



FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**INFORMES TECNICOS F I P**

FIP - IT / 94 - 02

INFORME : EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL  
FINAL DEL FOSFORO PROVENIENTE DE LOS  
ALIMENTOS UTILIZADOS EN  
SALMONICULTURA

UNIDAD : FUNDACION CHILE  
EJECUTORA

**FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA**

**INFORME FINAL**

Proyecto FIP N° 94-02

**"Evaluación de Impacto Ambiental del Fósforo  
Proveniente de los Alimentos Utilizados en Salmonicultura"**

**Preparado por**

*Fundación Chile*

- Septiembre 1997 -

**FIP 94 - 02**  
**"Evaluación de Impacto Ambiental del Fósforo**  
**Proveniente de los Alimentos Utilizados en Salmonicultura"**

**INFORME FINAL**

**Requirente :** SUBSECRETARIA DE PESCA  
FONDO DE INVESTIGACION PESQUERA

**Ejecutor :** FUNDACION CHILE  
Depto. Recursos Marinos  
Area Acuicultura y Medio Ambiente

**EQUIPO DE TRABAJO:**

**Jefe Proyecto : Juan José Romero**

**Colaboradores : Eugenio Larraín  
Erik Montes  
Juan Luis Orellana  
Gustavo Reyes  
Rodrigo Torrijo**

## 2. RESUMEN EJECUTIVO

### **Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.**

Para observar la posible contaminación causada por el fósforo excedentario de alimentos - extruídos o peletizados - para salmones, se analizó los parámetros mas adelante indicados en agua y sedimentos, obtenidos de 4 distintas condiciones de cultivo, tanto en lagos como en ríos, durante 8 campañas mensuales y en 5 estaciones de muestreo situadas a distintas distancias del foco emisor. Se tomó también muestras en una estación "control", situado aguas arriba respecto a la descarga de la piscicultura en el caso de ríos y alejadas de los centros de balsas en los lagos.

Para establecer las estaciones de muestreo, en lagos se hizo mediciones correntométricas.

En el agua se midió fósforo total y ortofosfato, a dos profundidades y en sedimentos se midió fósforo total. En agua se midió también pH, temperatura y oxígeno disuelto.

Las distintas condiciones de cultivo se representaron en los lagos Llanquihue, Huillinco y Natri y por hatcheries en los ríos Putemun y Claro.

Se encontró buena correlación entre las distintas formas de fósforo medidas tanto en agua como en sedimento y entre oxígeno y ortofosfato (negativa), lo que valida la metodología empleada.

En ríos se observó el esperado brusco aumento del fósforo en la estación de muestreo situada contigua a la descarga del efluente, situación que disminuye hasta desaparecer en las siguientes, debido a dilución.

En lagos, no se encontró ningún efecto asociado a localizaciones, profundidades de muestreo, ni a los sedimentos, para ninguno de los parámetro medidos, no pudiéndose detectar con la metodología empleada un efecto perturbador asociable a la salmonicultura.

## **Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.**

El muestreo de alimentos chilenos comerciales para alimentar salmones en agua dulce, reveló un promedio de 1,44% de fósforo con un rango de 1,19% a 1,79%. Dichos valores son notoriamente menores a los encontrados en muestreos hechos en 1993.

La encuesta transecto realizada a criaderos de salmones (representando aproximadamente 15% de la producción nacional), referente a estrategias de suministro de alimentos demostró bastante diversidad en cuanto a número de raciones diarias y forma de cálculo de la cantidad a suministrar, lo que refleja el distinto manejo para las diferentes especies producidas en el país.

El ensayo de alimentación, hecho bajo condiciones industriales, demostró que los alimentos con bajo contenido de fósforo (1,19%) logran mejores incrementos de peso que los con los actuales contenidos (1,79%), tiene similar digestibilidad y una eficiencia de conversión 22% menor; a pesar de ello, su empleo reduciría en 33% la liberación de fósforo al medio.

En los países en que se revisó la legislación ambiental que regula la acuicultura, el fósforo está regulado principalmente por la limitación a la cantidad descargada en los efluentes.

## INDICE GENERAL

1. Resumen ejecutivo .....	1
3. Objetivos .....	4
Objetivo general	
Objetivos específicos	
4. Antecedentes .....	5
5. Metodología.....	6
I.- Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.....	6
II.- Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.....	13
6. Resultados, Análisis y Discusión .....	17
I.- Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.....	17
II.- Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.....	62
7. Conclusiones.....	89
8. Referencias .....	90

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos de la concentración de fósforo de diferentes tipos de alimentos peletizados y extruídos utilizados en los cultivos de especies salmonídeas, con el propósito de obtener un mecanismo para regular la contaminación orgánica de los cuerpos y cursos de agua.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

##### I. Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.

- \* Evaluar el impacto del aporte de fósforo proveniente de diferentes tipos de alimentos peletizados y extruídos suministrados a cultivos de especies salmonídeas, en ambientes lacustres y fluviales seleccionados al efecto por el consultor.
- \* Diseñar y validar una metodología de evaluación del impacto de la concentración de fósforo, proveniente de diferentes tipos de alimentos peletizados y extruídos utilizados en los cultivos de especies salmonídeas, en el medio ambiente lacustre y fluvial.
- \* Proponer una escala de calificación del grado de impacto de la concentración de fósforo proveniente de diferentes tipos de alimentos peletizados y extruídos, utilizados en los cultivos de especies salmonídeas, en el medio ambiente lacustre y fluvial.

##### II. Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.

- \* Determinar la relación entre el porcentaje de digestibilidad de la dieta y el contenido de fósforo en alimentos peletizados y extruídos.
- \* Determinar la relación entre el aporte de fósforo al medio, el factor de conversión del alimento y el contenido de fósforo en los alimento peletizados y extruídos.
- \* Comparar la tasa de crecimiento de los organismos, los contenidos de fósforo y los niveles de aporte de fósforo al medio entre los tipos de alimentos utilizados en Chile y dietas alternativas.

#### 4. ANTECEDENTES

La salmonicultura necesita de ambientes limpios donde desarrollarse, por lo que resulta de extrema importancia analizar y cuantificar los efectos que esta actividad produce en el entorno donde se desenvuelve.

En cultivos de tipo intensivo como la salmonicultura, el alimento constituye la mayoría de los costos de operación y la fuente primaria de potenciales contaminantes. Debido a que los alimentos para salmones, especialmente en Chile, están compuestos básicamente por harina de pescado, el contenido de fósforo es particularmente alto en relación a lo requerido por los peces, siendo todo el fósforo excedentario eliminado al medio ambiente. En sistemas dulce acuícolas el fósforo cumple un importante rol de limitante en el crecimiento de las comunidades fitoplanctónicas, por lo que un aumento de la concentración de este elemento, especialmente en su forma inorgánica disuelta (fosfatos), puede desencadenar proliferaciones de algas y otros.

Este estudio de cuantificación y caracterización del aporte de la salmonicultura a la carga total de fósforo en los ecosistemas de agua dulce, especialmente lagos y ríos afluentes, resulta indispensable para limitar responsabilidades entre los distintos usuarios del recurso y para delinear futuras acciones que disminuyan este aporte, dando así un ejemplo a otras actividades productivas, en su relación con el medio ambiente.

Se observa, como tendencia general en varios países productores de salmón en cautiverio, limitar el aporte de fósforo al medio ambiente, especialmente dulceacuícola. Una de las formas más comunes de disminuir el contenido de fósforo de los alimentos balanceados es reemplazar total o parcialmente la harina de pescado por otras fuentes de proteína que contengan menos fósforo. Por ello, se hace indispensable evaluar el efecto de esta medida sobre la calidad nutricional de las formulaciones, ya que la harina de pescado es una de las mejores fuentes de proteína para peces carnívoros. Debe encontrarse una solución de compromiso entre nivel de fósforo y digestibilidad ya que si ésta se sacrifica excesivamente, resulta mas contraproducente al medio la aumentada excreción fecal.

Uno de los principales objetivos del presente proyecto encargado por el Consejo de Investigación Pesquera, fue evaluar la situación actual de los alimentos chilenos para salmones en lo que a contenido de fósforo se refiere y probar alimentos alternativos de bajo fósforo, incluyendo los efectos en la calidad nutricional de éstos. Esta información, será de gran utilidad en la búsqueda de una salmonicultura sustentable.

## 5. METODOLOGIA

### I. Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.

#### 1. Muestreos de agua y sedimentos en 4 condiciones distintas de cultivo.

Se comparó el impacto generado por el uso de alimento extruído versus peletizado, tanto en lagos como en ríos mediante monitoreo mensual de los residuos de fósforo total y ortofosfato en ríos y lagos, tanto en agua como en sedimentos, con muestreos cada 30 días durante un período total de ocho meses.

#### **Selección de sitios de muestreo.**

El estudio requirió la participación de empresas con centros operativos apropiados, para las evaluaciones en lagos y ríos. Por "apropiado" se debe entender que son centros con operación estable y con volumen de operación consistente (*i.e.*, centros de tamaño mediano a grande, lo que posibilita una mejor proyección de los resultados). Se seleccionó centros que estuvieran exentos de otros agentes emisores importantes.

La selección de las empresas participantes del estudio, responde además al tipo de alimento utilizado en la operación (extruído o peletizado), de acuerdo a una hipótesis de trabajo de que estos alimentos generan impactos diferentes del fósforo en el ambiente.

Las empresas participantes son las siguientes:

#### UNIMARC:

Participó con un centro de balsas en el lago Huillinco, y un criadero ("hatchery") en el río Putemún, próximo a Castro. Ambos centros utilizan alimento peletizado.

#### INVERTEC:

Participó con un centro de balsas en el lago Natri y un criadero en el Río Claro, próximo a Dalcahue. Ambos centros utilizan alimento extruído.

#### MARINE HARVEST:

Participó con un centro de balsas en Bahía Rincones, en el lago Llanquihue. Este centro utiliza alimento peletizado.

En la Tabla 1, se señalan las respectivas equivalencias de estaciones de muestreo para las pisciculturas y centros participantes.

## Orientación de la toma de muestras.

### En ríos.

Las estaciones de muestreo se orientaron en el eje principal del río, en forma posterior a la descarga del criadero. Las estaciones están situadas a 0, 50, 100, 200 y 400 metros de la descarga, para determinar la ocurrencia de procesos dilutivos. Se tomó además una estación "control", previa a la descarga del efluente de la piscicultura.

### En lagos.

En el caso de los lagos, el diseño de las mediciones consideró el monitoreo del agua y los sedimentos en estaciones relativamente cercanas a las balsas-jaula, cuyas posiciones relativas en relación al centro mismo son 0, 20, 40 y 80 metros. También se incluyó una estación "control" o "testigo" en el lago, localizada en un lugar razonablemente alejado del centro y de naturaleza similar, presumiblemente no afectada por la presencia de las balsas-jaula en lo concerniente a los parámetros medidos.

Como una medida de optimizar la evaluación del impacto del fósforo en los sedimentos lacustres, se realizó una campaña de medición correntométrica en los sitios seleccionados de manera de orientar el trazado de las estaciones en el eje de circulación (y en consecuencia sedimentación) predominante.

### Parámetros de evaluación.

El estudio enfatiza el análisis en el transporte y destino inmediato del fósforo.

En el agua se midió los niveles del **fósforo total y ortofosfato, pH, temperatura y oxígeno disuelto**. En cada punto de muestreo se colectó una muestra y su réplica, excepto para los parámetros potenciométricos o de tiempo real.

Durante la primera campaña y por cuestiones operativas, el oxígeno disuelto fue determinado iodimétricamente; por otra parte tanto en la segunda como tercera campaña, este parámetro fue determinado potenciométricamente (Fig. 1).

En los lagos, las muestras de agua se tomaron superficialmente y a dos metros del fondo.

En los sedimentos se midió el fósforo total.

Todas las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Servicios de la Universidad Austral de Chile en Pelluco, Puerto Montt.

### **Procedimiento y Materiales de Muestreo.**

Todas las muestras de agua, fueron colectadas en botellas de vidrio o plástico de un litro de capacidad y tapa rosca, convenientemente preparadas en forma previa.

Durante la primera campaña las muestras de agua para la determinación de Oxígeno Disuelto (método iodimétrico), fueron colectadas en botellas iodimétricas de 300 mL y tapa esmerilada *ad-hoc*; los reactivos de fijación 1 y 2, fueron agregados inmediatamente de colectada la muestra.

Las muestras de sedimento se colocaron en bolsas de polietileno virgen.

En los ríos las muestras fueron compuestas en la misma botella plástica.

En el caso de los lagos, las muestras de agua superficiales fueron colectadas con la misma botella (de polietileno) en cada estación. Las muestras de fondo, fueron colectadas mediante una botella Niskin de 2,5 litros de capacidad (Fig. 2).

En los ríos, el sedimento fue colectado con un tubo de P.V.C. de 75 mm de diámetro. En el caso de los lagos el sedimento fue colectado con una draga tipo Petite-Ponar de 0,025 m<sup>2</sup> de mordida (Fig. 3).

A diferencia de los lagos, en los ríos se utilizó muestreo de juicio y no aleatorio, para colectar el sedimento, debido a que la distribución de los sedimentos no es homogénea sino contagiosa. En este contexto, el muestreo se ejecutó en los meandros de los ríos.

Durante el muestreo, todas las muestras de agua y sedimentos fueron cubiertas con hielo y protegidas de la acción directa del sol. Previo a su análisis, las muestras de agua que no fueron inmediatamente derivadas al laboratorio para su análisis, fueron congeladas a -20 °C (APHA, 1975).

Figura 1. Medición potenciométrica de parámetros



Figura 2. Botella Niskin para muestreo de agua en lagos



Figura 3. Draga Tipo Petit-Ponar para muestreo de sedimento en lagos



### **Correntometría.**

La evaluación de la dirección y la velocidad del desplazamiento del agua en los lagos se ejecutó de manera euleriana. Para este efecto se utilizó un correntómetro digital de lectura discreta SENSOR DATA Modelo Gitri-Mini.

Durante la evaluación, la embarcación fue amarrada a los fondeos del centro o anclada convenientemente, para prevenir derivación y encubrimiento de las determinaciones.

Las determinaciones fueron realizadas a diferentes profundidades para determinar la ocurrencia de fenómenos de circulación estratificada.

