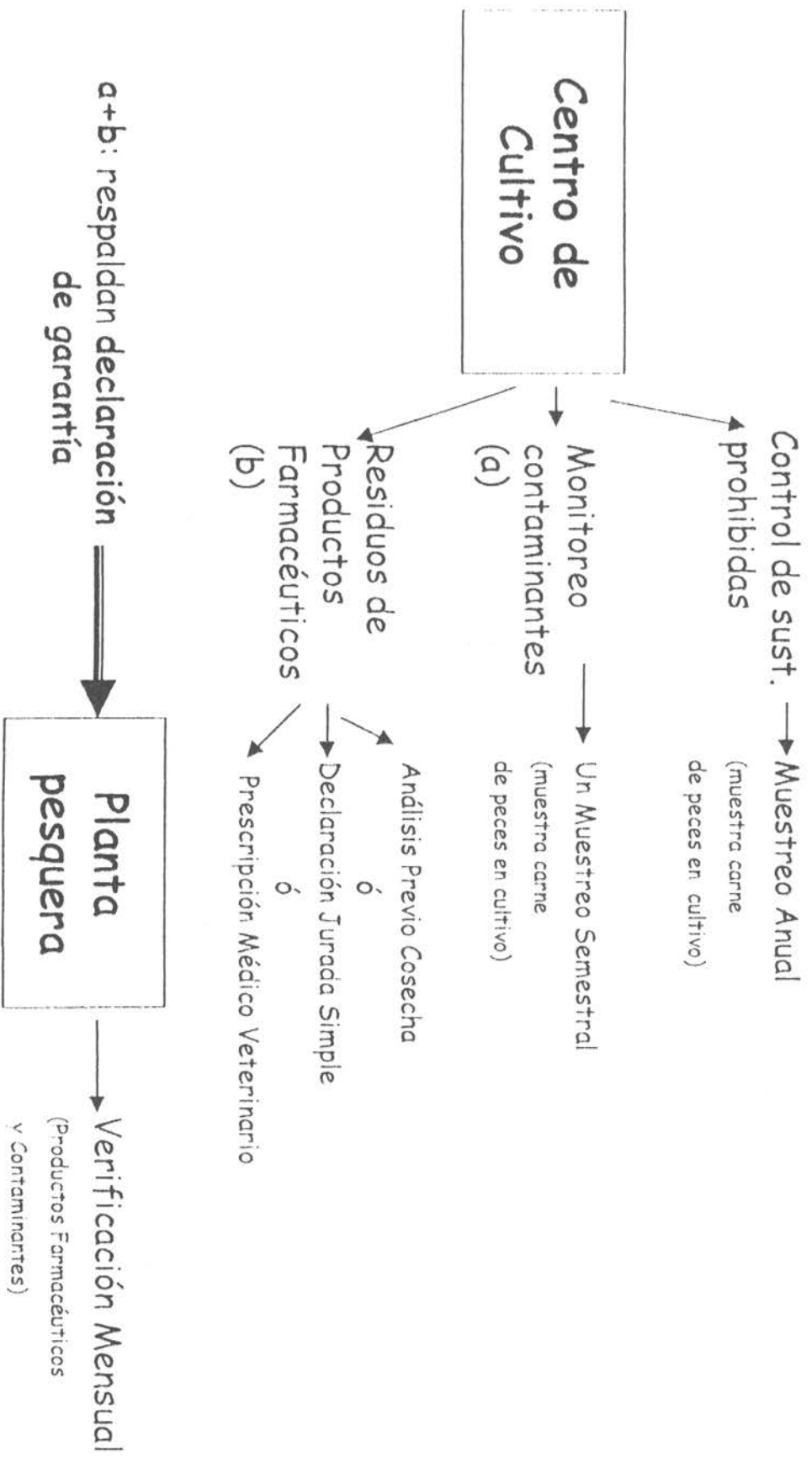
- Aldrín
- Dieldrín
- Clordano
- DDT
- TDE
- DDE
- Heptacloro
- Heptacloro epóxico
- Mirex
- PCB
- Diquat
- 2,4-D
- Metil mercurio
- Verde de Malaquita
- Ivermectina

## ANEXO III

### LÍMITES MÁXIMOS DE SUSTANCIAS PERMITIDAS EN CARNE Y PIEL DE PESCADO POR MERCADOS REGULADOS

	USA	UE
1.- Antimicrobianos:		
- Oxitetraciclina	2 ppm	0.1 ppm
- Ácido oxolínico	ausencia	ausencia
- Flumequina	ausencia	0.15 ppm
- Enrofloxacino	ausencia	ausencia
- Sulfas	ausencia	0.1 ppm
- Florfenicol	ausencia	ausencia
2.- Sustancias Químicas :		
- Aldrín	0.3 ppm	
- Dieldrín	0.3 ppm	
- Clordano	0.3 ppm	
- DDT	5.0 ppm	
- TDE	5.0 ppm	
- DDE	5.0 ppm	
- Heptacloro	0.3 ppm	
- Heptacloro epóxico	0.3 ppm	
- Mirex	0.1 ppm	
- PCB	2.0 ppm	
- Diquat	0.1 ppm	
- Metil mercurio	1.0 ppm	
- 2,4-D	1.0 ppm	
- Verde de Malaquita	ausencia	
- Ivermectina	ausencia	
3.- Sustancias Prohibidas:		
- Esteroides	ausencia	
- Estilbenos	ausencia	
- Dimetridazol	ausencia	
- Cloranfenicol	ausencia	
- Nitrofuranos	ausencia	

# Control de Residuos de Productos Farmacéuticos, Contaminantes y Sustancias prohibidas Sernapesca



UNIVERSIDAD DE MAGALLANES  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DPTO. CIENCIAS Y RECURSOS NATURALES

**ANEXO V**

**PROYECTO**

**DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CARGA  
DEL LAGO SOFIA EN LA XII REGION  
COD. FIP 99-26**

**REVISION BIBLIOGRAFICA N° 2**

**ANALISIS DE LA LEGISLACION CHILENA RELACIONADA CON EL  
OTORGAMIENTO DE CONCESIONES ACUICOLAS EN LAGOS Y RIOS**

**PUNTA ARENAS, CHILE, SEPTIEMBRE, 2000**

## INTRODUCCION

El presente documento ha sido elaborado para ordenar y sintetizar distintas medidas relacionadas con la aprobación y regulaciones asociadas al otorgamiento de concesiones acuícolas en ambientes lénticos y lóxicos por parte de las autoridades del sector pesquero chileno. Esta actividad fue comprometida durante la presentación de la propuesta técnica al FIP y está orientada principalmente a destacar las nuevas regulaciones asociadas al otorgamiento de concesiones de acuicultura y a destacar la importancia de los aspectos ambientales en la aprobación de dichos proyectos.

La Ley de Pesca es el instrumento que norma la preservación de los recursos hidrobiológicos y toda actividad pesquera extractiva, de acuicultura, de investigación y deportiva, que se realice en aguas terrestres, aguas interiores, mar territorial o zona económica exclusiva de la República y en las áreas adyacentes a esta última sobre las que existe o pueda llegar a existir jurisdicción nacional de acuerdo a las leyes y tratados internacionales. Esta ley corresponde al Decreto Supremo 430 de 1992, el cual es el texto refundido de la Ley N° 18.892 de 1989 y sus modificaciones

La legislación que reglamenta las concesiones y autorizaciones de acuicultura esta contenida en el Decreto Supremo 290 de 1993, el cual incluye las modificaciones posteriores del Decreto Supremo 604 de 1994.

La legislación que protege al medio ambiente acuático y norma la densidad de establecimientos de cultivo en una determinada zona, esta contenida en el Decreto Supremo 427 de 1989, el que actualmente se usa como Reglamento de Protección Ambiental.

El Decreto Supremo 340 de 1994 fija las áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, el cual sufre algunas modificaciones que están contenidas en el Decreto Supremo 100 de 1995.

A continuación se detallarán los contenidos de dichos decretos:

## Decreto Supremo 290:

### Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura.

Este reglamento rige para las concesiones y autorizaciones de acuicultura que se otorguen en áreas de playas de mar, terrenos de playas fiscales, porciones de agua y fondo, y rocas, dentro y fuera de las bahías, y en los ríos y lagos que sean navegables por buques de más de cien toneladas de registro grueso, fijadas como apropiadas para el ejercicio de la acuicultura. Este decreto reglamenta las concesiones y autorizaciones de acuicultura, el arrendamiento o transferencia y las caducidades de estas.

La Ley de Pesca establece las siguientes definiciones (Art. 1):

Acuicultura: Actividad que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos organizadas por el hombre.

Autorización de Acuicultura: El acto administrativo mediante el cual la Subsecretaría de Pesca faculta a una persona, natural o jurídica, para realizar actividades de acuicultura por tiempo indefinido, en aquellas áreas que corresponden al ámbito de competencia de la Dirección General de Aguas. Estas autorizaciones otorgan a sus titulares el derecho de aprovechamiento de las aguas concedidas.

Concesión de Acuicultura: El acto administrativo mediante el cual el Ministerio de Defensa Nacional otorga a una persona, natural o jurídica, los derechos de uso y goce, por tiempo indefinido, sobre determinados bienes nacionales, para que realice en ellos actividades de acuicultura.

Las siguientes personas podrán ser concesionarios de acuicultura o titulares de una autorización para realizar actividades de acuicultura (Art. 5):

- a) Personas naturales que sean chilenas, o extranjeras que dispongan de permanencia definitiva.
- b) Personas jurídicas que sean chilenas constituidas según las leyes patrias.



Los concesionarios y los titulares de autorizaciones podrán realizar en los sectores otorgados todas aquellas obras materiales, muelles, atracaderos, inversiones e instalaciones previa autorización del órgano competente (Art. 6).

Todas las mejoras realizadas por el concesionario o por el titular de una autorización, que se encuentren adheridas al suelo, quedarán, en evento de caducidad o término de la concesión o autorización, a beneficio fiscal (Art. 7).