Las estaciones en que se realizó las determinaciones fueron seleccionadas en forma arbitraria, considerándose un área de exposición amplia y otra cercana a las balsas jaula.

## II.- Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.

### 1. Contenido de fósforo en alimentos chilenos para salmones

Para el propósito, se tomó muestras al azar, de las bolsas de alimentos que estaban siendo utilizadas en criaderos comerciales visitados.

En dichos alimentos se analizó su contenido de fósforo mediante la técnica oficial de la A.O.A.C.

### 2. Formas de suministro de alimento en la salmonicultura Chilena

Con el objeto de caracterizar la forma de suministro, cantidad suministrada, periodicidad y las técnicas de distribución de alimentos, se practicó una encuesta en varios centros de agua dulce.

Para tal efecto, se eligió 12 centros productores de agua dulce buscando representar las siguientes variables:

Ubicaciones geográficas:

Continente

Isla de Chiloé

Tipo de instalaciones:

Hatcheries o pisciculturas

Balsas-jaulas en lago

Los Centros seleccionados fueron visitados y los responsables técnicos de cada uno de ellos fueron encuestados referente a las siguientes preguntas:

- \* Producción total del centro
- \* Total de alimento consumido por el centro
- \* Tipo de alimento utilizado (extruído-peletizado)
  
- \* Sistema de Asignación de Raciones:
  - Nº de raciones diarias
  - Criterio usado para establecer el número de raciones
- \* Cantidad entregada en cada ración
- \* Forma de suministro
- \* Existencia o no de mecanismos de verificación del alimento efectivamente consumido v/s lo perdido

\* Existencia o no de monitoreos para evaluar el efecto sobre el ambiente de la actividad del centro.

### 3. Efecto del contenido de fósforo del alimento sobre la productividad de salmones, bajo condiciones industriales.

#### 3.1 Ensayo de crecimiento

Se empleó dos alimentos extruídos y dos peletizados, de similar composición nutricional, salvo en su contenido de fósforo, cuya composición proximal aparece indicada en la Tabla N° 1 que sigue:

Tabla N° 1. Análisis proximal de los alimentos experimentales.

	Alto fósforo		Bajo fósforo	
	Extruído	Peletizado	Extruído	Peletizado
Fósforo,%	1,72	1,87	1,03	1,36
Proteína, %	51,4	44,8	51,1	44,5
Grasa,%	19,8	17,8	20,1	17,7
Fibra cruda,%	1,1	1,4	1,1	1,5
Ceniza,%	8,0	10,3	8,1	9,7
E.N.N.,%	14,8	17,8	14,5	18,7
E. bruta (MJ/Kg)	18,55	17,21	18,55	17,25

Los alimentos se proporcionaron a las distintas balsas en cantidad diaria pre-establecida según la tasa de crecimiento deseada. Dicho ritmo de crecimiento, que es bastante menor al que los peces podrían tener, es lo habitualmente practicado en esta fase de la crianza, por lo cual el régimen de alimentación resulta restringido. Ello garantiza un consumo mas completo de la cantidad de alimento dispensada. La cantidad diaria de alimento, que se calculó asumiendo una curva de crecimiento exponencial, se distribuyó en varias raciones diarias, según apetito, lo que también contribuye a minimizar las pérdidas de alimento.

De una población de varios millones de peces se seleccionó mediante graduadores de tamaño 40.000 alevines de salmón coho y Salar, que fueron distribuidos en 8 balsas de 5.000 ejemplares cada una. Los 4 tipos de alimento fueron asignados al azar a balsas, que constituyeron bloques completos por especie salmonídea, configurándose un diseño factorial, con peces de los siguientes pesos:

Tabla N° 2. Pesos promedio iniciales de peces, en gramos.

	Alto fósforo				Bajo fósforo			
	Extruído		Peletizado		Extruído		Peletizado	
Peso	coho	salar	coho	salar	coho	salar	coho	salar
	29,1	36,5	27,0	38,3	30,1	35,1	29,1	35,3
CV; %	9,8	10,6	9,3	9,4	13,0	13,6	9,3	11,4

Los pesos anteriores se midieron en forma individual en una muestra -tomada al azar - de 50 peces de cada balsa, hecha el 20 de Junio 1995. En este y todos los pesajes, los peces fueron anestesiados con novocaína.

El ensayo se realizó en colaboración con Salmones Unimarc en balsas de 5 x 5 x 5m en su centro en el lago Cucao, haciéndose pesajes mensuales de una muestra - tomada al azar - de 50 peces de cada balsa hasta completar 98 días de alimentación diferenciada.

Diariamente se registró la cantidad de alimento suministrado y la mortalidad.

### 3.2 Efecto del contenido de fósforo del alimento sobre su digestibilidad.

Mediante la técnica del marcador indigestible óxido crómico ( $Cr_2O_3$ ) se midió el Coeficiente de Digestibilidad de la materia seca de los alimentos. Dicha técnica establece la digestibilidad por el aumento en la concentración del marcador entre el alimento y sus correspondientes heces. Para ello el marcador fue incorporado al alimento previamente molido en un nivel de 0,5 % y éste fue reaglomerado con gelatina para dar origen a un pienso experimental semi-húmedo.

Cada alimento experimental fue suministrado a 100 individuos de la especie trucha arcoiris que se mantuvieron en estanques especialmente diseñados para recolección fecal. Para asegurar su total ingestión, el alimento se restringió al 2 % del peso vivo por día en relación al aporte de materia seca. Los primeros tres días son para el acostumbamiento a la dieta, recolectándose heces los cuatro días siguientes, las que constituyen repeticiones de la determinación.

Los cálculos de Digestibilidad de Materia Seca se realizaron siguiendo la siguiente fórmula :

$$\text{C.D.M.S.} = 100 - \left( \frac{100 * \% \text{ marcador en alimento}}{\% \text{ marcador en fecas}} \right)$$

Donde, C.D.M.S. = Coeficiente de Digestibilidad de la Materia Seca del alimento.

#### **4. Normativas internacionales de regulación de fósforo en acuicultura**

Se recopiló antecedentes de la legislación medioambiental en países que tienen modernas legislaciones de control de la actividad acuícola, especialmente en las restricciones al contenido máximo de fósforo permitido y a la limitación a las descargas de fósforo a ríos y lagos.

## **6. RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION**

### **I.-Indicadores del efecto del fósforo sobre el medio ambiente lacustre y fluvial.**

#### **1. Estaciones de muestreo**

Las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 señalan un esquema de la localización de las estaciones de muestreo en las Pisciculturas de Putemún y Río Claro y en los centros de lago de Bahía Rincones (Llanquihue), lago Natri y Huillinco.

En la tabla 3, se señalan las respectivas equivalencias de estaciones de muestreo para las pisciculturas y centros participantes. Por su parte, en la tabla 4 y 5 están representados los registros de las mediciones de caudal y correntometría para los ríos de pisciculturas y lagos respectivamente. Sucesivamente, en las tablas 6, 7, 8, 9 y 10, con las correspondientes figuras (10, 11, 12, 13, 14), se presentan los resultados generados desde la primera a la última campaña de muestreo, en las mediciones de fósforo y parámetros físico-químicos.

#### **2. Parámetros Relativos al Fósforo en Agua de Río**

##### **2.1 Caudales de los ríos y las Pisciculturas**

Como se puede apreciar en la tabla 4 (fig. 9), la variabilidad volumétrica del efluente, como también la del cuerpo receptor de esa descarga de residuos de pisciculturas, puede ser un factor importante en términos de la trascendencia de las diluciones que sufre un determinado efluente.

Así para la piscicultura Putemún, el caudal de uso es prácticamente constante, con rangos de 30 y 60 l/s. El estero donde esta piscicultura vierte sus aguas residuales, presenta caudales asociados a un patrón estacional, con sus máximos registros en las campañas intermedias. No obstante, por lo discreto del orden menor de estos ríos, en cada época pueden presentar grandes oscilaciones, como lo es después de una fuerte lluvia, por ejemplo.

Por su parte, la piscicultura Río Claro presenta caudales mayores que Putemún. Sin embargo, el Río Claro, que tiene en promedio un caudal casi dos veces mayor que el de Putemún, pareciera más variable dentro del marco de una oscilación estacional de caudal. Esto, que será discutido más adelante, está aparentemente regido por la influencia de mareas de sicigia, lo que le otorga a esa porción del río características de conducta de un pequeño estuario. Sin embargo, la ocurrencia y alcance de este hecho, se denotaría en períodos puntuales y de forma bimensual.

Figura 4. Esquema y ubicación de las estaciones de piscicultura "Putemún", Castro.

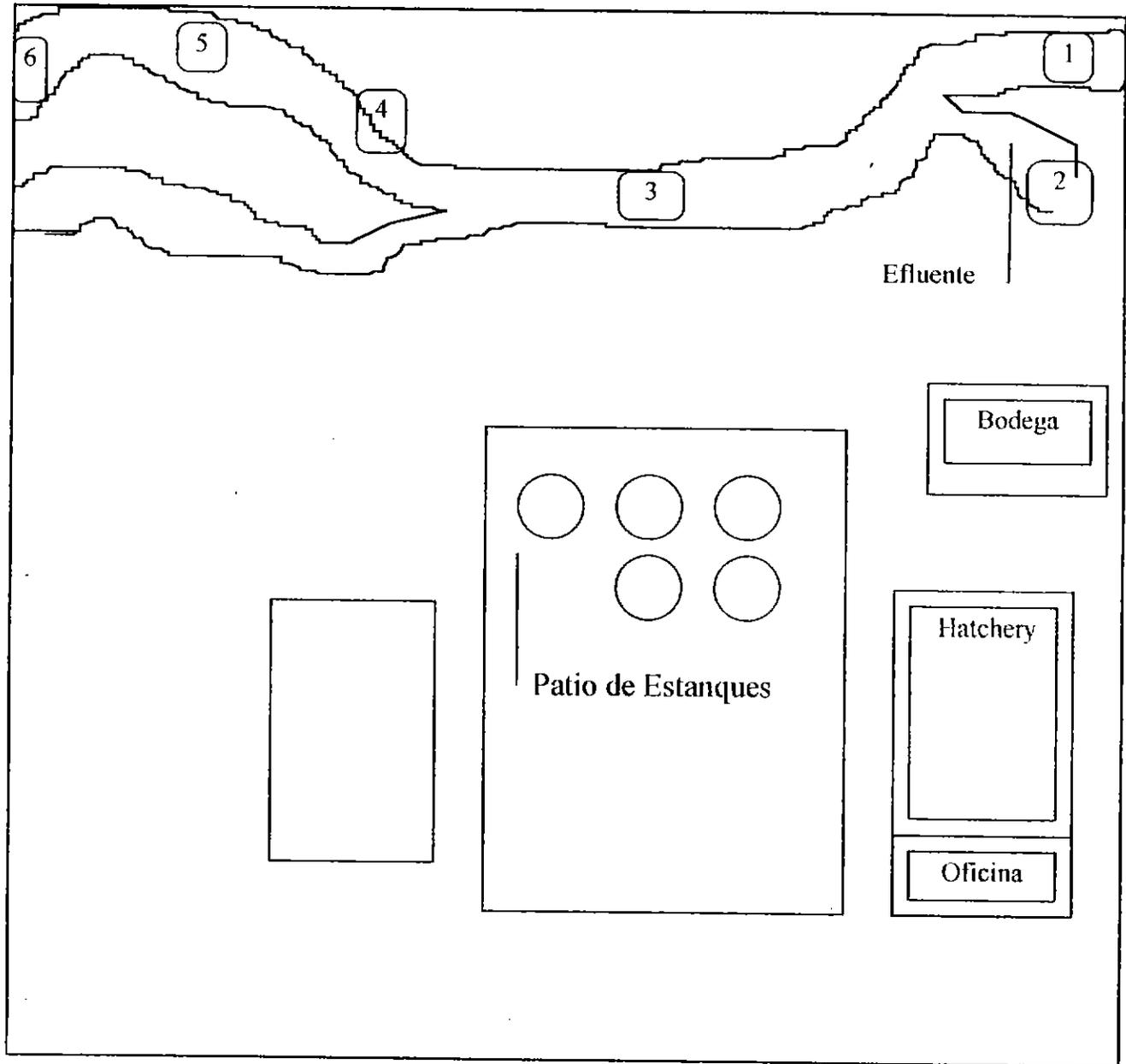


Figura 5. Esquema y ubicación de las estaciones de piscicultura "Río Claro", Dalcahue.

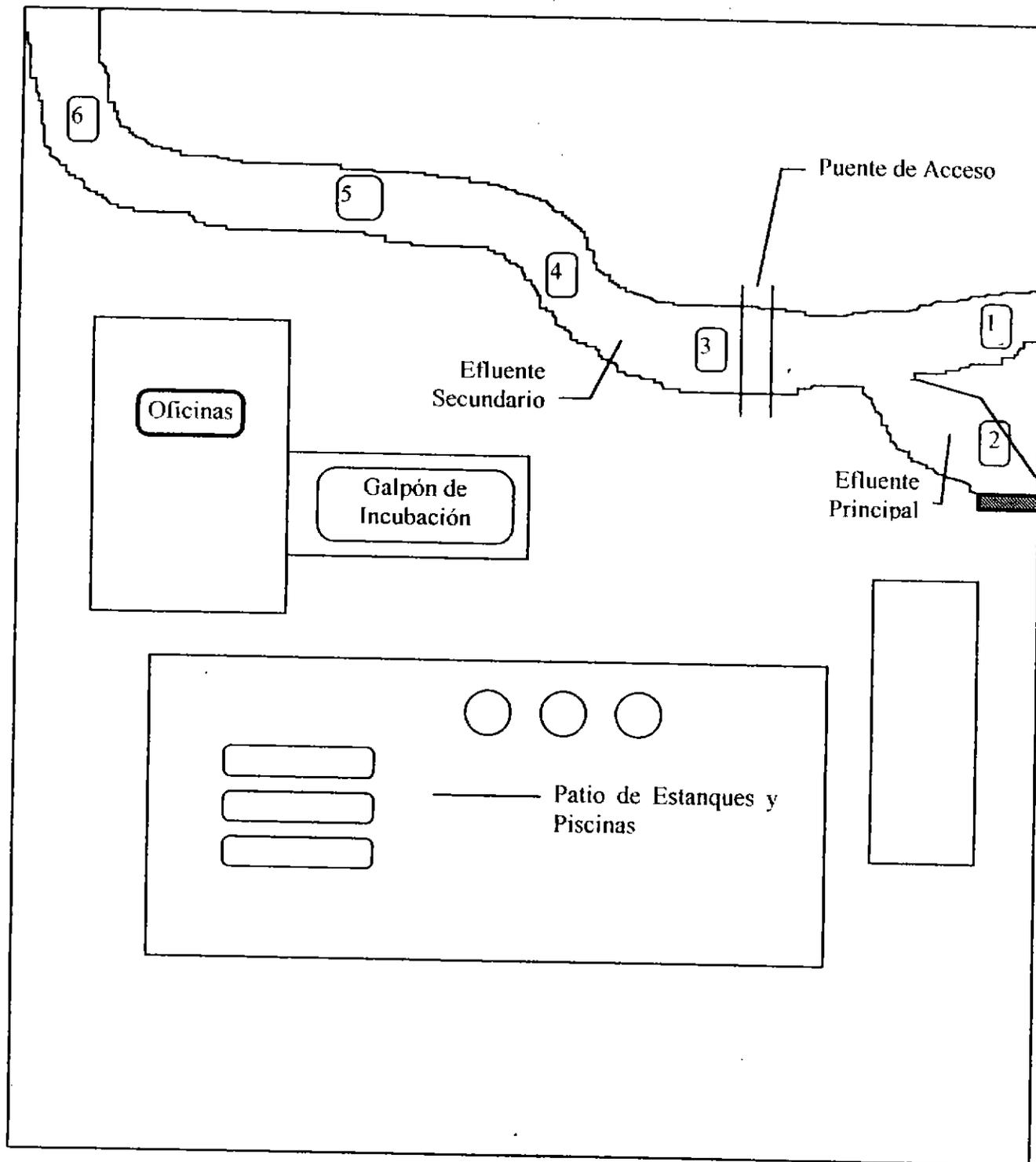


Figura 6. Esquema y estaciones de muestreo en el centro "Natri" de INVERTEC, lago Natri (A y B señalan estaciones de correntometría).

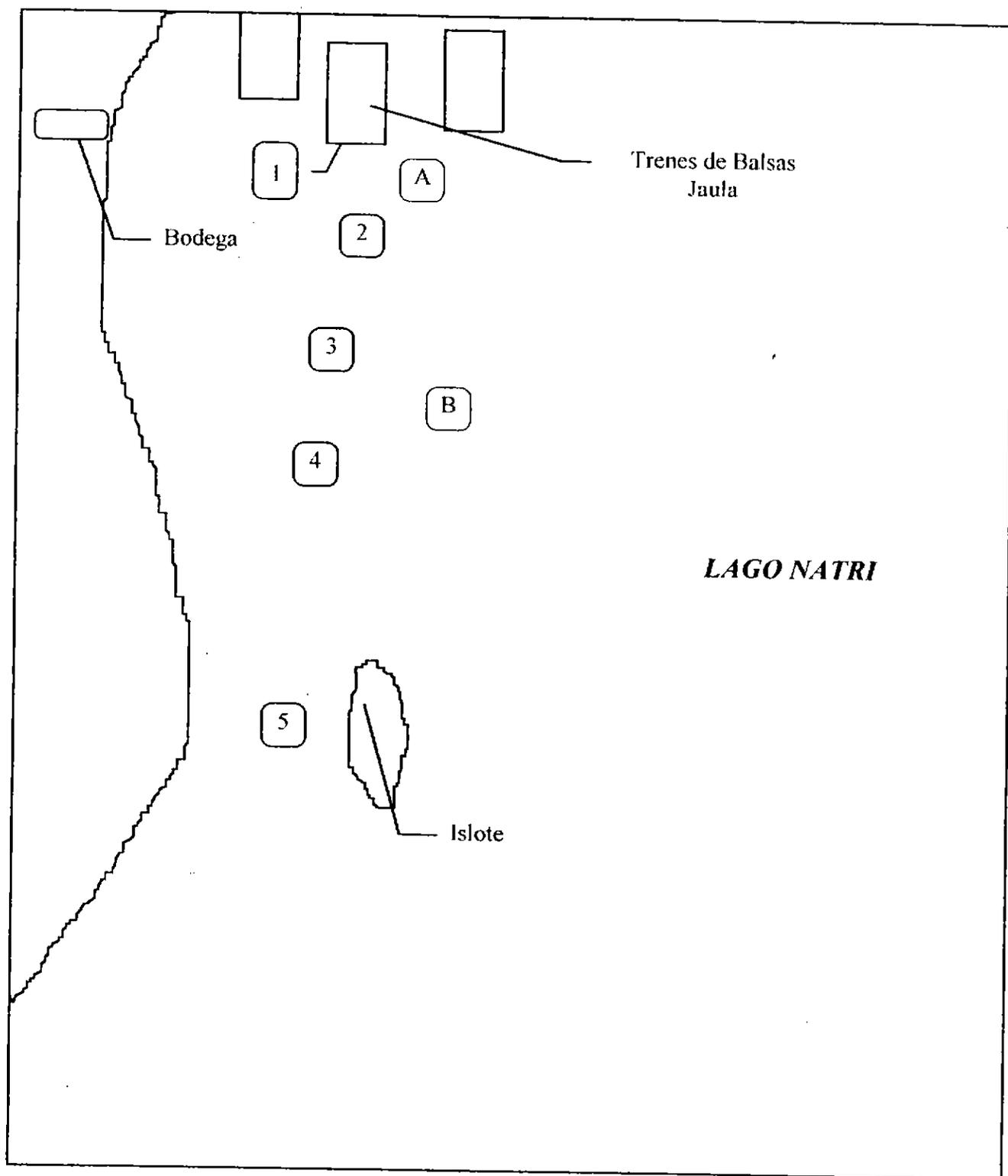


Figura 7. Esquema y estaciones de muestreo en el centro "Bahía Rincones" de MARINE HARVEST, lago Llanquihue (A y B señalan estaciones de correntometría).

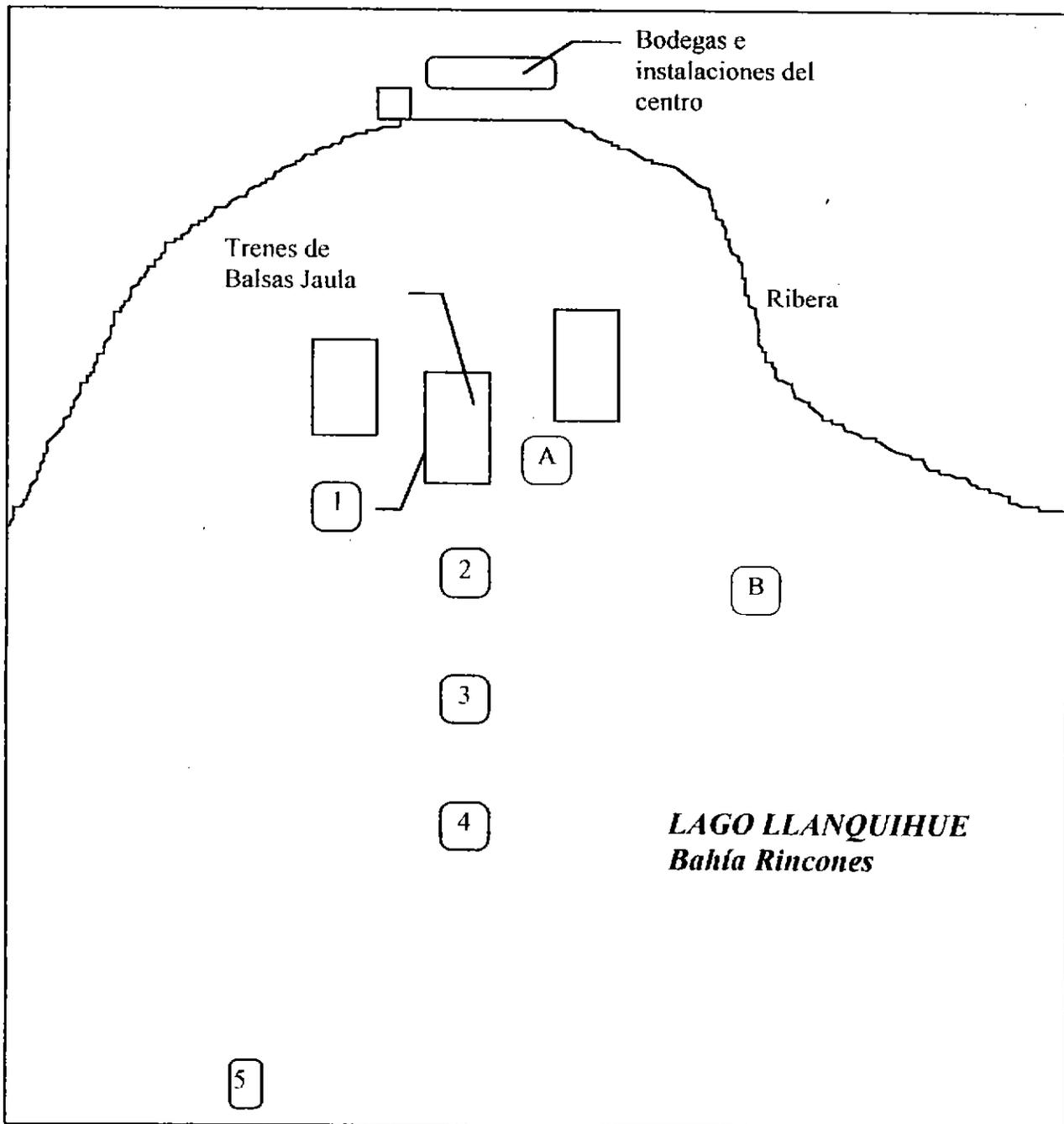


Figura 8. Esquema y estaciones de muestreo en el centro "Huillinco" de SALMONES UNIMARC, lago Huillinco (A y B señalan estaciones de correntometría)

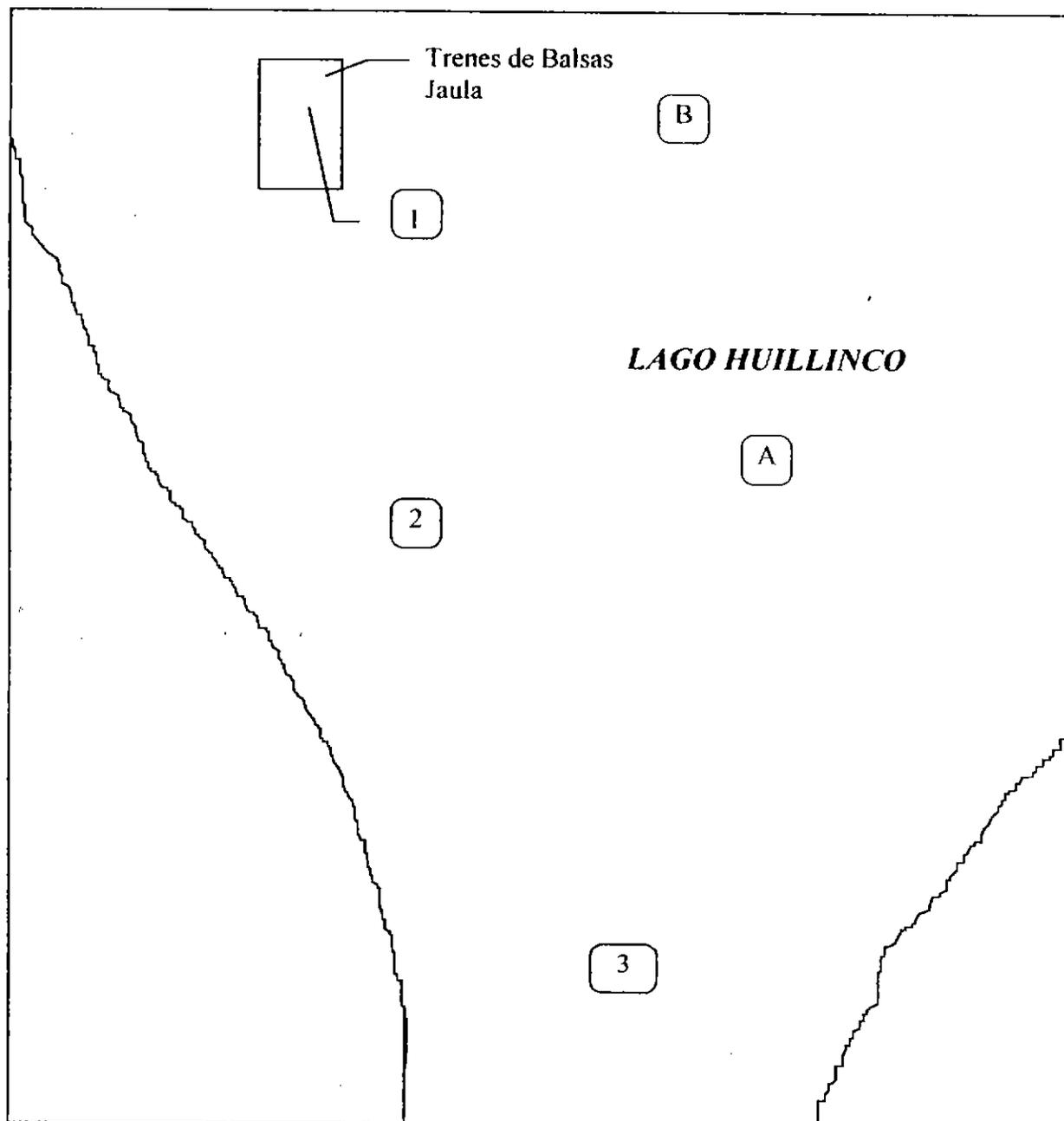
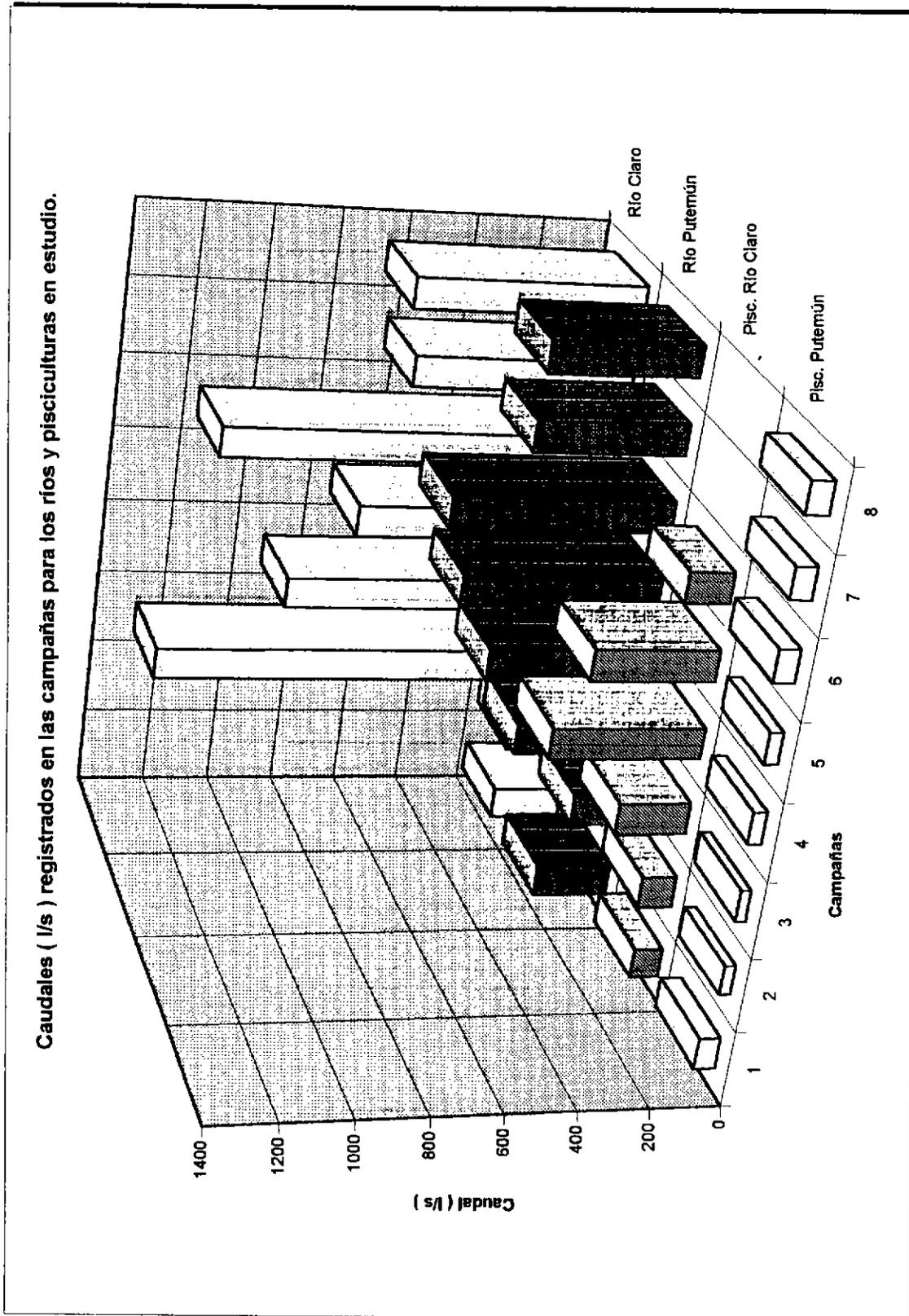