Los solicitantes de concesiones o autorizaciones de acuicultura deberán retirar desde cualquier oficina del Servicio Nacional de Pesca (Sernap), el formulario respectivo, el que una vez completado, deberá ser entregado en la Dirección Regional u Oficina Provincial o Comunal de dicho Servicio, correspondiente al lugar donde se desarrollará la actividad de acuicultura, acompañado de los documentos que se describen en el Anexo 1, más un Proyecto Técnico que se adjunta al formulario (Art. 10).

La solicitud deberá ser presentada en cuadruplicado y dirigida a la Subsecretaría de Marina o de Pesca, según corresponda, firmada por el representante legal o por el solicitante. Una copia de ella quedará en poder del peticionario, debidamente timbrada y firmada por el funcionario autorizado del Sernap, quien, además, deberá anotar la fecha y hora de su recepción (Art. 11).

La solicitud será ingresada y acogida a tramitación sólo cuando reúna todos los antecedentes señalados en el Anexo 1. El Sernap hará un informe técnico de cada solicitud de concesión o autorización de acuicultura y la Subsecretaría de Pesca emitirá su pronunciamiento (Art. 12).

El informe técnico del Sernap deberá considerar al menos los siguientes aspectos (Art. 13):

- a) Cumplimiento de los criterios de extensión de superficie y distancias entre los centros establecidos en el reglamento de protección ambiental.
- b) Si el área solicitada se encuentra dentro de las áreas apropiadas para la acuicultura.
- c) Si existe sobreposición total o parcial con otras concesiones marítimas otorgadas o en tramitación.

- d) Para el caso de establecimiento en tierra, deberá evaluar los sistemas de tratamiento de aguas efluentes.

Si la solicitud se trata de una autorización de acuicultura, una vez verificada la ausencia de superposición, el cumplimiento de las medidas de protección ambiental, contenidas en el Decreto Supremo N° 430, Art. 1 y aprobado el proyecto técnico, la Subsecretaría de Pesca deberá, dentro de un plazo de 90 días, dictar la resolución de autorización de acuicultura.

Si la solicitud se refiere a concesiones de acuicultura, una vez verificado el cumplimiento de los requisitos establecidos en los reglamentos antedichos y aprobado el proyecto técnico, la Subsecretaría de Pesca deberá, dentro del plazo de 30 días, remitir los antecedentes a la Subsecretaría Marina, con el correspondiente informe técnico.

Al Ministerio de Defensa Nacional le corresponderá el otorgamiento de toda concesión de acuicultura, mediante la dictación de una resolución por el Subsecretario de Marina (Art. 16).

Las resoluciones de concesión o autorización de acuicultura deberán publicarse, en extracto, en el Diario Oficial, por cuenta del titular, dentro del plazo de 90 días contado desde la fecha en que la resolución le sea transcrita por carta certificada (Art. 18).

El proyecto técnico, como sus modificaciones, deberán ser aprobados por resolución de la Subsecretaría de Pesca, debiendo contemplar un cronograma de actividades y un programa de producción (Art. 20).

El titular de una concesión o autorización de acuicultura, podrá solicitar su modificación para incluir en ella una o más especies diferentes a las concedidas inicialmente. Cuando se trate de una concesión de acuicultura, la Subsecretaría de Marina podrá autorizarla por resolución, previo informe técnico de la Subsecretaría de Pesca. Cuando se trate de una autorización de acuicultura, la Subsecretaría de Pesca la autorizará de igual forma, previo informe técnico del Sernap. A la solicitud se le deberá adjuntar un nuevo proyecto técnico, el cual deberá ser aprobado por la Subsecretaría de Pesca (Art. 21).

Los peticionarios y titulares de concesiones o autorizaciones de acuicultura, podrán solicitar el cultivo por grupo de especies.

Estos comprenderán las especies que a continuación se especifican:

a) Salmónidos:

Salmón del atlántico	<i>Salmo salar</i>
Salmón plateado o coho	<i>Oncorhynchus kisutch</i>
Salmón rey	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>
Salmón cereza	<i>Oncorhynchus masou</i>
Salmón keta	<i>Oncorhynchus keta</i>
Salmón rosado	<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>
Trucha arcoiris	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Trucha café	<i>Salmo trutta</i>
Trucha de arrollo	<i>Salvelinus fontinalis</i>
Trucha de la montaña	<i>Salvelinus leucomaenis</i>

b) Mitilidos:

Cholga	<i>Aulacomya ater</i>
Chorito	<i>Mytilus chilensis</i>
Choro	<i>Chromytilus chorus</i>

c) Pectínidos:

Ostión del norte	<i>Argopecten purpuratus</i>
Ostión del sur	<i>Chlamys patagonica</i>

d) Ostreidos:

Ostra chilena	<i>Ostrea chilensis</i>
Ostra del pacífico	<i>Crassostrea gigas</i>

Para el cultivo de las especies no comprendidas en los grupos señalados anteriormente, éstas se deberán individualizar en el respectivo proyecto técnico y cronograma de actividades (Art. 21).

Los titulares de concesiones o autorizaciones de acuicultura, así como también las personas que desarrollen actividades de acuicultura, sin necesidad de concesión o autorización, deberán inscribirse en el Registro Nacional de Acuicultura que lleva el Sernap, previo al inicio de sus actividades (Art. 22).

Si el titular de una concesión o autorización de acuicultura fallece, la sucesión deberá solicitar a la Subsecretaría de Pesca o de Marina, según corresponda, dentro del plazo de un año de ocurrido el fallecimiento, la concesión o autorización otorgada al fallecido, para lo cual deberá acompañar una copia autorizada de la posesión efectiva, para que dichas autoridades procedan a dictar una nueva resolución a favor de los herederos. En este caso las mejoras que haya introducido el concesionario o titular de una autorización no pasarán a beneficio fiscal (Art. 23).

La entrega material de una concesión o autorización de acuicultura, se realizará una vez que se encuentra inscrita la concesión o autorización en el Registro Nacional de Acuicultura. La Autoridad Marítima o el Sernap, según corresponda, informará por carta certificada al peticionario, el día y la hora en que hará efectiva la entrega. El plazo fijado para esta diligencia, no puede ser inferior a 10 días contados desde la fecha de expedición de la carta y no excederá los 30 días contados desde esa misma fecha. La entrega se efectuará en base a las coordenadas que se indican en la resolución, mediante un sistema de posicionamiento satelital (G.P.S.), que permita establecer cada uno de los vértices del área otorgada (Art. 24).

Los titulares de concesiones o autorizaciones de acuicultura pagarán anualmente, en el mes de marzo de cada año, una patente única de acuicultura, de beneficio fiscal, como esta establecido en los artículos 2, N° 10 y 84 de la Ley de Pesca.

**Decreto Supremo 427:****Modifica D.S. 175, de 1980 y deroga D.S. 99, de 1988.**

El desarrollo de actividades de cultivo de peces genera desechos que modifican la calidad de las aguas efluentes y de los cuerpos lacustres. Además, la concentración de establecimientos de cultivo, genera riesgos de propagación de enfermedades y contaminación del lago en que se encuentren presentes.

Este Decreto Supremo establece que el Estado tiene la función de velar por la preservación de las características naturales del medio ambiente acuático y norma el modo de ejercer esta función.

Para iniciar de las actividades, los interesados deberán presentar en sus solicitudes una proyección de la producción anual por especie.

Las solicitudes de concesiones marítimas destinadas a cultivo de salmónidos en cuerpos de aguas marinas y lacustres deberán presentar en sus proyectos una distancia mínima de 1,5 millas náuticas, entre cada área destinada a cultivo, la que se medirá trazando una línea recta imaginaria entre los límites externos más próximos de cada área. No requerirán esta distancia mínima, las áreas de cultivo en que el trazado de la línea recta imaginaria se vea interrumpida por accidentes geográficos naturales, tales como islas, istmos, puntas u otras similares. Sin embargo en estos casos se deben observar las características de cada lugar, prohibiendo la instalación de cultivos en áreas con profundidades inferiores a 25 metros y corrientes que presenten valores inferiores a 2,5 cm/seg.

Las solicitudes de concesiones marítimas destinadas a cultivos de salmónidos en cuerpos lacustres se autorizarán hasta alcanzar en cada cuerpo un nivel de producción conjunta máxima, expresado en toneladas, equivalente a dividir por 35 la extensión del lago, medida en hectáreas.

Las solicitudes deberán observar las siguientes condiciones técnicas:

- a) Una distancia de separación mínima de 1.500 metros de las riberas de lagos constituidas por muelles, atracaderos, rampas u otras instalaciones dedicadas a la operación de embarcaciones deportivas o de turismo.

- b) Una velocidad de circulación del agua superior a 1,0 cm/seg.
- c) Las unidades productivas (balsas-jaulas) deberán mantener una distancia mínima de 5 metros entre el sustrato y el fondo de la balsa-jaula.
- d) Los ejemplares en cultivo no podrán superar los tamaños alcanzados al término del proceso de esmolificación. Se exceptúan de esta prohibición las especies de truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y café (*Salmo trutta fario*), los que podrán alcanzar tamaños de hasta 300 grs. (trucha porción).
- e) Los fondos sobre los cuales se ubiquen las unidades productivas deberán poseer una pendiente mínima de un 2 por ciento.
- f) Las unidades de cultivo deberán contar, en un plazo máximo de 2 años, con un sistema de remoción de desechos orgánicos diseñados para la descontaminación de al menos 85 por ciento de los sólidos en suspensión producidos, siempre que el nivel de fósforo total sea superior a 9 ug/lit (microgramos por litro), como promedio anual.

Las solicitudes para operar establecimientos de cultivo de salmónidos en aguas fluviales, se autorizarán hasta alcanzar en cada sistema fluvial una producción conjunta máxima, expresada en toneladas, equivalente a dividir por 25 el caudal mínimo, medido en lit/seg (litros por segundo), en época de estiaje. Los caudales se calcularán sobre la base de un promedio de caudales mínimos para un periodo de 15 años, preferentemente.

Las solicitudes deberán observar las siguientes condiciones técnicas:

- a) Una distancia mínima de separación entre ellos de 3 kilómetros, la que se medirá siguiendo el eje principal del río, desde los lugares de descarga de las aguas efluentes de un establecimiento y hasta las áreas de captación del establecimiento más cercano ubicado aguas arriba y abajo.
- b) Cada establecimiento ubicado en cursos fluviales deberá contar con un sistema de decantación para las aguas efluentes, diseñado para la decantación de al menos un 85 por ciento de los sólidos en suspensión producidos por el establecimiento de cultivo. Además, se deberá utilizar en las mismas aguas efluentes, sustancias naturales tampones que neutralicen el amonio y se recuperen los niveles de pH y oxígeno originales.