Figura 9. Caudales (l/s) registrados en las campañas para los ríos y pisciculturas en estudio.



## 2.2. Piscicultura Putemún

Para la piscicultura Putemún, tabla 6, la gráfica de los parámetros físico-químicos (fig. 10 a), demuestra una conducta asociada al factor estacional, donde se distinguen oscilaciones más o menos definidas en ciertos intervalos de tiempo.

Así, para la temperatura se observa un gradual descenso desde la primera a la quinta campaña (desde 11°C de promedio a 7.3°C), para luego comenzar a aumentar nuevamente. Es notorio, para cada campaña, el efecto de incremento de temperatura que se produce en la estación 2, correspondiente al efluente, en la cual se observa un peak y posteriormente, la respectiva regularización de la temperatura en las estaciones sucesivas.

Una oscilación de iguales características a la temperatura, pero opuesta, se denota para el oxígeno disuelto en agua, salvo para la campaña 5, donde es menos marcada. Oscilaciones de oxígeno, que en general están alrededor de los 10 mg/l, se ven disminuidas frente a la descarga del efluente (estación 2), a partir de la cual, se recuperan niveles semejantes a los anteriores. Esta normal tendencia, se ve respaldada con el análisis de correlación respectivo (tabla 11), donde ambos parámetros son opuestos en sus oscilaciones.

El pH, por su parte, presenta leves oscilaciones. No obstante, tales oscilaciones son muy cercanas a 7 y más o menos regulares a lo largo del lecho del río, en la cual la descarga del efluente no interfiere mayormente y parece ser rápidamente ajustado a las características de pH del estero.

Para ambas fracciones, se observa un aporte importante de fósforo en la estación 2, correspondiente al efluente de la piscicultura, el cual rápidamente experimenta una gran dilución que se estabiliza a contar de la estación 3 (Fig. 10b).

Es importante destacar que las proporciones de ortofosfato y fósforo total prevalecen a lo largo del cauce, lo cual denota que las tasas de remineralización de fósforo en su forma oxidada es prácticamente constante en el cuerpo de agua.

Lo anteriormente descrito, se ve respaldado por la correlación positiva y significativa ( $r > 0.9$  y  $p < 0.05$ ; tabla 11), que existe entre el ortofosfato y el fósforo total. Una correlación también importante, pero negativa, se denota entre las fracciones de fósforo y el oxígeno disuelto.

Para el caso del fósforo total en sedimentos, se puede observar para la mayoría de las campañas, que existe hasta la estación 4 cierta asociación con las formas disueltas de fósforo. No obstante, las altas concentraciones registradas en la última estación, permiten identificar físicamente un lugar donde el fósforo está siendo captado, ya sea por sedimentación o adsorción.

Sin duda, esto está asociado con las características hidrodinámicas del sistema rítral, lo cual caracteriza su sistema sedimentario (granulometría). Se podría pensar, entonces, que en dicho río la captación del fósforo sobre el sedimento está restringido sólo a ciertas áreas específicas, las cuales además, no necesariamente son permanentes en el tiempo, sino que varían de acuerdo al caudal del mismo río (sistemas sedimentarios dinámicos).

El problema es, entonces, identificar la proporción que realmente corresponde al aporte de la piscicultura, puesto que según la hidrodinámica del sistema puede existir absoluta disgregación y una considerable disolución de restos de alimento y fecas ( Wallin & Hakason, 1991 ) provenientes de la piscicultura, más aún si el alimento es de pequeño calibre.

Considerando, entonces, la rápida dilución de las formas de fósforo que son descargadas por el efluente de la piscicultura, las altas concentraciones de fósforo encontradas en estaciones que no se asocian con un gradiente de dilución, sino más bien con la hidrodinámica del sistema; cabe cuestionarse dónde ocurre el real impacto de esta actividad en ríos y cuánto es atribuible realmente a ella. Sin duda, las condiciones de la dinámica de fondos ( proporción de acumulación como erosión y transporte; Hakason & Wallin, 1991 ) están influenciando fuertemente, en este caso, la dispersión, sedimentación y la circulación de fósforo en un río de caudal discreto.

### **2.3 Piscicultura Río Claro**

En la piscicultura Río Claro (tabla 7), el comportamiento de los parámetros físico - químicos (fig. 11a) se manifiesta con cierta estabilidad entre las estaciones para las campañas 4, 6 y 8. Sin embargo, una situación muy puntual observada en terreno y que aparentemente presenta cierta ocurrencia mensual, fue detectada durante la quinta campaña de muestreo. Como se observa en la figura, para el oxígeno se registraron concentraciones que decrecen abruptamente entre las estaciones 4 y 5. De forma recíproca, existe un aumento de la temperatura en tales puntos de muestreo.

No obstante, aunque aparentemente las fluctuaciones de oxígeno y temperatura no son tan evidentes en su reciprocidad como lo detectado para Putemún, su correlación es bastante importante y significativa (  $r = -0.76$  y  $p < 0.05$ ; tabla 12). Esta vez, si se denota además una asociación importante entre la temperatura y la campaña de muestreo, por lo que se evidencia la influencia del factor climático. En el caso del fósforo total del sedimento, se manifiesta una conducta más errática en el tiempo de muestreo (Fig. 11C). Ciertamente esto puede ser asociado con la poca estaticidad de los sedimentos muestreados en cada estación, lo que sobresalta lo discutido para la piscicultura Putemún, más aun si se considera el mayor régimen hidrodinámico de este río (tabla 4).

Se puede decir entonces, que el fósforo que es descargado en ríos por la actividad de piscicultura, es rápidamente diluido a concentraciones similares a la estación control ( previa a la descarga ), por lo que estos podrían funcionar como transportadores de las diversas formas de fósforo a sistemas hídricos mayores, con una pequeña asimilación de la biota del río.

### **3. Parámetros Relativos al Fósforo en Lagos**

La tabla 5 ilustra los registros correntométricos para los tres lagos estudiados, en dos estaciones de monitoreo y en un perfil de profundidad cercanos a los respectivos centros de cultivo.

Para el centro de Bahía Rincones, lago Llanquihue, se denota que para ambas estaciones las corrientes son prácticamente nulas, lo que haría presumir una baja dispersión de los residuos particulados de fósforo, según su sedimentabilidad. Así, en la estación A, para ninguna profundidad, se detectaron desplazamiento de masas de agua y; en la estación B, lo máximo que se registró fue una velocidad de 2 cm/s, lo que habla de cierta estaticidad del cuerpo de agua para cuando se efectuó tal campaña. No obstante, el viento y otros factores climáticos deben modificar lo suficiente tales registros, como también en la respectiva estratificación de las masas de agua, lo cual es apoyado por los otros resultados de este estudio.

En el lago Natri, por su parte, aunque se trata en general de profundidades más someras en comparación al Llanquihue, se detectó una mayor variabilidad en la dirección e intensidad de las corrientes.

Por su parte, el lago Huillinco es el que registró las mayores corrientes y, prácticamente, en una sola dirección. En la estación A, casi no hay diferencia en las velocidades a las distintas profundidades, lo que señala que el cuerpo de agua en aquel instante se desplazaba como un todo.

#### **3.1. Lago Natri**

Los parámetros físico-químicos presentan una conducta relativamente definida a lo largo del transecto de muestreo, tanto para el nivel de superficie como de fondo (tabla 8 y fig. 12A).

En un marco general, para el pH se aprecia una cierta estabilidad en el transecto determinado, dentro de un rango más bien neutro de acidez.

La estabilidad y asociación en las fluctuaciones de oxígeno y temperatura, tanto en superficie como en el fondo, lo reseña el análisis respectivo de correlación (tabla 13), en la cual el oxígeno de superficie y de fondo se correlacionan negativamente entre sí con la temperatura de superficie y de fondo. Sin embargo, es necesario destacar, la importante trascendencia que tiene la relación

que ocurre entre estos parámetros y las respectivas campañas de muestreo, asociado con el factor climático estacional.

Para el ortofosfato disuelto ( fig. 12B), se observa que en varios puntos éste oscila en rangos despreciables si se compara con el fósforo total, tanto para el estrato superficial como de fondo. Sólo en la sexta campaña se aprecia una oscilación del ortofosfato en concentraciones mayores.

Sin embargo, se ha descrito que muchos lagos se caracterizan por la baja disponibilidad de ortofosfato y cuando este se hace disponible, desaparece rápidamente de la solución por la actividad de bacterias, algas y otras plantas; o bien, es precipitado o absorbido por procesos físico-químicos ( Goldman & Horne; en Limnology, 1983 ).

El fósforo total, tanto en el estrato superficial como de fondo, presenta una tendencia más regular que el ortofosfato, lo que señala una variabilidad en las proporciones de estas formas de fósforo a medida que nos alejamos del tren de balsas jaula. Adicionalmente, el fósforo total se correlaciona con las campañas de muestreo y el ortofosfato con variables como el oxígeno y la temperatura.