**Decreto Supremo 340:****Fija áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura en la  
XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.**

En este decreto supremo se fijan como áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, los espacios marítimos, playas de mar y terrenos de playas fiscales comprendidos entre las latitudes 48°50'30" Sur y 55°04'07,82" Sur, y circunscritos por las áreas y coordenadas geográficas que se indican en las cartas náuticas editadas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (S.H.O.A.) y que clasifican las áreas particulares de uso para acuicultura.

El Decreto Supremo 100 de 1995 se modifican las áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura en la XII Región de Magallanes y Antártica Chilena, además, de incluir modificaciones para las áreas con el mismo fin en la XI Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo. Dichas modificaciones contemplan algunas de las áreas ya definidas en el D.S. 340.



## CONSIDERACIONES LEGALES Y TÉCNICAS EN LA REVISIÓN DE SOLICITUDES DE CONCESION DE ACUICULTURA

Se verifica que:

1. Se acompaña la documentación indicada en el Reglamento de Concesiones y autorizaciones de Acuicultura, Art. 10, D.S. 290/93, modificado por D.S. 604.
2. Se cumplen los siguientes aspectos legales y técnicos:
  - Se cumple con el D.S. 427/89, que reglamenta la distancia, profundidad, caudales y otros de los emplazamientos de los centros de cultivo.
  - Se cumple con el D.S. 550/92, que reglamenta sobre las limitaciones a las áreas de concesiones o autorizaciones de acuicultura.
  - Se cumple con las áreas autorizadas para el ejercicio de la acuicultura, establecidas en el D.S. 430/91 de la Ley General de Pesca y Acuicultura, y en el D.S. 340 que fija las áreas específicas para la XII Región.
  - La no sobreposición total o parcial con otra concesión de acuicultura o marítima, otorgada o en trámite especificada en el D.S. 660/88 del Ministerio de Defensa Nacional y en el D.S. 290/93, Art. 10 y Art. 13.
  - La no presencia de recursos hidrobiológicos y/o actividades extractivas en el área solicitada, conforme al D.S. 430/91, Art. 67.
  - La inscripción en el registro Nacional de Acuicultura en el caso de ampliación de las actividades.
  - La Operación del centro de cultivo en los últimos 24 meses en caso de ampliación de Actividades.
3. Presentación al Sistema de Impacto Ambiental del Informe Técnico presentado al Servicio Nacional de Pesca, donde se revisa que cumpla con los Artículos 10, 32 y 40 de la Ley Base del Medio Ambiente, ley N° 19 300. El Sistema de Impacto Ambiental revisa conforme al Reglamento de Impacto Ambiental que se cumplan sus Artículos 3 y 6.

## ANTEPROYECTO DE NORMA DE CALIDAD PARA LA PROTECCION DE LAS AGUAS CONTINENTALES SUPERFICIALES

El siguiente anteproyecto que fue publicado el 7 de marzo del 2000 en el Diario Oficial, por resolución N° 198, se fundamenta en que el agua es un recurso esencial para la vida e indispensable para gran parte de las actividades económicas y productivas del hombre. Se presenta naturalmente en distintos estados, con una gran diversidad de calidades. A los cursos y cuerpos de agua se van incorporando diferentes sustancias de origen natural o antropogénicas dando origen a diversas calidades de agua.

Ello se traduce en que actualmente, Chile posea algunos cuerpos y cursos de agua deteriorados que deben ser recuperados, otros en un nivel de calidad aceptable que deben conservarse, y por último, importantes recursos hídricos en un estado pristino, que necesitan ser preservados.

Existen cuerpos o cursos de agua que por su extraordinaria calidad, forman parte del patrimonio ambiental de la República y que es necesario proteger para salvaguardar los recursos naturales y sus usos.

Esta norma tiene por objetivo proteger, mantener o mejorar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar la salud de las personas, el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

### I. Disposiciones Generales

El presente anteproyecto establece la norma primaria de calidad ambiental de las aguas continentales superficiales del territorio de la República, aptas para actividades con contacto directo y para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen sin proceso de cocción. Asimismo, establece las normas secundarias de calidad ambiental de las aguas continentales superficiales del territorio chileno, aptas para la conservación de las comunidades acuáticas; el desarrollo de la acuicultura y la pesca deportiva; para riego; para bebida de animales; para captación de agua para potabilizarla, para mantener y mejorar el nivel

tráfico de los cuerpos lacustres y para la protección de los cuerpos y cursos de agua de calidad excepcional, quedando fuera del ámbito de aplicación de ésta norma, las aguas minerales (Art. 1).

## **II. Norma Primaria de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales**

En este artículo se fijan los valores máximos de concentración o unidad del contaminante en las aguas continentales superficiales aptas para actividades con contacto directo y para el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen sin proceso de cocción (Anexo 3).

## **III. Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales**

En la presente norma se fijan los valores máximos de concentración o unidad de los contaminantes en las aguas continentales superficiales aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y usos prioritarios.

Las clases de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios son los siguientes (Art. 5):

- a) Clase de calidad excepcional, corresponde a aguas continentales superficiales de calidad superior a la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forman parte del patrimonio ambiental. Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos en esta norma cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.
- b) Clase 1 (muy buena calidad), corresponde a la calidad de aguas continentales superficiales aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.
- c) Clase 2 (buena calidad), corresponde a la calidad de aguas continentales superficiales aptas para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y para los usos comprendidos en la clase 3.

- d) Clase 3 (regular calidad), corresponde a la calidad de aguas continentales superficiales adecuadas sólo para bebida para animales y para riego restringido.
- e) Clase 4 (mala calidad), corresponde a la calidad de aguas continentales superficiales que no cumplen con los requisitos establecidos para las clases 1,2 y 3, sin perjuicio de su aprovechamiento industrial.

Las clases de calidad comprendidas entre la clase de excepción y la clase 4, son adecuadas para la captación de agua para potabilizarla, dependiendo del tratamiento a utilizar (Art. 6).

En caso que un cuerpo o curso de agua tenga como calidad natural una inferior a la clase 3, deberá ser protegido hasta el valor de su calidad natural, con el objeto de que esta no empeore (Art. 7).

#### **IV. Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección del Nivel Trófico de las Aguas Continentales Superficiales Lacustres**

Se fijan los valores máximos de concentración o unidad del contaminante para las aguas continentales superficiales que permiten mantener o mejorar el nivel trófico de los cuerpos de agua lacustres (Art. 8).

#### **V. Definición de los Niveles que determinan Situaciones de Emergencia Ambiental para la Norma Primaria**

En cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 32° de la Ley 19.300, de Bases Generales del Medio Ambiente, se establecen los niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental, horaria, diaria y para el promedio de diez días (Anexo 3) (Art. 9).

#### **VI. Programa de Implementación**

La implementación de la norma de calidad secundaria se realizará mediante la dictación de las normas de calidad objetivo por áreas territoriales (Art. 10).

Para efectos de asignar las calidades objetivo que deberán tener las aguas superficiales continentales del país, de acuerdo a lo establecido en las normas secundarias contenidas en el presente anteproyecto, se deberán cumplir las siguientes etapas:

- a) La Dirección General de Aguas y la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante informarán sobre la calidad actual de las aguas continentales superficiales del país, en el plazo de un año contado desde la entrada en vigencia de la presente norma.
- b) La Comisión Nacional del Medio Ambiente coordinará a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante y la Dirección General de Aguas en la formulación de una propuesta técnica de asignación de la calidad objetivo para los cursos y cuerpos de agua prioritarios del país. Tal propuesta será realizada por áreas de control las que podrán corresponder a todo el cuerpo o curso de agua o a una parte de éste.
- c) Dicha propuesta deberá ser presentada a la COREMA respectiva para su ratificación.
- d) La propuesta señalada en la letra b) precederá el inicio del proceso de dictación de la Norma de Calidad Objetivo, previa incorporación en el Programa Priorizado de Normas y de acuerdo a lo establecido en Decreto Supremo N°93 de 1995, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión.

Cumplidas las etapas señaladas en el artículo anterior, se aplicarán los siguientes criterios en la gestión de la calidad objetivo (Art. 11):

- a) Cuando la clase de calidad actual sea coincidente o mejor que la calidad objetivo, se deberá analizar la conveniencia de modificar la norma de emisión vigente.
- b) Cuando la clase de calidad actual sea inferior a la calidad objetivo, se deberá declarar la zona específica del territorio como saturada o latente con el fin de elaborar el plan de prevención o de descontaminación según corresponda.

- c) Cuando la clase de calidad actual sea coincidente con la clase de calidad de excepción, se deberán iniciar los estudios científicos y técnicos respectivos para la definición de normas de emisión específicas u otros instrumentos de gestión ambiental que permitan mantener dicho objetivo ambiental.

## VII. Cumplimiento y Excedencias

El cumplimiento de la norma primaria deberá verificarse por contaminante mediante mediciones en las aguas superficiales continentales en las que se realicen usualmente actividades con contacto directo, o el riego de verduras y frutas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen sin proceso de cocción (Art. 12).

El cumplimiento de la norma secundaria deberá verificarse por contaminante mediante mediciones en las áreas de control de las aguas continentales superficiales donde hayan sido establecidas las normas calidad objetivo.

Se entenderá que las aguas continentales superficiales cumplen con la norma primaria de calidad establecida en el presente anteproyecto, cuando (Art. 13):

- a) el percentil 80 de las muestras analizadas para un contaminante durante un año sea menor o igual a los límites establecidos en la presente norma.
- b) las muestras superiores a dicho percentil, no superen en más del doble el límite establecido para el mismo contaminante.

Se entenderá que las aguas continentales superficiales cumplen con las normas secundarias de calidad establecidas en la presente norma, cuando el percentil 66 de las concentraciones de las muestras analizadas para un contaminante en un área determinada y durante dos años consecutivos, sea menor o igual a los límites establecidos en la presente norma (Art. 14).

Sólo para efectos de la declaración de una zona como saturada o latente, no se considerarán sobrepasadas las normas de calidad establecidas en la presente norma, en las siguientes situaciones (Art. 15):

- a) Cuando la calidad natural de un cuerpo o curso de agua exceda los valores establecidos por la presente norma de calidad y sólo hasta el límite de dicha calidad natural. Los valores excedidos por sobre dicho límite sobrepasarán la norma de calidad para efectos de la declaración de una zona como saturada o latente.
- b) Cuando la superación de los valores establecidos por la presente norma sea consecuencia de inundaciones, sequías, catástrofes naturales u otras situaciones relacionadas con variación natural del caudal.

Corresponderá a la Dirección General de Aguas y/o a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante pronunciarse respecto de estas situaciones.

#### **VIII. Fiscalización**

Los Servicios de Salud y el Servicio de Salud del Ambiente de la Región Metropolitana, deberán fiscalizar el cumplimiento de la norma primaria de calidad ambiental.

Corresponderá a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, a la Dirección General de Aguas y al Servicio Agrícola y Ganadero fiscalizar el cumplimiento de la norma secundaria de calidad ambiental (Art. 16).

#### **IX. Programa de Monitoreo y Análisis**

El monitoreo destinado a verificar el cumplimiento de las normas que trata este anteproyecto, se efectuará de acuerdo a los métodos establecidos en las normas chilenas oficiales que se indican a continuación, teniendo en cuenta que dicho monitoreo excluirá la zona de mezcla (Art. 17).

El monitoreo para el control de la norma primaria, deberá efectuarse de acuerdo a un plan de control establecido por los Servicios de Salud respectivos (Art. 18).



El plan de control deberá establecer una frecuencia mínima de monitoreo para los siguientes contaminantes: Indicadores Físico químicos (pH); Inorgánicos (Cianuros); Orgánicos (compuestos fenólicos); metales no esenciales (arsénico, mercurio y plomo) y Microbiológicos (coliformes fecales y coliformes totales). Establecerá además, la frecuencia de monitoreo para el resto de los contaminantes.

El monitoreo para el control de las normas secundarias deberá efectuarse de acuerdo a un plan de control elaborado por la autoridad competente y aprobado conjuntamente con la norma de calidad objetivo de que trata el artículo 10 (Art. 19).

El análisis de los contaminantes incluidos en estas normas deberá efectuarse de acuerdo a los métodos establecidos en las normas chilenas oficiales que se indican, teniendo en cuenta que los resultados deberán referirse a valores totales en los contaminantes que corresponda.

Para el análisis de los contaminantes se listan los métodos de medición, teniendo en cuenta que los resultados deberán referirse a valores totales en los contaminantes que corresponda (Anexo 3).

Para los casos en que existe más de una alternativa en la determinación de un contaminante, según lo establecido en los artículos 22° y 23° de esta norma, corresponderá a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante y a la Dirección General de Aguas indicar el método a utilizar teniendo en consideración la concentración regulada y la sensibilidad del método analítico (Art. 24).

#### **X. Informe de Calidad**

La Comisión Nacional del Medio Ambiente coordinará la elaboración de un informe trienal sobre el estado de la calidad de las aguas del país, de acuerdo a las áreas establecidas conforme al artículo 10. Las autoridades competentes deberán proveer a dicha Comisión toda la información pertinente. Dicha información comprenderá a lo menos antecedentes tales como calidad natural, índice de calidad del agua y calidad objetivo de las áreas establecidas en los cuerpos o cursos de agua (Art. 25).

El Índice de Calidad Ambiental del Agua para el área establecida en los cuerpos lacustres, corresponde al contaminante de mayor nivel de trofia (Art. 27).

## DOCUMENTOS ANEXOS

A continuación se señalan los títulos de algunos documentos que pueden ser de ayuda para comprender el proceso de solicitud de una concesión acuícola que complementa la revisión acá desarrollada.

Los documentos son:

- Documentación requerida para iniciar y/o ampliar actividades de acuicultura
- Formulario de Concesión de acuicultura y proyecto técnico
- Diagrama del proceso de tramitación de solicitudes de concesión de acuicultura del Departamento de Administración Pesquera XII Región.
- Copia del extracto del Diario Oficial que modifica reglamento de concesiones y autorizaciones de acuicultura (Dec. N° 604, 13 de enero, 1995).
- Consideraciones legales y técnicas en la revisión de solicitudes de acuicultura
- Estado de tramitación en la Subsecretaría de Pesca de solicitudes de acuicultura de la XII Región
- Resumen de la situación de concesiones de acuicultura en la XII Región (agosto, 2000).

**DOCUMENTACION REQUERIDA PARA INICIO Y/O AMPLIACION DE  
ACTIVIDADES DE ACUICULTURA**

**I.- PERSONAS NATURALES**

- A) UNA COPIA LEGALIZADA ANTE NOTARIO Y DOS COPIAS SIMPLES DE LA CÉDULA DE IDENTIDAD DEL SOLICITANTE. (El original va a la Dirección Nacional de Pesca, una copia para la carpeta regional y la segunda copia para la oficina donde ingresó la solicitud).

**II. PERSONAS JURIDICAS**

- A) UNA COPIA LEGALIZADA ANTE NOTARIO Y DOS COPIAS SIMPLES DEL ROL ÚNICO TRIBUTARIO DEL SOLICITANTE. (El original va a la Dirección Nacional de Pesca, una copia para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud).
- B) UNA COPIA NOTARIAL Y DOS COPIAS SIMPLES DE LA ESCRITURA PÚBLICA DE CONSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD Y SUS MODIFICACIONES, CON LAS CORRESPONDIENTES INSCRIPCIONES EN EL REGISTRO DE COMERCIO (La copia legalizada va a la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud).
- C) UNA COPIA LEGALIZADA Y DOS COPIAS SIMPLES DE LA PUBLICACIÓN EN EL DIARIO OFICIAL DEL EXTRACTO DE LA ESCRITURA PÚBLICA DE CONSTITUCIÓN DE LA SOCIEDAD (La copia legalizada es para la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud). Esta documentación es independiente de que el solicitante presente copia legalizada de su inscripción en el Registro de Comercio).
- D) ORIGINAL O COPIA LEGALIZADA Y DOS COPIAS SIMPLES DEL CERTIFICADO DE VIGENCIA DE LA INSCRIPCIÓN DE LA SOCIEDAD EN EL REGISTRO DE COMERCIO, EXPEDIDO CON UNA ANTELACIÓN DE A LO MAS DE DOS MESES (Esto significa que al momento de la presentación de la solicitud, la fecha del certificado notarial no debe ser superior a 60 días).
- E) UNA COPIA LEGALIZADA Y DOS COPIAS SIMPLES DE LA ESCRITURA DEL MANDATO OTORGADO AL REPRESENTANTE LEGAL (La copia legalizada es para la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud).
- F) UN CERTIFICADO DE VIGENCIA Y DOS COPIA SIMPLES DEL MANDATO OTORGADO AL REPRESENTANTE LEGAL (El original es para la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud). Cuando la escritura de constitución de la sociedad tiene una antigüedad inferior a dos meses, y se desprende la representación legal, no es necesario solicitar esta documentación).
- G) UNA COPIA LEGALIZADA Y DOS COPIAS SIMPLES DE LA CÉDULA DE IDENTIDAD DEL REPRESENTANTE LEGAL (La copia legalizada es para la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud).
- H) UNA COPIA TIMBRADA POR LA DGTM Y DOS COPIAS SIMPLES, DE LA CARTA DE PETICIÓN A LA AUTORIDAD MARITIMA DEL CERTIFICADO DE NAVEGABILIDAD Y SOBREPOSICIÓN (El original es para la Dirección Nacional de Pesca, una copia simple para la carpeta regional y la segunda copia para la carpeta de la oficina donde ingresó la solicitud).

### III. PERSONAS NATURALES Y JURÍDICAS

#### PLANOS

DEBEN PRESENTARSE EN CINCO JUEGOS, TRES DE LOS CUALES DEBEN SER ORIGINALES (Un original para la Dirección Nacional de Pesca, un original para la Subsecretaría de Pesca, un original para la carpeta de la Dirección Regional de Pesca, una copia simple para la carpeta de la Oficina donde ingresó la solicitud y una copia simple para la Dirección de Fronteras y Límites del Estado).

LOS PLANOS DEBEN CUMPLIR CON LA TOTALIDAD DE LAS EXIGENCIAS ESTABLECIDAS EN EL ARTICULO N° 10 DEL D.S. N° 290/93, MODIFICADO POR EL D.S. N° 604/95. TODO PLANO QUE NO SE AJUSTE A LO ESTABLECIDO POR EL INSTRUCTIVO SHOA N° 8, DEBE SER CONSIDERADO INCOMPLETO Y EN CONSECUENCIA LA SOLICITUD DEBE DEVOLVERSE POR INCOMPLETA.

EL ORDEN DE PRECEDENCIA DE CADA SOLICITUD ESTA DADO POR LA FECHA Y HORA DE INGRESO DE LA MISMA AL SERVICIO NACIONAL DE PESCA. SOLO PUEDEN ACOGERSE A TRAMITE AQUELLAS SOLICITUDES QUE CUENTAN CON LA TOTALIDAD DE LA INFORMACION REQUERIDA.

POR NINGUN MOTIVO SE RECEPCIONARÁN SOLICITUDES QUE NO CONTENGAN TODA LA INFORMACION REQUERIDA.

LA EMISION DE LAS SOLICITUDES A NIVEL CENTRAL, SE REALIZARÁN UNA VEZ QUE SE HAYA EFECTUADO EL RESPECTIVO INFORME TÉCNICO, EL CUAL SE ELABORA Y COMPLEMENTA CON LA INSPECCIÓN DE BUCEO DEL SECTOR SOLICITADO. ES NECESARIO INDICAR A LOS SOLICITANTES DE ESTA SITUACIÓN, OBJETO DE OBTENER DE SU PARTE EL MÁXIMO DE COOPERACIÓN PARA ACCEDER AL LUGAR, DE MANERA DE AGILIZAR Y DISMINUIR EL TIEMPO DE TRAMITACIÓN DE SU SOLICITUD.