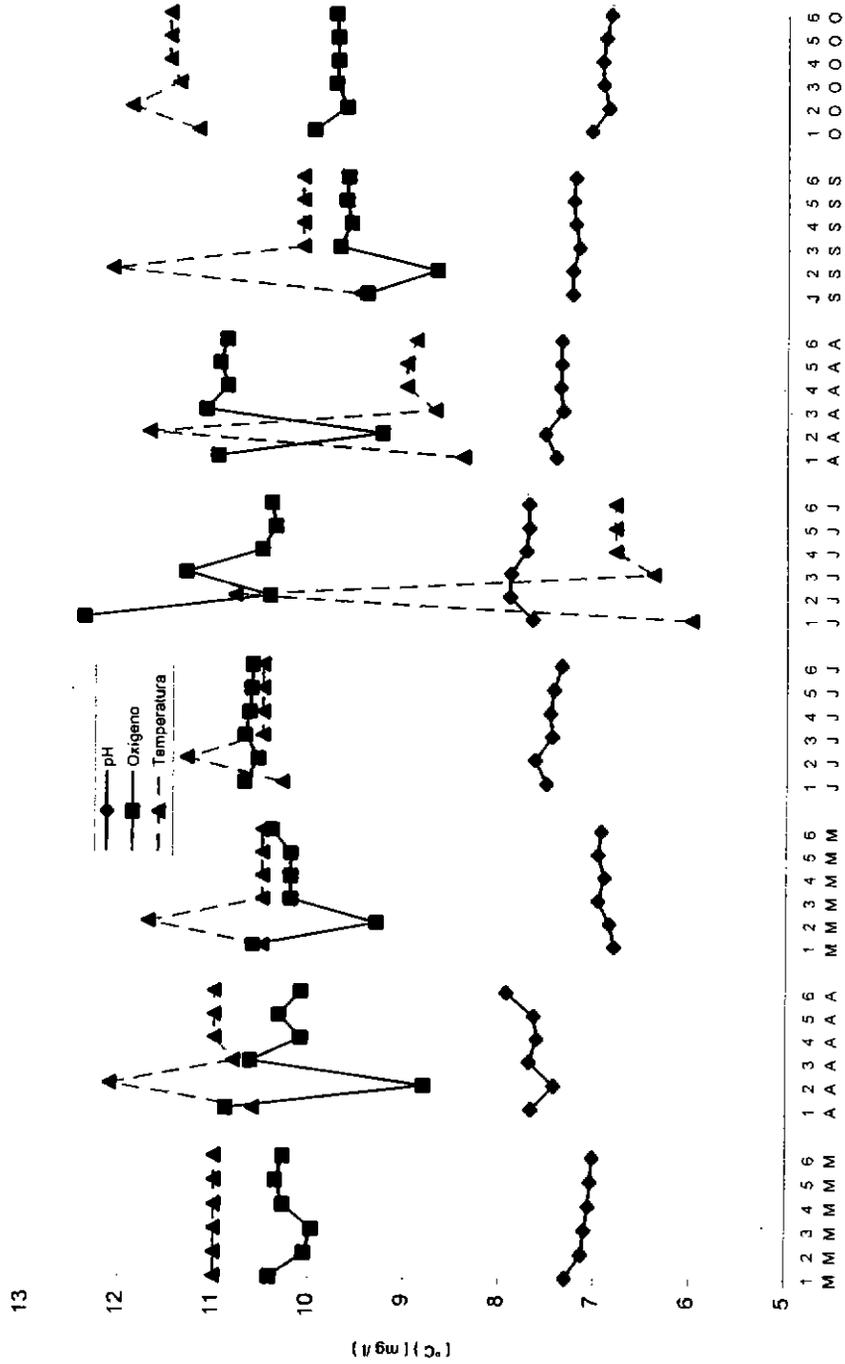
La fluctuación de fósforo total, en superficie y fondo, y su correlación con las campañas de muestreo puede asociarse con el ciclo productivo del centro, con cambios en el tamaño corporal de los peces, biomasa, tasa de alimentación, etc. ( Bergheim et al, 1982; Hakason et al., 1988, etc. ); como también con la estacionalidad propia del cuerpo acuático (Fig 12C).

Es notorio que resaltan ciertas conductas erráticas entre las estaciones y tiempos de muestreos, en los cuales no necesariamente ocurre un gradiente. Esto pudiese estar influenciado a macro escala por la hidrodinámica de la bahía y del lago propiamente tal. Por su parte, a pequeña escala, pudiese existir una estaticidad o poca trascendencia en el rol remineralizador bacteriano ( Kelly, 1992 ), o bien, podríamos estar frente al problema de los registros puntuales en consideración de las fluctuaciones de corto plazo que experimentan tal tipo de variables (Goldman & Horne; op cit. ).

El fósforo total del sedimento ( fig. 12D) presenta diferencias de magnitudes entre la estación 1, de impacto inmediato, y el resto. Sin embargo, la conducta de las otras estaciones denota un peak en la concentración de fósforo de la estación 4. Descriptivamente, el fondo del lago Natri es muy consolidado y presenta poco sedimento en las estaciones alejadas del tren de balsas, por lo que el aporte de alimento de peces se evidencia en la estación 1. El peak registrado en la estación 4, puede estar entonces asociado con la captación de este elemento que por la hidrodinámica del lago se ve posibilitado de sedimentar.

Figura 10 A

Oscilaciones de parámetros fisico-químicos de tiempo real para la piscicultura Putemún



Campana (Mes) - Estación

Figura 10 B

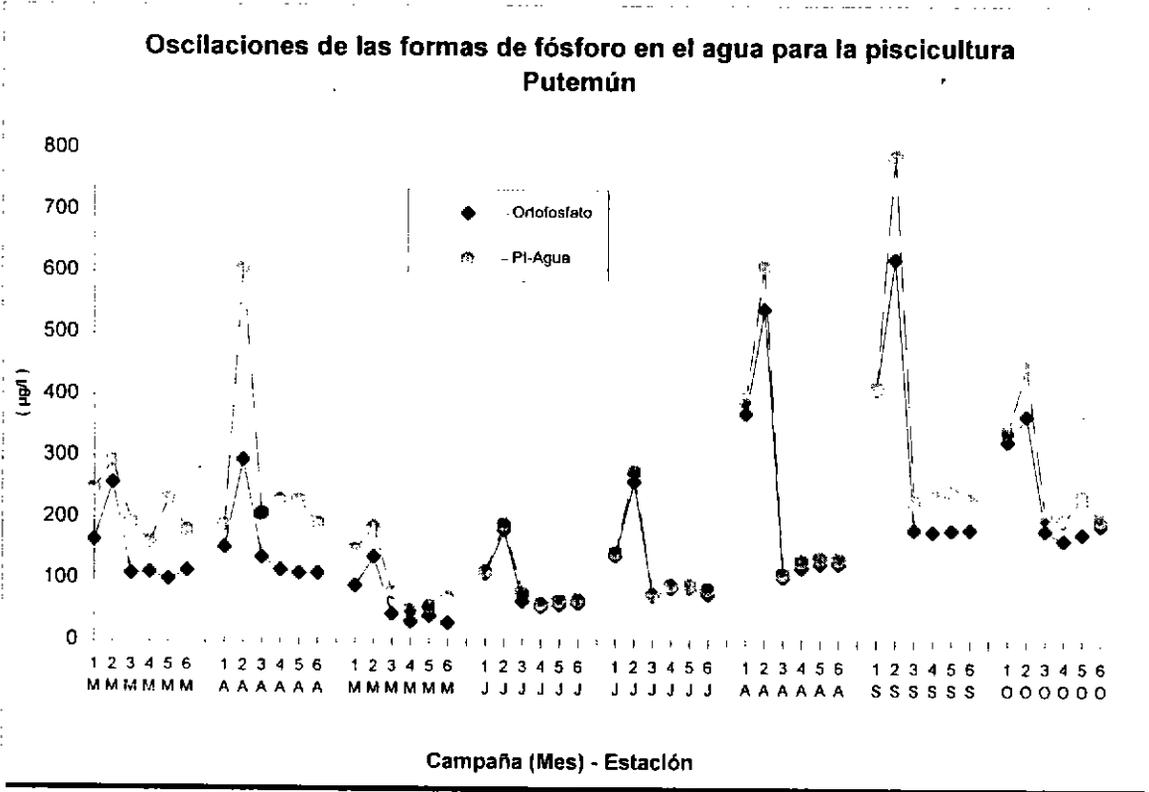


Figura 10 C

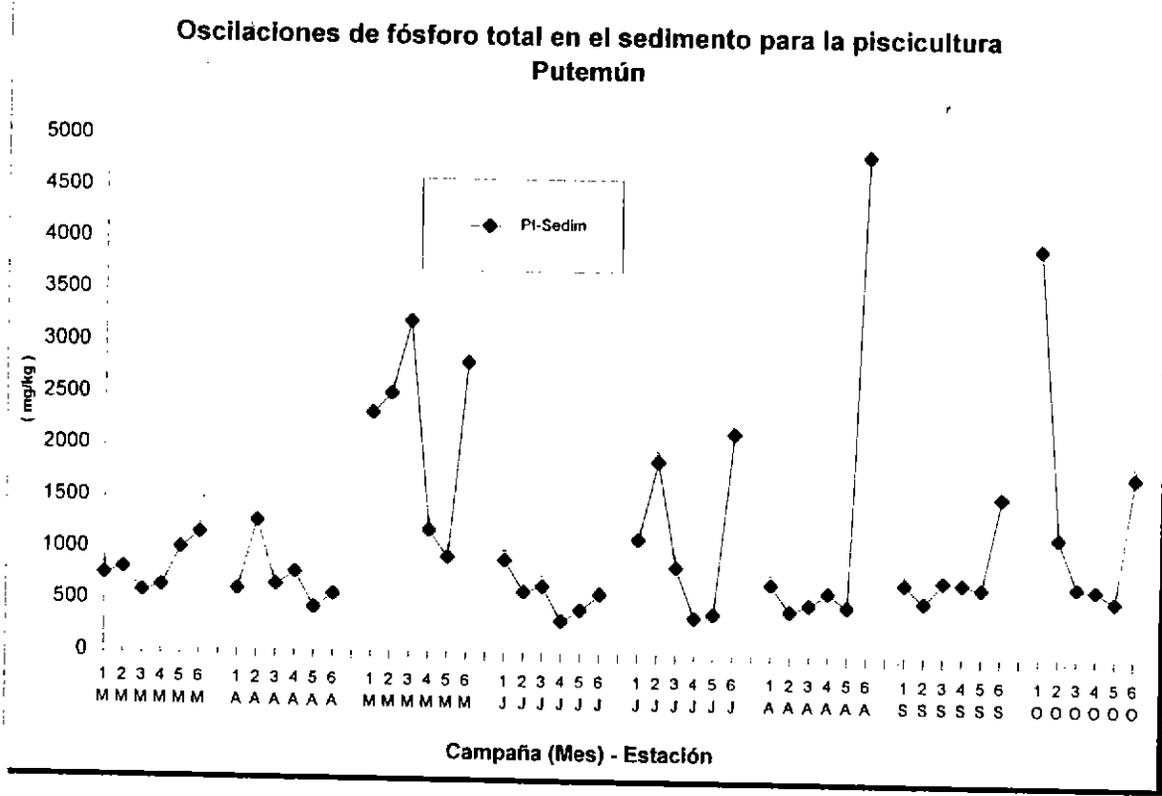
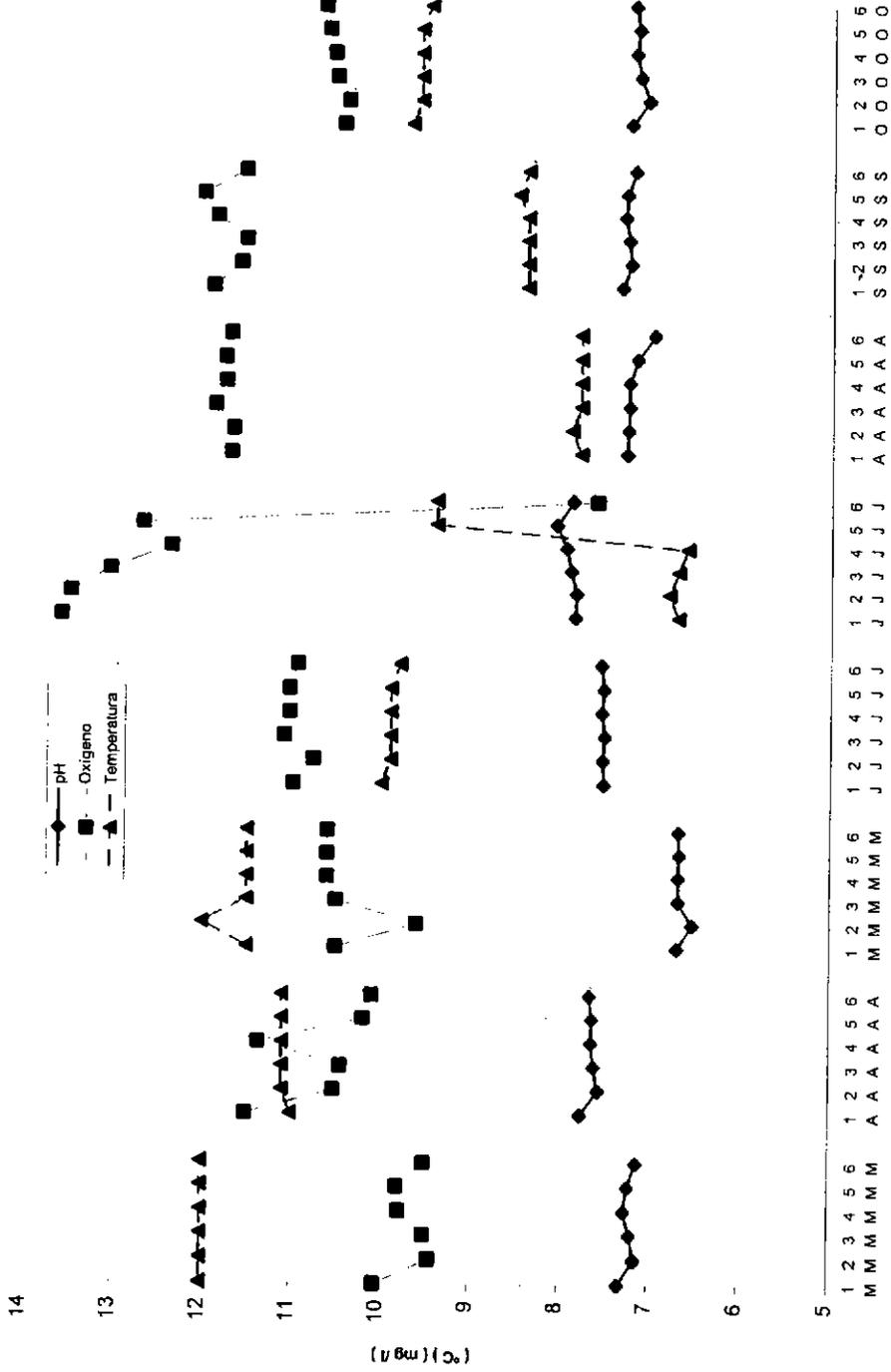


Figura 11 A

Oscilaciones de parámetros físico-químicos de tiempo real para la piscicultura Rio Claro



Campania (Mes) - Estación

Figura 11 B

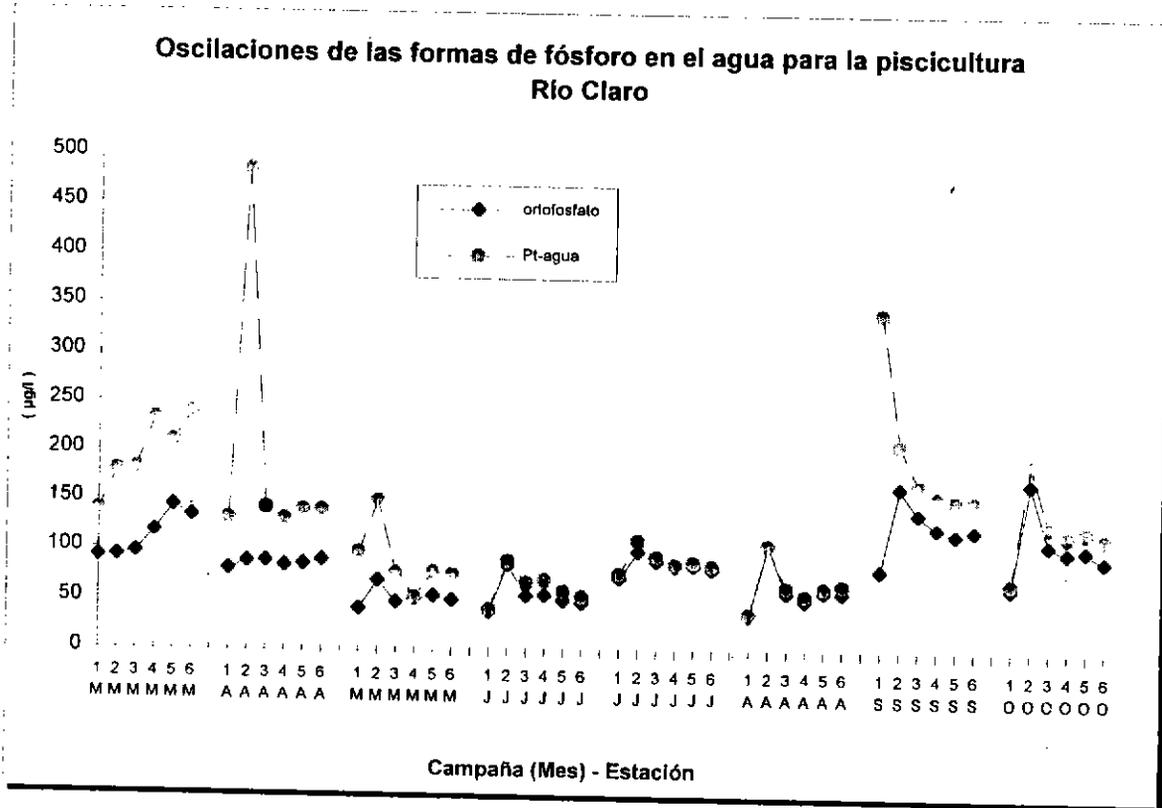


Figura 11 C

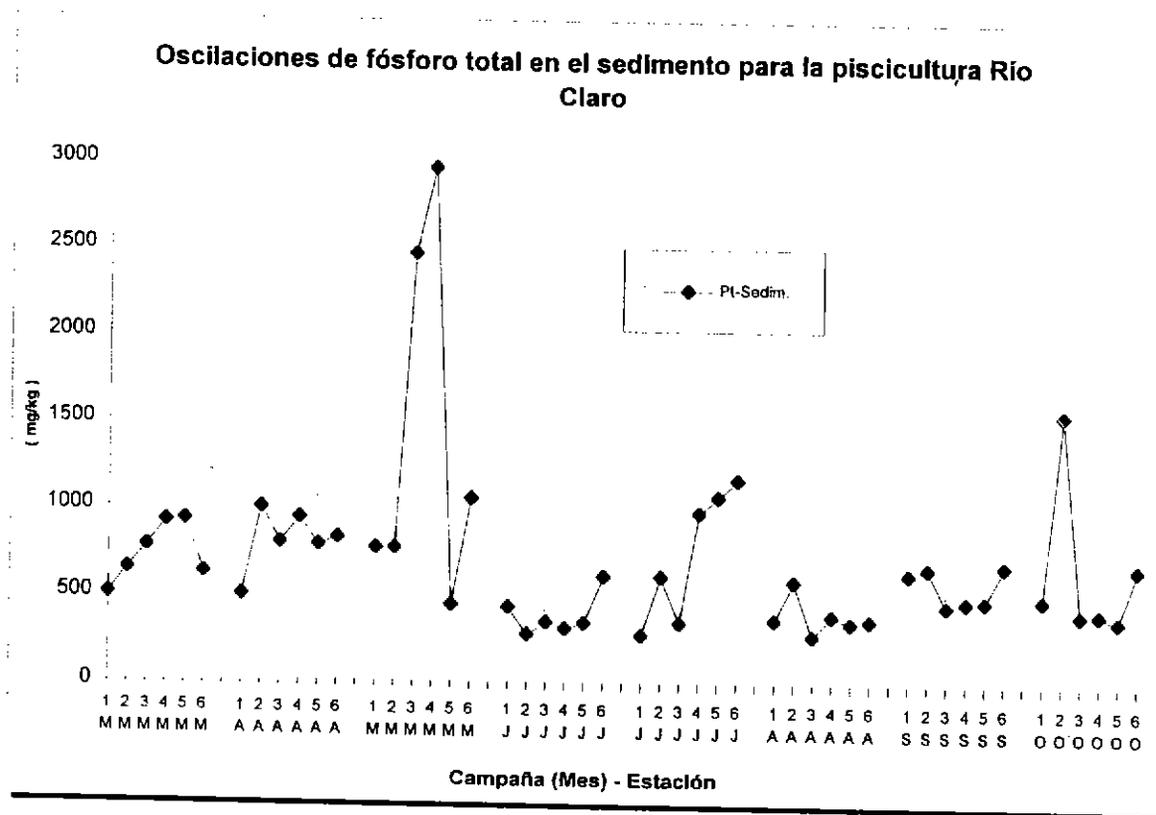
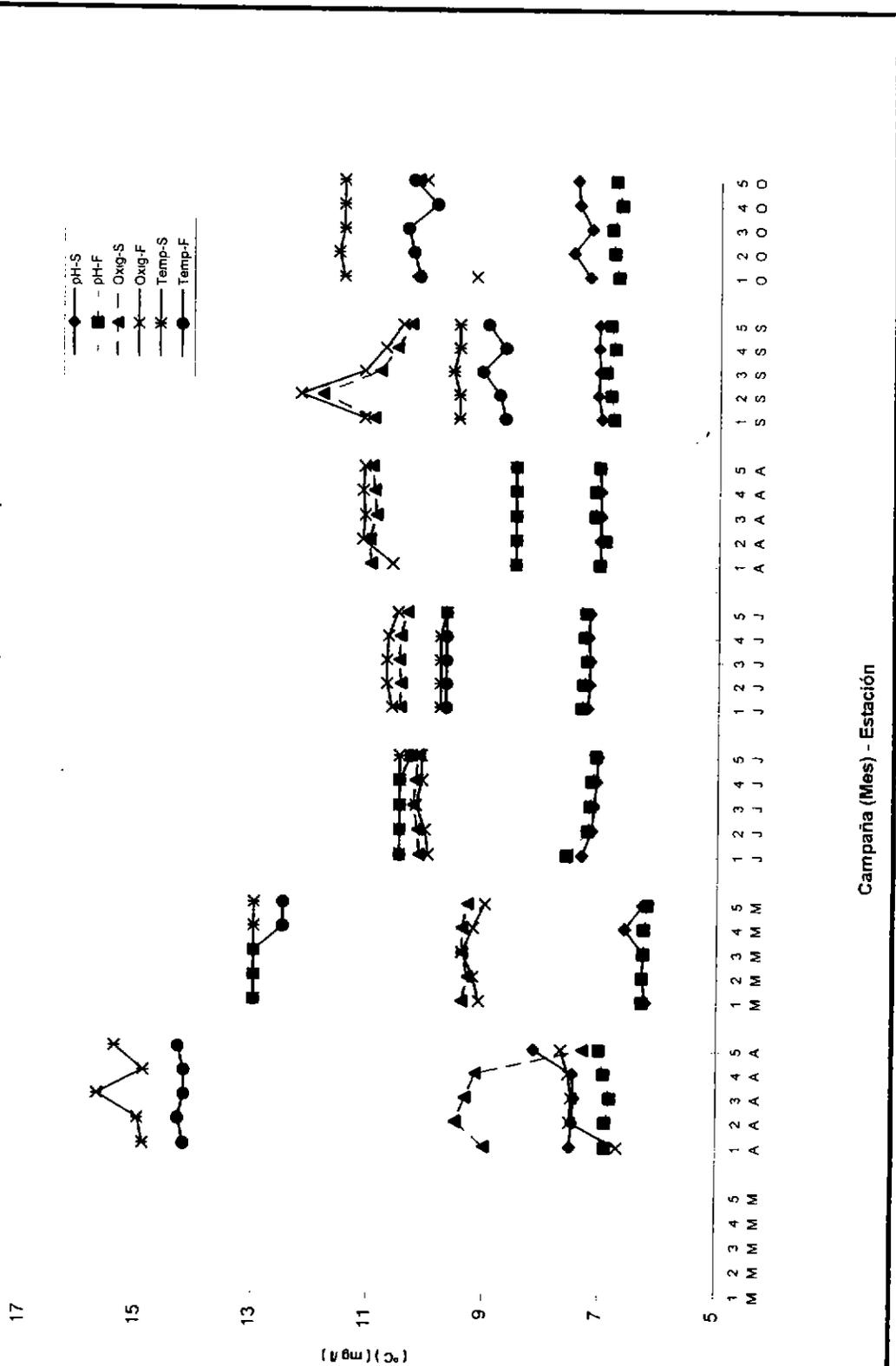


Figura 12 A

Oscilaciones de parámetros fisico-químicos de tiempo real para el centro del lago Natri ( \*S y \*F: superficie y fondo, respectivamente )