LA ASIGNACIÓN DE CÓDIGO DE BARRAS A LA SOLICITUD, SE REALIZARÁ SOLO CUANDO SE HAYA EFECTUADO UNA MINUCIOSA REVISIÓN DE LA TOTALIDAD DE LA DOCUMENTACIÓN, INCLUIDA UNA REVISIÓN EXHAUSTIVA DE LOS PLANOS. CUANDO SE TENGA CERTEZA DE QUE LA SOLICITUD CUMPLE CON TODOS LOS REQUISITOS, SE PROCEDE A ASIGNAR EL PERT O NÚMERO DE SOLICITUD.

EN CASOS DE MODIFICACIONES DE CONCESIONES Y/O AUTORIZACIONES DE ACUICULTURA, LOS REQUISITOS DESCRITOS SON EXACTAMENTE LOS MISMOS (SE ENTIENDE POR MODIFICACION, CUANDO SE INCORPORAN NUEVAS ESPECIES AL CULTIVO YA AUTORIZADO).

NOTA : La información y exigencia oportuna de la documentación requerida para la tramitación de solicitudes de acuicultura, es necesaria para agilizar la obtención de las respectivas autorizaciones. Se recomienda a los usuarios informarse sobre los requisitos indicados, objeto de evitar que cometan errores que puedan significar pérdida de tiempo y esfuerzo en su gestión, así como la del Servicio

CUANDO SE ACOGE UNA SOLICITUD A REVISIÓN Y SE DETECTA QUE LA MISMA NO SE AJUSTA A LO REQUERIDO, DEBE DEVOLVERSE, SIEMPRE OFICIALMENTE. SI EL SOLICITANTE INSISTE EN SU PRESENTACION, SE ACOGERÁ Y SE LE INFORMARÁ POR ESCRITO DE LA SITUACIÓN, SIENDO SU RESPONSABILIDAD EL LOGRO DE SU OBJETIVO EN ESAS CONDICIONES. EN ESTAS SITUACIONES SE DEJARÁ CONSTANCIA EN EL RESPECTIVO INFORME TÉCNICO DE LA INFORMACIÓN FALTANTE Y/O ANTECEDENTES INCORRECTOS (CASOS DE PLANOS POR EJEMPLO).

LO ANTERIOR PUEDE OCURRIR EN LA PRESENTACION DE PLANOS, LOS CUALES SI BIEN PUEDEN ESTAR VISADOS POR LA CAPITANIA DE PUERTO COMPETENTE, ESTOS PRESENTAN DE ERRORES Y/O LA INFORMACIÓN CONTENIDA NO ES CORRECTA O SIMPLEMENTE NO ESTÁ, O SENCILLAMENTE NO SE AJUSTA A LO INDICADO POR EL INSTRUCTIVO SHOA N° 8.

# SOLICITUD DE "CONCESIÓN DE ACUICULTURA" Y PROYECTO TECNICO

N° de Solicitud
-----------------

USO INTERNO SERNAPECSA		
RECEPCIÓN	DEVOLUCIÓN	INGRESO A TRÁMITE
Fecha .....	Fecha .....	Fecha .....
Hora .....	.....	Hora .....
Receptor .....	Analista .....	Analista .....
Firma .....	Firma .....	Firma .....

SEÑOR  
SUBSECRETARIO DE MARINA  
PRESENTE

## I SOLICITUD

### 1. IDENTIFICACION DEL SOLICITANTE

Razón social o apellido paterno		Apellido materno		Nombres	
RUT	Calle	N°	Of/Depto	Ciudad	
Casilla	Teléfono	Fax	Representante legal		RUT

### 2. TIPO DE SOLICITUD

Mar       Especie   
 Lago       Modificación       Area   
 Río       Otra  Especificar .....  
 Otro  Especificar .....

Resolución que modifica (Subsecretaría de Pesca)  Número/año

Decreto o Res. que modifica (Subsecretaría de Marina)  Número/año

### 3. ANTECEDENTES DEL SECTOR SOLICITADO

#### 3.1 Ubicación

Canal, fiordo, estero, bahía, lago, río, localidad	Comuna	Región
--	--------	--------

#### 3.2 Coordenadas geográficas

Vértice	Latitud S	Longitud W	Distancia a puntos notables	Demarcación
A				
B				
C				
D				
Punto(s) notable(s)			Denominación:	

#### 3.3 Cartografía en la cual se basan las coordenadas geográficas. (Debe corresponder a las cartas sobre las cuales se definieron las AAA).

Carta SHOA N°       Otras cartas

#### 3.4 Area solicitada Há

#### 3.5 Tipo de concesión (Debe presentarse un formulario de solicitud para cada tipo de concesión)

a) Porción de agua y fondo       b) Playa       c) Terreno de playa       d) Roca

#### 3.6 Establecimientos situados en lagos: superficie del lago Há

#### 3.7 Establecimientos situados en ríos: caudal mínimo del río l/s

**II PROYECTO TECNICO**

(En caso de modificación, este proyecto técnico reemplaza al proyecto original)

**1. Especies o grupo de especies**

(Cuando se trate de modificación, indicar las especies autorizadas y las que serán incorporadas, señalando con una X según correspondi)

Nombre común	Nombre científico	Autorizadas	A incorporar	Etapas de cultivo

**2. Cronograma de actividades**

**2.1 Número de estructuras técnicas a instalar cada año, indicando el número y dimensión total acumulado del proyecto.**

TIPO DE ESTRUCTURA	Estructuras Instaladas(*)	AÑO					TOTAL ACUMULADO	
		1	2	3	4	5	Nº	Dimensión
Línea								
Balsa								m
Parrón								m <sup>2</sup>
Balsa jaula								m <sup>2</sup>
Otro (Especificar)								m <sup>2</sup>
Algas (Area)								m <sup>2</sup>

(\*) Sólo para modificaciones

**2.2 Dimensiones de las estructuras de cultivo a utilizar :**

Rectangulares     
  Circulares     
  Otros (Especificar)

Tipo	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Díámetro (m)

En caso de balsas para moluscos, indicar número de cuevas u otro elemento a utilizar por estructura, en caso de líneas, indicar número de líneas

**2.3 Cultivo de algas, indicar método :**

a) Directo al sustrato      
 b) Indirecto al sustrato (Especificar)      
 c) Suspendido (Especificar)   
 d) Estanque      
 e) Otro (Especificar)

**3. Programa de producción**

Producción anual proyectada por especie. Cuando se trate de modificaciones, señalar la producción del último año. Especificar número de ejemplares o kilos.

ESPECIE	Peso promedio de ejemplares	Producción último año (*)	AÑO				
			1	2	3	4	5

(\*) Sólo para modificaciones

**NOTA :**

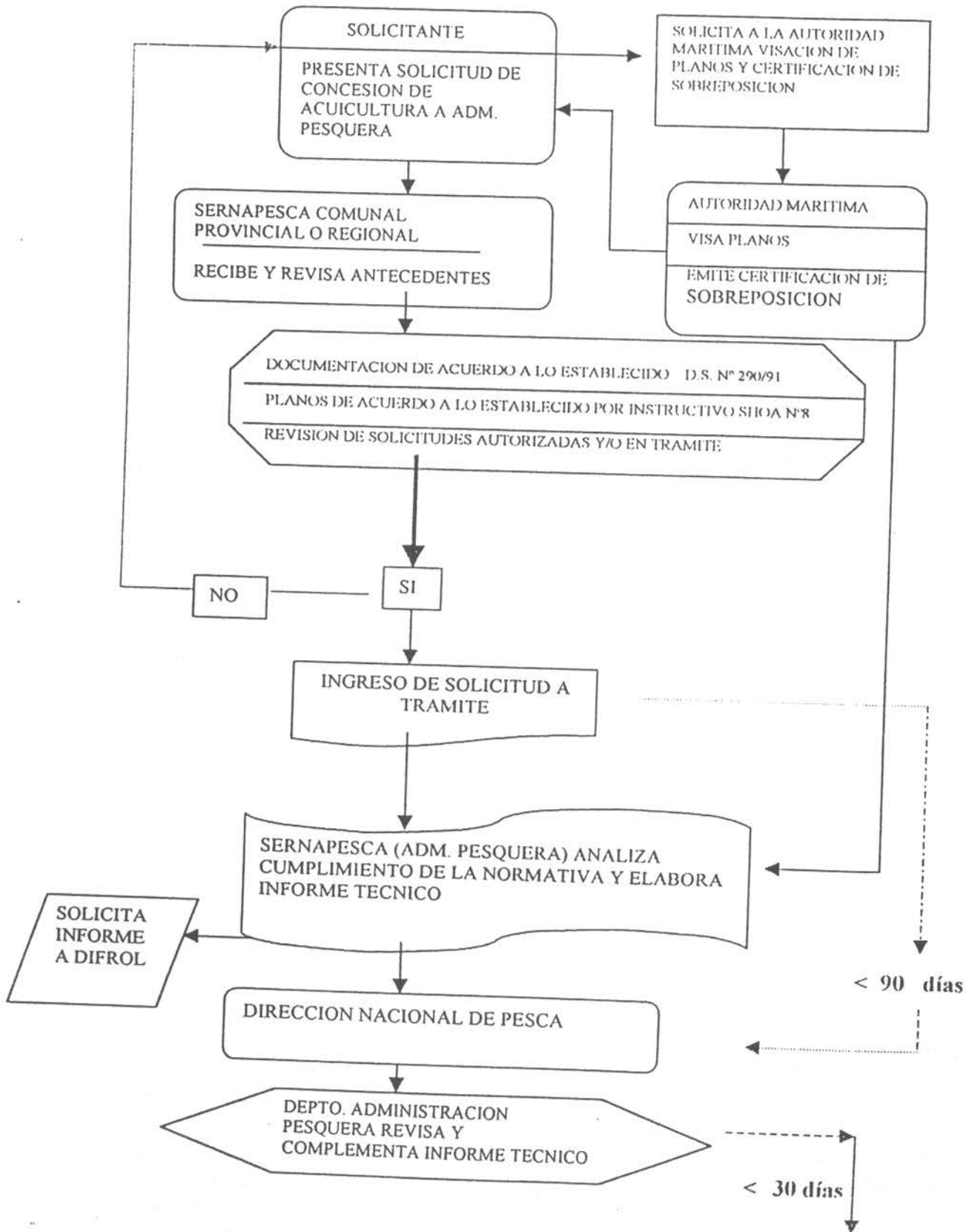
- a) Esta solicitud debe presentarse en triplicado, adjuntando en cada ejemplar los antecedentes exigidos en el art. 10° del D.S. N° 290/93 (MINECON), modificado por el D.S. N° 804/95 (MINECON). La documentación legal deberá presentarse en original, sólo en un ejemplar.
- b) Si los espacios para registrar la información requerida son insuficientes utilizar una hoja anexa, especificando el ítem correspondiente.
- c) Si la solicitud incluye actividades de apoyo, debe considerar un cronograma de actividades similar al señalado en el punto 2.1 del presente formulario.
- d) Para someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, de acuerdo a la normativa vigente, se recomienda hacerlo cuando sea requerido por la Subsecretaría de Pesca.

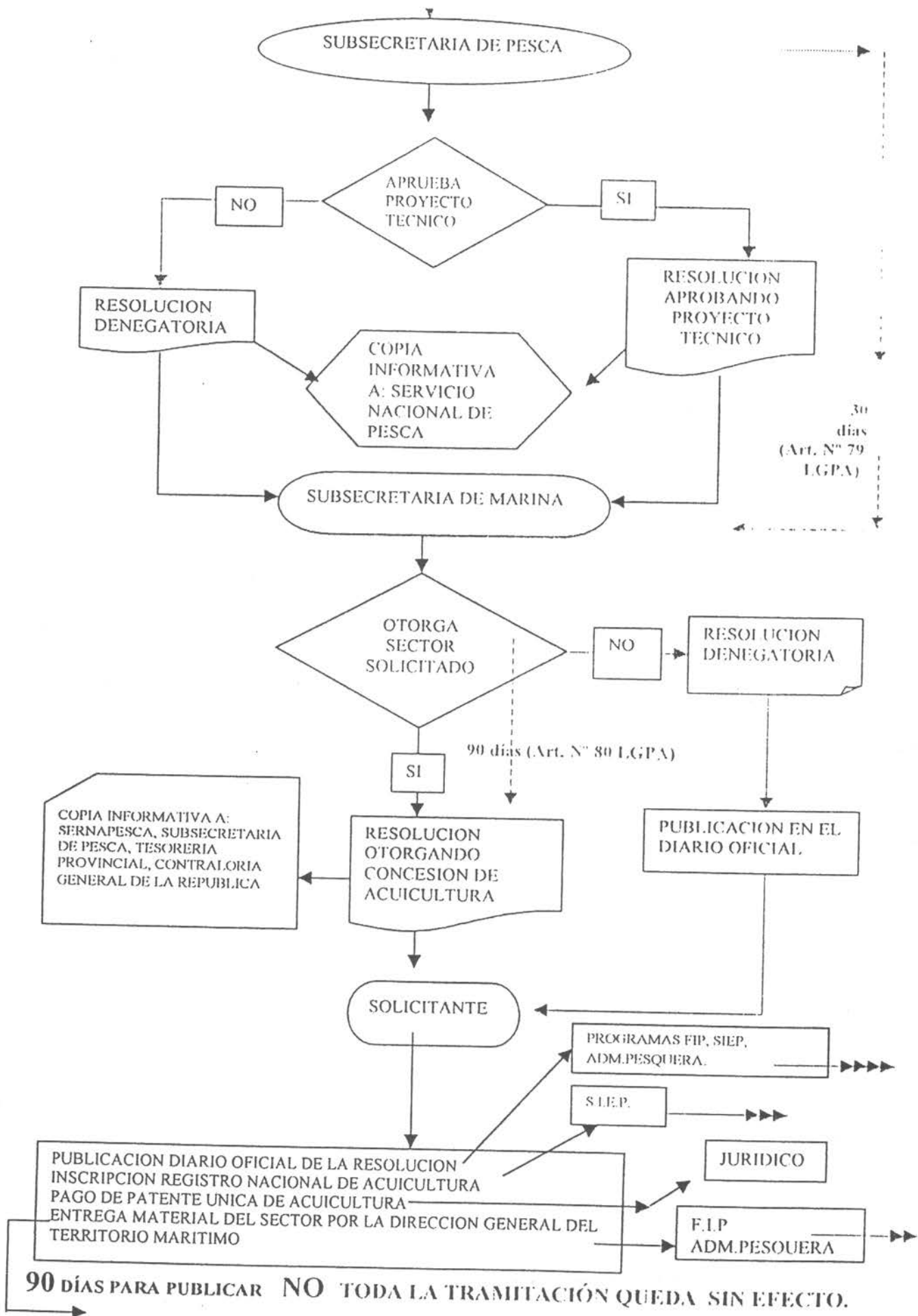
**SOLICITANTE O REPRESENTANTE LEGAL**

NOMBRE	.....
FIRMA	.....
FECHA	.....



**PROCESO DE TRAMITACION DE SOLICITUDES DE CONCESION DE ACUICULTURA  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACION PESQUERA XII REGION**





SUBSECRETARIA DE PESCA

APRUEBA PROYECTO TECNICO

NO

SI

RESOLUCION DENEGATORIA

RESOLUCION APROBANDO PROYECTO TECNICO

COPIA INFORMATIVA A: SERVICIO NACIONAL DE PESCA

SUBSECRETARIA DE MARINA

OTORGA SECTOR SOLICITADO

NO

RESOLUCION DENEGATORIA

SI

90 días (Art. N° 80 LGPA)

COPIA INFORMATIVA A: SERNAPESCA, SUBSECRETARIA DE PESCA, TESORERIA PROVINCIAL, CONTRALORIA GENERAL DE LA REPUBLICA

RESOLUCION OTORGANDO CONCESION DE ACUICULTURA

PUBLICACION EN EL DIARIO OFICIAL.

SOLICITANTE

PROGRAMAS FIP, SIEP, ADM.PESQUERA.

S.I.E.P.

JURIDICO

PUBLICACION DIARIO OFICIAL DE LA RESOLUCION INSCRIPCION REGISTRO NACIONAL DE ACUICULTURA PAGO DE PATENTE UNICA DE ACUICULTURA ENTREGA MATERIAL DEL SECTOR POR LA DIRECCION GENERAL DEL TERRITORIO MARITIMO

F.I.P ADM.PESQUERA

**90 días PARA PUBLICAR NO TODA LA TRAMITACIÓN QUEDA SIN EFECTO.**

**Normas Generales**

**PODER EJECUTIVO**

**Ministerio de Defensa Nacional**

Ejército de Chile  
Comandancia en Jefe

**FIJA VALORES A DOCUMENTOS QUE INDICA**

(Resolución)

Núm. 10.000/1 exenta.- Santiago, 4 de Enero de 1995.- Vistos:

1.- La Resolución Exenta Nº 10.000/275, de fecha 22 de Diciembre 1993, publicada en el Diario Oficial Nº 34.756 de fecha 5 de Enero de 1994, que fija los valores de los documentos que debe proporcionar la Sección Archivo General del Ejército.

2.- El Artículo 2º, del Párrafo II, de la Resolución Nº 55, de 24.ENE.992, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón.

3.- La Ley Nº 19.355, del 23 de Noviembre de 1994, publicada en el Diario Oficial Nº 35.031 de fecha 2 de Diciembre de 1994, que reajusta las remuneraciones para el sector público.

Considerando: Que es necesario reajustar los valores que estén en relación con los costos reales de los materiales que se emplean para la confección de estos documentos, y así disponer de los recursos mínimos para financiar en parte el funcionamiento y mantenimiento del Archivo General del Ejército.

**Resuelvo:**

1.- Fíjense a contar de esta fecha, los siguientes valores por cada carilla o página de los documentos, que debe proporcionar la Sección Archivo General del Ejército.

Clase de documento	Dactilografiada
Certificado de Servicios con Causal de Licenciamiento.	
Valor Militar y Nota de conducta	\$330.-

Analícese, comuníquese o publíquese en el Diario Oficial y en el Boletín Oficial del Ejército.- Augusto Pinochet Ugarte, Capitán General, Comandante en Jefe del Ejército.

**Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción**

**SUBSECRETARIA DE PESCA**

**MODIFICA REGLAMENTO DE CONCESIONES Y AUTORIZACIONES DE ACUICULTURA**

Núm. 604.- Santiago, 3 de Noviembre de 1994.- Visto: Lo dispuesto en la Ley Nº 18.892 y sus modificaciones; las facultades que me confiere el artículo 32 Nº 8 de la Constitución Política de la República de Chile; el D.S. Nº 290, de 1993, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción; y la ley Nº 10.336.

**Considerando:**

La necesidad de simplificar la tramitación de las solicitudes de concesiones y autorizaciones de acuicultura.

La conveniencia de regular las nuevas situaciones que se han detectado en el desarrollo de las actividades de acuicultura.

**Decreto:**

Artículo 1º.- Modifícase el Reglamento de Concesiones y Autorizaciones de Acuicultura, contenido en el D.S. Nº 290, de 1993, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, en la forma que a continuación se indica:

1. Reemplázase el artículo 10º por el siguiente:

"Artículo 10º: Los solicitantes de concesiones o autorizaciones de acuicultura deberán retirar desde cualquier oficina del Servicio, el formulario respectivo, el que una vez completado, deberá ser entregado en la Dirección Regional u Oficina Provincial o Comunal de dicho Servicio, correspondiente al lugar donde desarrollará la actividad, acompañado de los siguientes documentos:

a) Fotocopia del R.U.T. del solicitante y de la Cédula Nacional de Identidad cuando se trate de personas naturales. En el caso que el solicitante fuere una persona jurídica, también deberá acompañarse fotocopia de la Cédula Nacional de Identidad de quien comparece en su nombre.

b) Cuando se trate de terrenos de playa o autorizaciones de acuicultura de porción de agua y fondo, o de roca, copia autorizada de la inscripción de dominio a nombre del Fisco, con certificación de vigencia.

c) Planos de la Concesión visados por la Autoridad Marítima, o de la Autorización de Acuicultura, con las siguientes características:

1. De ubicación geográfica de la concesión o de la autorización de acuicultura de porción de agua y fondo, o de roca, confeccionados en base a las cartas que fijan las áreas apropiadas para el ejercicio de la acuicultura. Respecto de las demás autorizaciones de acuicultura, éste se confeccionará en una escala comprendida entre 1:15.000 y 1:50.000, conforme a la carta náutica correspondiente y si no la hubiere, a la del Instituto Geográfico Militar.

2. De la concesión o autorización en escala 1:1.000, o 1:5.000, especificando el norte geográfico, grilla o cuadrícula geográfica, las distancias a puntos notables de referencia que precisen su ubicación y coordenadas geográficas de los vértices de acuerdo con la carta náutica correspondiente. En el caso de las aguas continentales, cuando no hubiere carta náutica se confeccionará de acuerdo a la del Instituto Geográfico Militar. Tratándose de concesiones de playa o de terrenos de playa, se deberá indicar en el plano la línea de más alta marea y la de más baja marea, o la línea de aguas máximas y la de aguas mínimas, según corresponda, para el mismo la línea de los 80 metros.

Mientras no hubiere carta náutica o del Instituto Geográfico Militar en las escalas antes indicadas, el peticionario deberá presentar un plano o croquis de la concesión o autorización de acuicultura, considerando las instrucciones que al efecto impartirá el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, en base a la ampliación de la carta de mayor escala existente. En cualquier caso, el plano o croquis, deberá especificar el norte geográfico, la distancia a puntos notables de referencia que precisen su ubicación y las coordenadas geográficas de los vértices que delimitan el polígono del sector solicitado establecidas mediante un sistema de posicionamiento satelital (G.P.S.). Tratándose de concesiones de acuicultura de playa, los vértices se determinarán mediante el mismo sistema de posicionamiento dentro del espacio comprendido entre las líneas de más baja y más alta marea, o las líneas de aguas máximas y aguas mínimas, según corresponda; para las concesiones de terrenos de playa se empleará el mismo procedimiento dentro del espacio de los 80 metros. Cuando se trate de una concesión, los planos serán visados por la Autoridad Marítima. Para las concesiones de acuicultura, el plano se entregará a la Autoridad Marítima en quintuplicado, quien devolverá tres ejemplares para su presentación al Servicio. En el caso de las autorizaciones de acuicultura, el plano se entregará en triplicado, directamente al Servicio.

d) Copia de la petición del certificado que le corresponde emitir a la Autoridad Marítima, debidamente autorizada por éste, acerca de si existe o no superposición con cualquier otro tipo de concesión ya otorgada o en trámite, y si

el río o lago de que trata la solicitud es o no navegable por buques de más de 100 toneladas de registro grueso.

El certificado señalado precedentemente será remitido por la Autoridad Marítima a la oficina regional del Servicio, en el plazo de 45 días contados desde la fecha en que fue solicitado.

e) Las personas jurídicas deberán acreditar su existencia legal, y el que ocurra a su nombre personería suficiente, mediante copia legalizada de sus estatutos, modificaciones, si las hubiere, e inscripciones en el respectivo registro.

f) Proyecto técnico, de acuerdo con el formulario que al efecto proporcione el Servicio.

Las personas, naturales o jurídicas, que soliciten autorización para desarrollar actividades de acuicultura en aquellas áreas que corresponden al ámbito de competencia de la Dirección General de Aguas, deberán acreditar el hecho de ser titulares de los correspondientes derechos de aprovechamiento, o bien el hecho de encontrarse en trámite de adquisición o regularización de éstos de conformidad con las normas del Código de Aguas o, cuando corresponda, adjuntarán un certificado emitido por la Dirección General de Aguas que acredite que no procede conceder derechos de aprovechamiento por no haber extracción de aguas".

2. Agrégase a continuación del artículo 15º, el siguiente artículo 15º bis:

"Artículo 15º bis: Cuando el titular de una concesión o autorización de acuicultura solicite una ampliación del sector otorgado, se sujetará a lo dispuesto en la ley y la reglamentación pertinente. En estos casos, el proyecto técnico, el cronograma de actividades y los planos aludidos en el artículo 10º de este reglamento, deberán incluir el área solicitada y de la concesión, debiendo la Subsecretaría de Marina o Pesca, según corresponda, dictar una resolución modificatoria que las comprenda en una sola concesión o autorización."

3. Agrégase como artículo 21º bis el siguiente:

"Artículo 21º bis: Para los efectos del artículo 69º de la ley y los artículos 3º y 21º del presente reglamento, los peticionarios y los titulares de concesiones o autorizaciones de acuicultura, cuando así lo estimaren, podrán solicitar el cultivo por grupo de especies. Estos comprenderán en cada caso, las especies que a continuación se especifican:

a) Salmónidos:

Salmón del atlántico	Salmo salar
Salmón plateado o coho	Oncorhynchus kisutch
Salmón rey	Oncorhynchus tshawytscha
Salmón cereza	Oncorhynchus masou
Salmón keta	Oncorhynchus keta
Salmón rosado	Oncorhynchus gorbuscha
Trucha arcoiris	Oncorhynchus mykiss
Trucha café	Salmo trutta
Trucha de arroyo	Salvelinus fontinalis
Trucha de la montaña	Salvelinus leucomaenis

b) Mitilidos:

Cholga	Aulacomya ater
Chorito	Mytilus chilensis
Choro	Choromytilus chorus

c) Pectínidos:

Ostión del Norte	Argopecten purpuratus
Ostión del Sur	Chlamys patagonica

d) Ostreidos:

Ostra chilena	Ostrea chilensis
Ostra del pacífico	Crassostrea gigas

Para el cultivo de las especies no comprendidas en los grupos señalados precedentemente, éstas se deberán individualizar en el respectivo proyecto técnico y cronograma de actividades".

4. Sustitúyase el artículo 24º por el siguiente:

"Artículo 24º: La entrega material de la concesión o autorización de acuicultura. Se hará efectiva por la Autoridad Marítima o el Servicio, según corresponda, mediante un

Acta, una vez que dicha concesión o autorización se encuentre inscrita en el Registro Nacional de Acuicultura. Para estos efectos, la entidad respectiva, por carta certificada, informará al peticionario el día y la hora en que hará efectiva la entrega. El plazo fijado para esta diligencia, no puede ser inferior a 10 días contados desde la fecha de expedición de la carta y en ningún caso excederá los 30 días contados desde esa misma fecha. El momento de la entrega podrá ser postergado por la respectiva autoridad, en casos calificados.

La entrega se efectuará en base a las coordenadas que se indican en la respectiva resolución, mediante un sistema de posicionamiento satelital (G.P.S.), que permita establecer cada uno de los vértices del área que la comprende; así mismo otorgará al titular un certificado que se denominará "Posicionamiento a la Entrega", que formará parte del Acta.

En el caso de que la concesión de acuicultura comprenda mejoras fiscales, el concesionario le hará entrega a la Autoridad Marítima de la boleta de garantía o póliza de seguro a que se refiere el artículo 9º.

Se prescindirá del requisito del trámite de entrega si se trata de la transferencia de una concesión o autorización.

Tratándose de playa o terrenos de playa, se demarcará en forma visible en el terreno los límites; en el caso de porciones de agua y fondo, los vértices de la concesión o autorización se demarcarán en la forma que determine la Autoridad Marítima, y los elementos que se utilicen, provistos por el titular, no estarán afectos al pago de las tarifas señaladas en el Decreto con Fuerza de Ley Nº 240, de 1960, sobre Concesiones Marítimas."

5. Reemplázase el artículo 41º por el siguiente:

"Artículo 41º: Para la comercialización y transporte de las especies producidas en establecimientos de acuicultura o productos elaborados a partir de éstas, se acreditará su procedencia mediante facturas o guías de despacho y en casos calificados por el Servicio, éste podrá emitir guías de libre tránsito. Los documentos tributarios deberán ser visados por el Servicio. Para trasladar especies producidas en centros de cultivo, con el objeto de realizar análisis en laboratorios, el Servicio podrá otorgar permisos por plazos no superiores a un año a personas naturales."

6. Sustitúyase el artículo 42º por el siguiente:

"Artículo 42º: Para los efectos del transporte de las especies, producidas en establecimientos de acuicultura o productos elaborados a partir de éstas, los documentos indicados en el inciso 1º del artículo 41º del presente reglamento, tendrán una duración de 15 días."

7. Reemplázase el artículo 43º por el siguiente:

"Artículo 43º: El adquirente o destinatario de las especies producidas en establecimientos de acuicultura o productos elaborados a partir de éstas, deberá conservar durante seis meses la guía de libre tránsito y exhibirla cuando le sea solicitada por la autoridad pertinente."

8. Sustitúyase el artículo 44º por el siguiente:

"Artículo 44º: Las guías de libre tránsito y la visación de los demás documentos señalados en el artículo 41º de este reglamento, deberán contener los siguientes datos: individualización de la persona a quien se le otorga, nombre y domicilio del adquirente y del destinatario, fecha de expedición, lugar de origen de las especies y peso o cantidad de los ejemplares."

9. Reemplázase el artículo 46º por el siguiente:

"Artículo 46º: Los agentes que no requieren de concesión ni autorización de acuicultura, previamente a la inscripción en el Registro Nacional de Acuicultura, deberán presentar, para su aprobación por resolución del Servicio, un proyecto técnico con el objeto de verificar que da cumplimiento a las normas de protección ambiental y de control de enfermedades de las especies hidrobiológicas."

10. Agrégase el siguiente artículo 1º transitorio:

"Artículo 1º Transitorio: En los casos a que se refiere el artículo 3º transitorio inciso 6º de la ley, el expediente de la solicitud deberá contener los siguientes antecedentes:

a) Los documentos señalados en las letras a), b), c) y f) del artículo 10º, inciso 1º, de este reglamento.

b) Copia, autorizada por la Subsecretaría de Pesca, del plano que sirvió de antecedente a ésta para la dictación de su resolución, salvo que contenga errores u omisiones que hagan necesaria su adecuación o reemplazo; en cuyo caso, se deberá dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 10º inciso primero letra c) de este reglamento, a menos que existan planos confeccionados por el Ministerio de Bienes Nacionales, visados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, cualquiera sea su escala, para lo cual bastará con indicar las correspondientes coordenadas geográficas del área solicitada, en base a éste, sin necesidad de acompañar plano alguno.

c) Certificado emitido por la Autoridad Marítima, a petición de la Subsecretaría de Marina, en cuanto a si existe o no superposición con cualquier otro tipo de concesión marítima otorgada o en trámite.

d) Para los efectos del informe indicado en el artículo 13º, será suficiente aquel que sirvió de fundamento para la dictación de la resolución de la Subsecretaría de Pesca, que autorizó la correspondiente realización de actividades de acuicultura de que se trata."

11. Agrégase el siguiente artículo 2º transitorio:

"Artículo 2º Transitorio: En los casos a que se refiere el artículo 3º transitorio inciso 7º de la ley, el expediente de la solicitud deberá contener los siguientes antecedentes:

a) Los documentos señalados en las letras a), b), c) y f) del artículo 10º, inciso 1º, de este reglamento.

b) Plano presentado a la fecha de ingreso de la solicitud o de su reformulación, salvo que contenga errores u omisiones que hagan necesaria su adecuación o reemplazo; en cuyo caso, se deberá dar cumplimiento a lo dispuesto en el artículo 10º, inciso primero, letra c) de este reglamento.

c) Certificado emitido por la Autoridad Marítima, a petición del Servicio, en cuanto a si existe o no superposición con cualquier otro tipo de concesión marítima otorgada o en trámite."

Artículo 2º.- Las solicitudes de concesiones y autorizaciones de acuicultura presentadas con anterioridad a la publicación del presente Decreto Supremo, continuarán tramitándose de conformidad a las normas del D.S. Nº 290, de 1993, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, vigentes a la fecha de su presentación. No obstante lo anterior, la Subsecretaría de Pesca cuando sea necesario para salvar errores u omisiones, podrá solicitar que los planos sean adecuados conforme a lo establecido en esta modificación. Además, tratándose de solicitudes de autorizaciones de acuicultura, cuando corresponda, el Servicio, deberá exigir el cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 10º, inciso primero, letra b) del presente Reglamento.

Anótese, tómesese razón y publíquese.-  
EDUARDO FREI RUIZ-TAGLE, Presidente de la República.- Alvaro García Hurtado, Ministro de Economía, Fomento y Reconstrucción.- Edmundo Pérez Yoma, Ministro de Defensa Nacional.

Lo que transcribo a Ud., para su conocimiento.-  
Patricio Bernal Ponce, Subsecretario de Pesca.

## CONSIDERACIONES LEGALES Y TÉCNICAS EN LA REVISIÓN DE SOLICITUDES DE ACUICULTURA

### SE VERIFICA QUE:

1. SE ACOMPAÑA LA DOCUMENTACIÓN INDICADA (Art. 10, Dec. N° 290/93 Reglamento de Concesiones y autorizaciones de Acuicultura, modificado por D.S. N° 604), adjunta en anexo.
2. SE CUMPLEN LOS SIGUIENTES ASPECTOS LEGALES - TÉCNICOS
  - 2.1 Cumple con el D.S. N° 427/89 (distancia, profundidad, corrientes, caudales, otros)
    - Distancia entre centros de salmónidos de 1,5 millas náuticas si no hay accidente geográfico entre ambas concesiones.
    - Si hay accidente geográfico entre ambas concesiones de acuicultura, se exige una profundidad de 25 metros y velocidad de corriente de 2,5 cm/sg.
  - 2.2 Cumple con el D.S. N° 550/92 (utilización de área) : Reglamenta sobre las limitaciones a las áreas de concesiones o autorizaciones de acuicultura.
    - Salmónidos : relación 1:20 (área cultivo: área solicitada)
    - Moluscos : relación 1: 15 (sistema de balsas)
    - Moluscos : relación 1:50 (sistema de líneas)
  - 2.3 Cumple con Areas Autorizadas para el ejercicio de la Acuicultura ( D.S. N° 430/91 LGPA, Art. 67 y Dec. N° 340/94 del 16.09.94, fijan las áreas autorizadas para el ejercicio de la acuicultura (AAA).)  
SI ..... NO .....
  - 2.4 Sobreposición total o parcial con otra concesión de acuicultura o marítima otorgada o en trámite, (D.S. N° 660/88 (Ministerio Defensa Nacional), Dec. N° 290/93, Art. N°10, letra "d" y Art. N° 13, letra "c")
  - 2.5 Presencia de recursos hidrobiológicos y/o actividades pesqueras extractivas en el área solicitada , conforme al D.S. N° 430/91 LGPA, Art. 67, párrafo quinto.
  - 2.6 Inscripción en el Registro Nacional de Acuicultura (casos de ampliaciones de actividad).
  - 2.7 Operación del centro últimos 24 meses (casos de ampliaciones de actividad).
3. OTROS ANTECEDENTES : Presentación al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental  
Desarrollo de otras actividades (p.e. turismo, extracción artesanal)



## ESTADO TRAMITE EN SUBSECRETARIA DE PESCA SOLICITUDES ACUICULTURA XII REGION

Situación al mes de agosto de 2000

AÑO **	SOLICITUDES PENDIENTES		SOLICITUDES TRAMITADAS EN S.P.P.		RECHAZO a2 NO APTAS		RENUNCIA		OTROS MOTIVOS		TOTAL PRESEN- TADAS.
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	
1989	1	100	-	-	-	-	-	-	-	-	1
1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
1991	-	-	2	100	-	-	-	-	-	-	2
1992	-	-	-	-	1	50	-	-	1	50	2
1993	-	-	9	45	2	10	5	25	4	20	20
1994	3	20	8	53,3	1	6,7	-	-	3	20	15
1995	4	13,8	20	69,0	2	6,9	1	3,4	2	6,9	29
1996	18	56,3	13	40,6	-	-	-	-	1	3,1	32
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
1998	4	44,4	3	33,3	2	22,2	-	-	-	-	9
1999	79	98,8	-	-	1	1,2	-	-	-	-	80
2000*	4	100	-	-	-	-	-	-	-	-	4
<b>Total</b>	<b>113</b>	<b>58,2</b>	<b>55</b>	<b>28,3</b>	<b>9</b>	<b>4,6</b>	<b>6</b>	<b>3,1</b>	<b>11</b>	<b>5,7</b>	<b>194</b>

\* \*\*Año en que fue presentado en Sernapesca

\* Se han recepcionado en la Dirección Regional, 35 solicitudes adicionales (desde Abril a Julio de 2000), las que no figuran en los registros de la SSP por encontrarse en un estado preliminar de tramitación.

S.S.P. : Subsecretaría de Pesca

## ESTADO TRAMITE EN SUBSECRETARIA DE MARINA SOLICITUDES ACUICULTURA XII REGION

AÑO INGRESO A LA S.S.M	SOLICITUDES NUEVAS Y MODIFICACIONES EN TRAMITE		SOLICITUDES EN TRAMITE DE DENEGACION		TOTAL INGRESADAS EN LA S.S.M
	Número	%	Número	%	
1996	2	100%	-	-	2
1997	1	100%	-	-	1
1998	-	-	-	-	-
1999	1	100%	-	-	1
2000	2	22,2%	7	77,8%	9
<b>TOTAL</b>	<b>6</b>	<b>46,2%</b>	<b>7</b>	<b>53,8%</b>	<b>13</b>

## RESUMEN SITUACION CONCESIONES DE ACUICULTURA DE LA XII REGION

SITUACIÓN	Número		%
	Con Decreto de Concesión	Operando	
	Sin operar	22	9,6%
Con trámites pendientes	En Sernapesca * Valparaíso	43	18,8%
	En Subsecretaría de Pesca	113	49,3%
	En Subsecretaría de Marina	13	5,7%
Solicitudes dejadas sin efecto por rechazos, renunciaciones voluntarias u otros motivos		26	11,4%
TOTAL Solicitudes Ingresadas a trámite al Sernapesca entre 1989 y Julio de 2000.		229	100,0%
	Corresponden a solicitudes actualmente autorizadas o en alguna fase de trámite.		

\* Ingresadas los últimos meses

### OBSERVACIONES:

- a) Lo que está pendiente en la Subsecretaría de Marina (SSM), 13 solicitudes, representa un porcentaje menor, sin embargo se hace notar que algunos casos corresponden a fechas de ingreso del año 1996, es decir, llevan 4 años en dicha entidad.
- b) El grueso de las solicitudes se encuentra en la Subsecretaría de Pesca (SSP), en algunos casos también por varios años (30 solicitudes desde 1998 hacia atrás).

Esta demora normalmente es por:

- Falta de respuesta por parte de los solicitantes a algún requerimiento.
- En las solicitudes posteriores al 3 de Abril de 1997 (promulgación del Decreto N° 30, Reglamento del SEIA (Ministerio Secretaría General de la Presidencia), se exige el ingreso al SEIA. A nivel nacional hay demora en las respuestas de los solicitantes en demostrar dicho ingreso al sistema. Lo expuesto obliga a dejar de tramitar las solicitudes que vienen detrás en su respectiva comuna, en espera de dicha demostración.

Conforme a la legislación deben tramitarse las solicitudes en un estricto orden de prelación por comuna. El problema que afecta a la región es, en consecuencia, de orden nacional, esperándose que se introduzcan las modificaciones legales pertinentes para tramitar en forma expedita las solicitudes de acuicultura.

- c) En la actualidad, el solicitante no tiene plazo legal para entregar a la SSP, la demostración que ingresó al Sistema Evaluación de Impacto Ambiental, por lo que el atraso de uno perjudica al resto de solicitudes de su comuna.
- d) A nivel regional el principal problema práctico dice relación con los medios para acceder a los sectores a inspeccionar de manera de obtener la información necesaria para la elaboración del informe técnico correspondiente (presencia o ausencia de bancos naturales, actividad pesquera y concordancia con los planos presentados).

Sin perjuicio de lo indicado, el promedio de tiempo empleado en la tramitación de una concesión de acuicultura a nivel regional es de 47 días, incluida la inspección de buceo por parte del Sernapesca.