Campana (Mes) - Estación

Figura 12 B

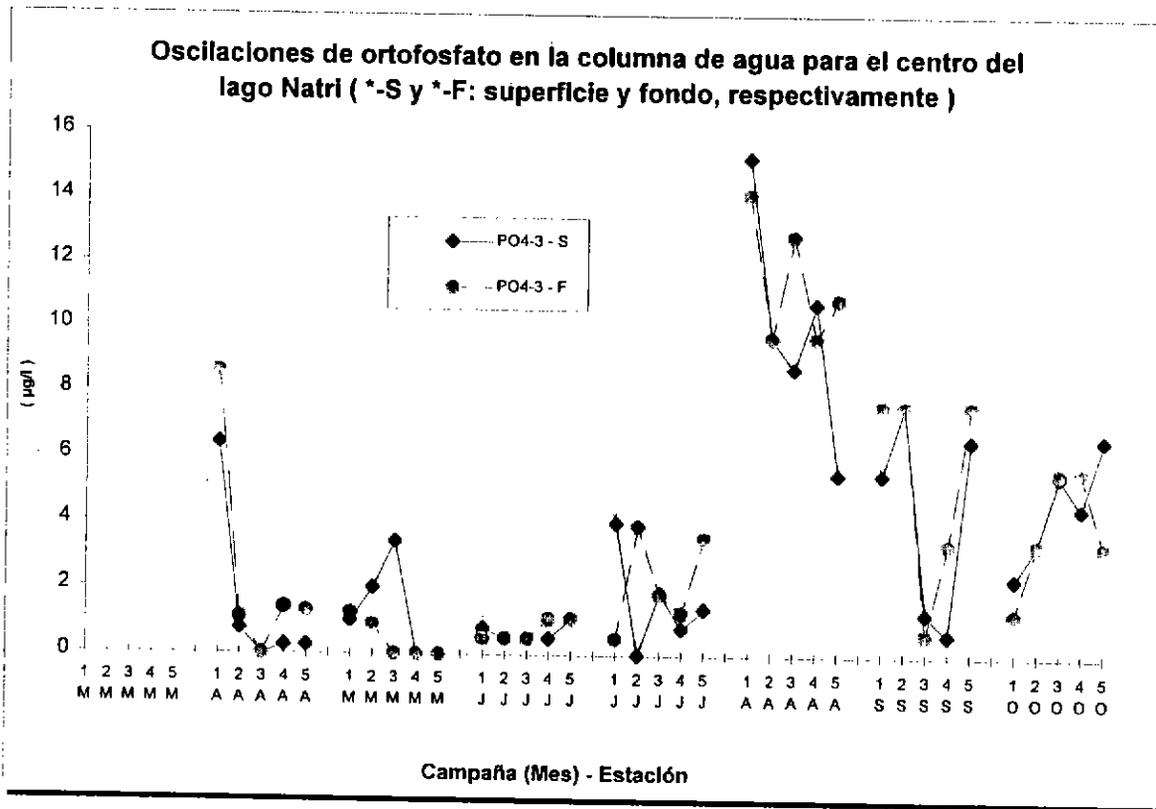


Figura 12 C

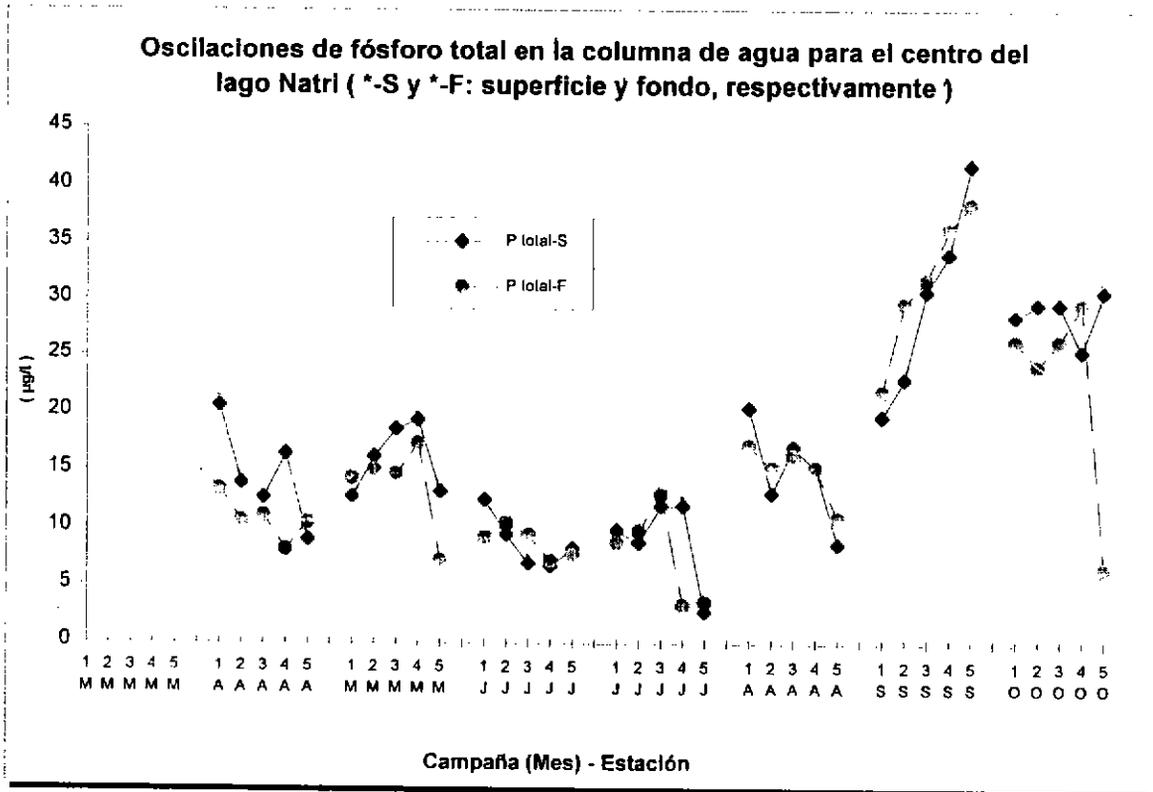


Figura 12 D

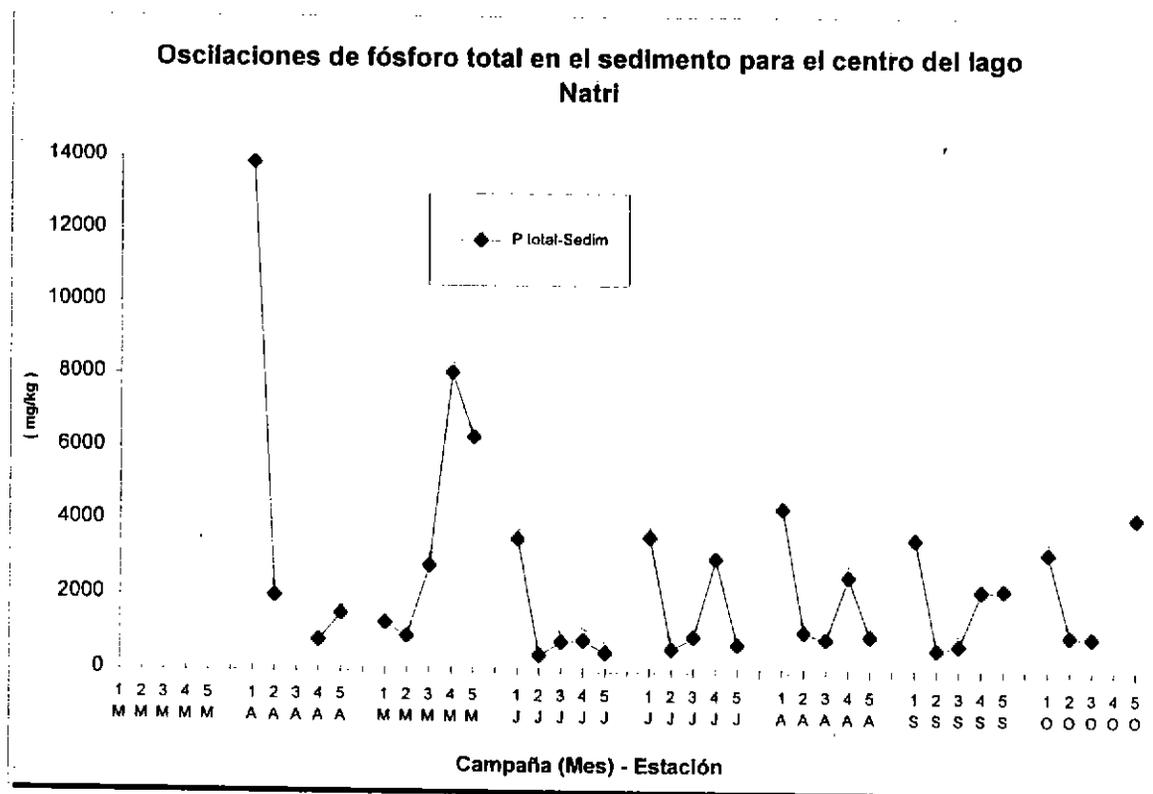


Figura 13 A

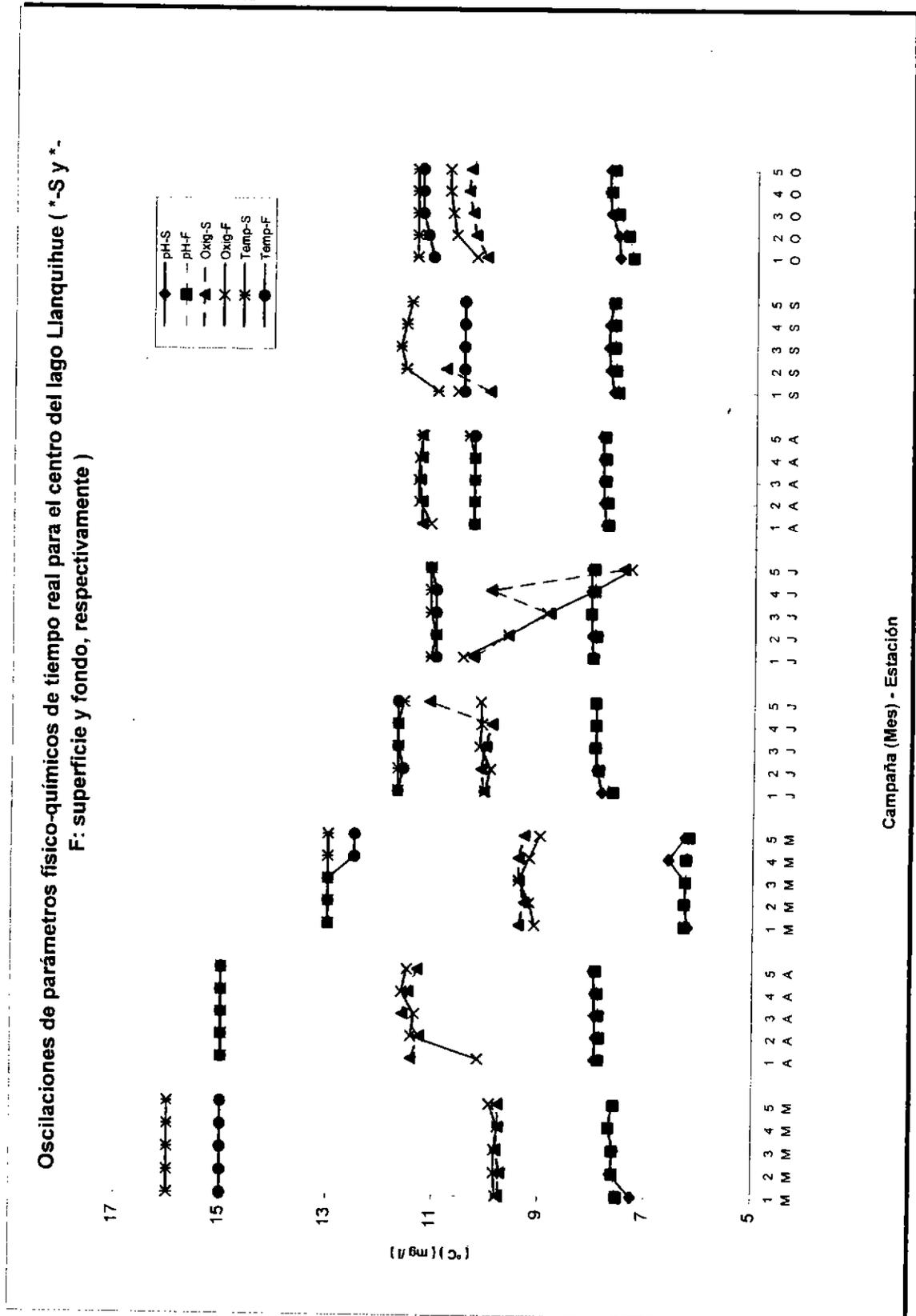


Figura 13 B

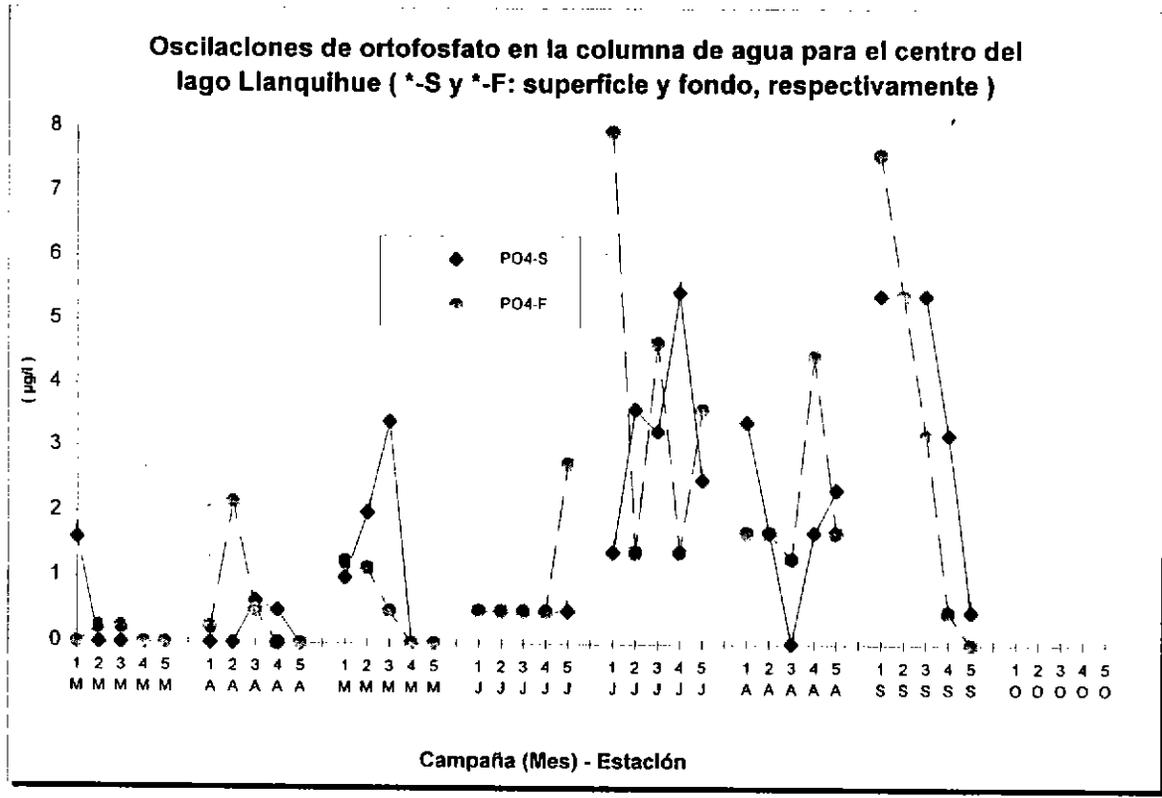


Figura 13 C

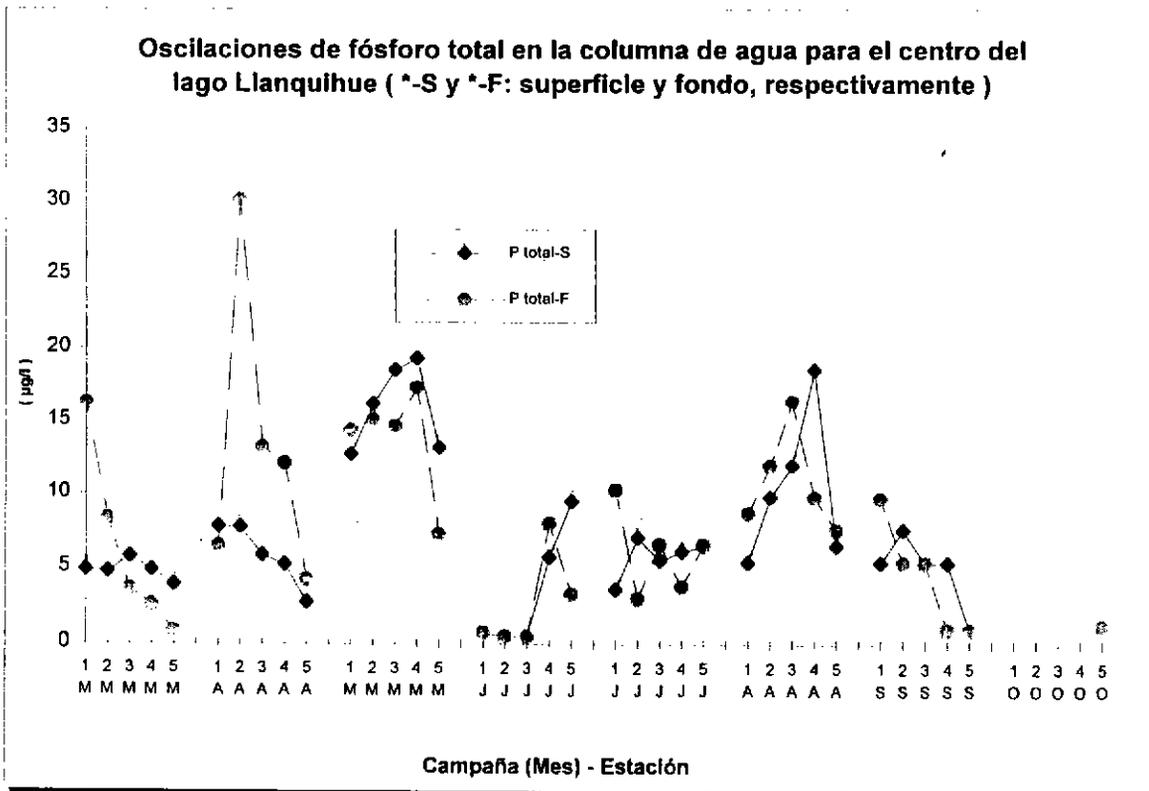


Figura 13 D

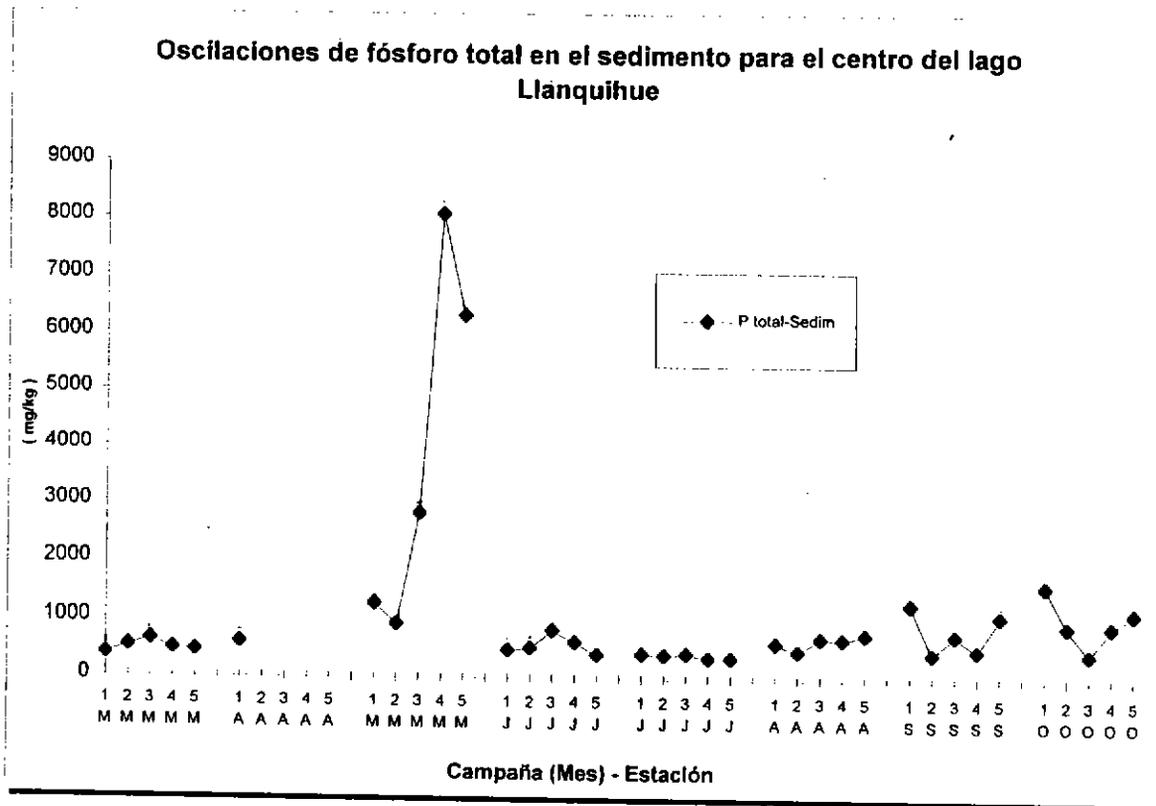


Figura 14 A

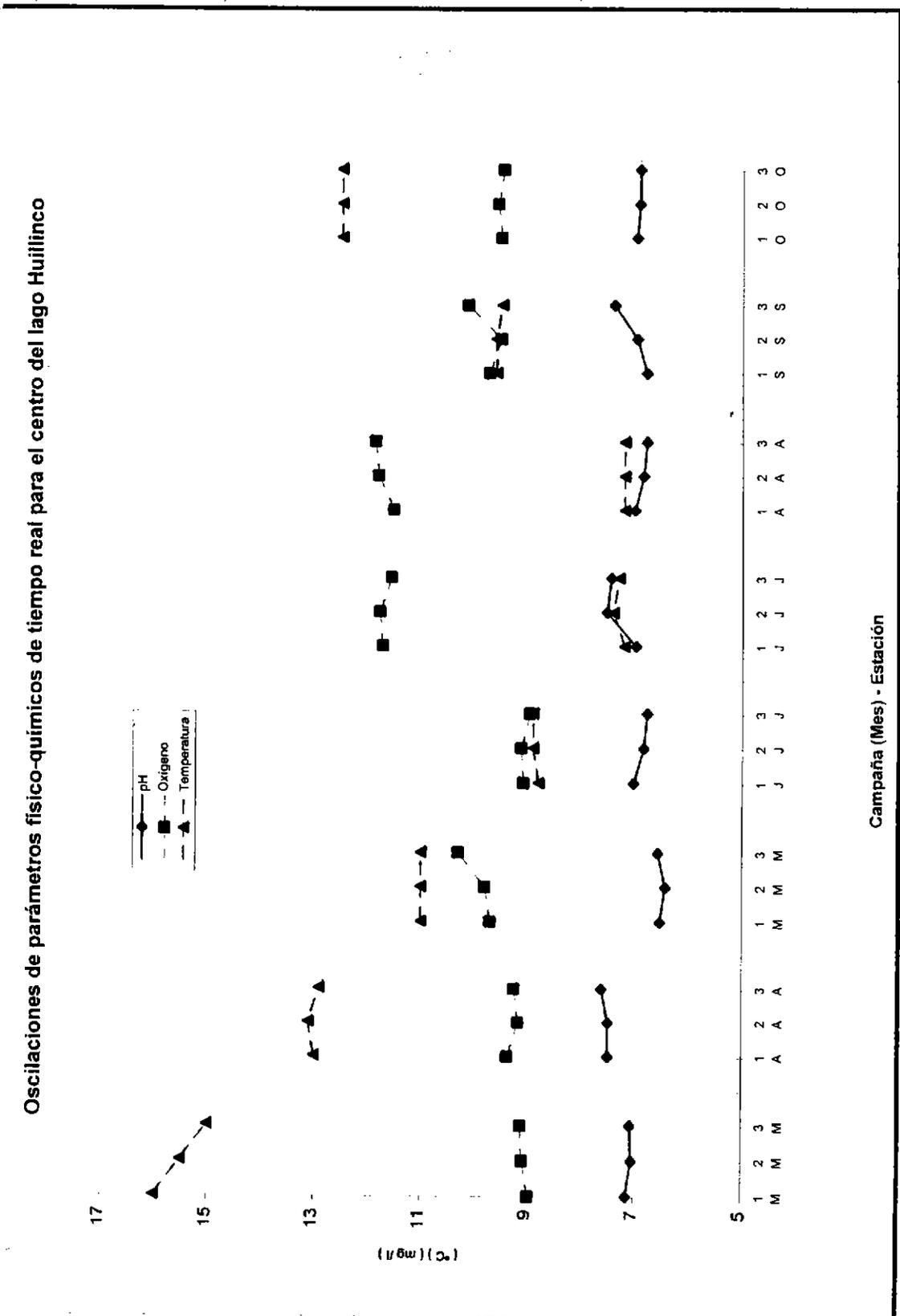


Figura 14 B

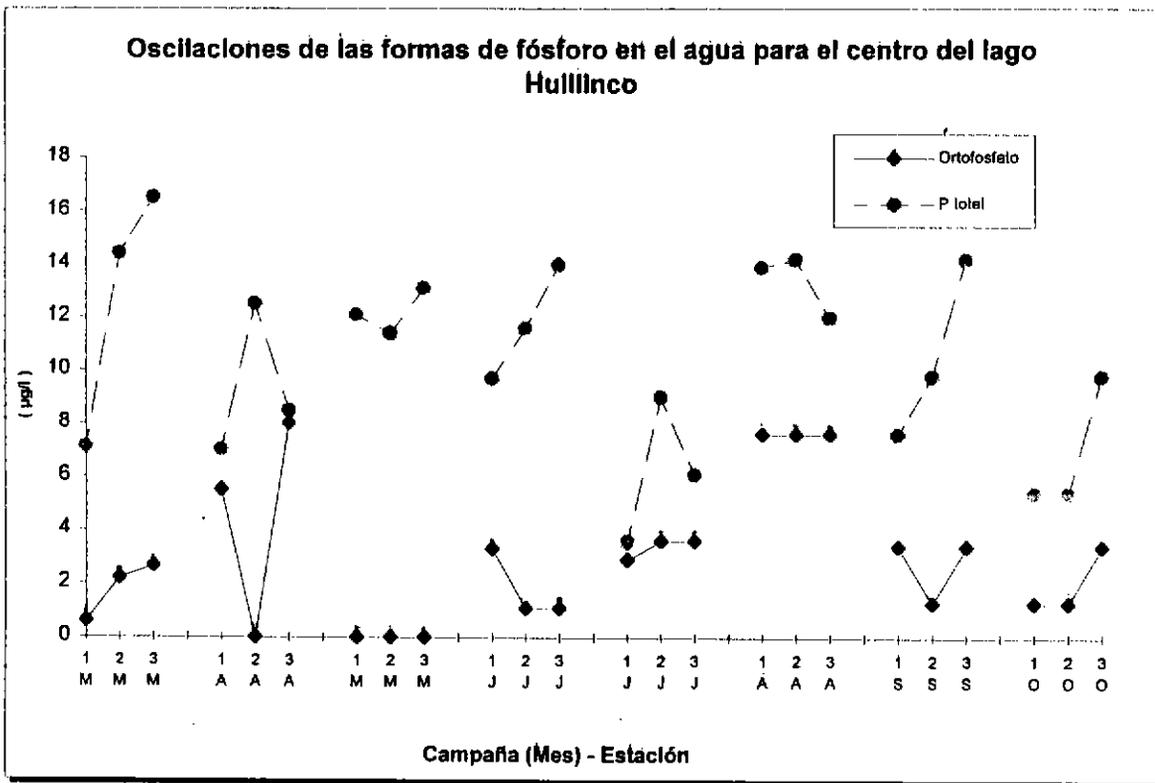
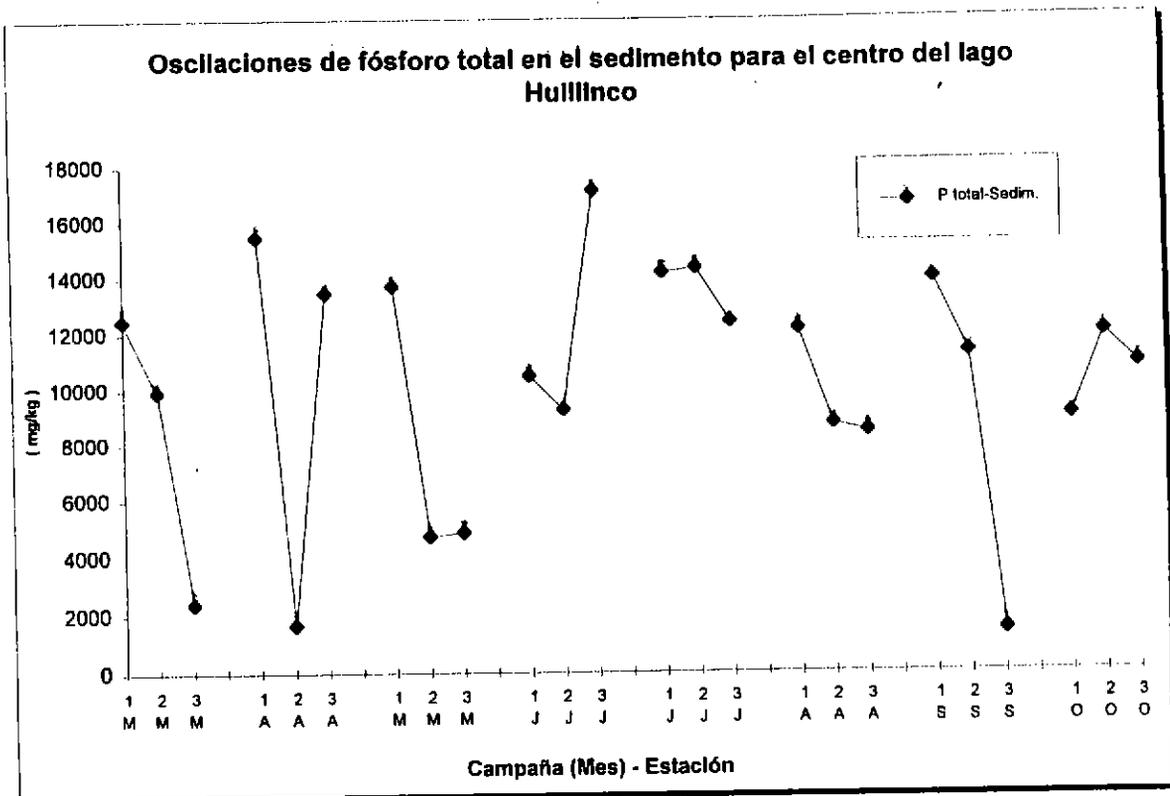


Figura 14 C



### 3.2 Lago Llanquihue, Bahía Rincónes

Dentro de los parámetros físico-químicos (tabla 9 y fig. 13A), el pH permanece relativamente estable entre las estaciones registradas y las profundidades consideradas.

En la temperatura es distinguible un efecto estacional, donde en invierno se detectaron los más bajos registros. No es distinguible una clara estratificación entre el nivel superficial y de fondo, sino que ello se constituye en un hecho aislado para determinadas estaciones. Tal fluctuación en el tiempo está claramente evidenciado en la matriz de correlación (tabla 14), donde la temperatura de superficie y de fondo se asocian de manera importante con la campaña. De igual forma en lo descrito para el lago Natri, este parámetro de correlaciona negativa y discretamente con el ortofosfato de superficie y de fondo.

El ortofosfato ( fig. 13B), se enmarca en pronunciadas fluctuaciones, al igual que el Natri, pero que son muy discretas en términos de su magnitud. A nivel de estratos, este parámetro experimenta sus máximos registros entre la cuarta y sexta campaña ( meses de invierno ), lo que puede deberse al ciclo estacional de este elemento ( Goldman & Horne, op cit. ). Esto se apoya también con la correlación encontrada entre el ortofosfato y la campaña de muestreo (tabla 14).

Para el fósforo total disuelto, en el estrato superficial y de fondo (fig. 13C), se perciben fluctuaciones más marcadas en comparación al Natri, las cuales son bastante más regulares entre las estaciones de muestreo. Además están oscilando en un rango general menor, lo que lo puede individualizar en un estado más oligotrófico, según la concentración de fósforo, que el Natri.

La situación del fósforo total en sedimento resulta ser más regular entre estaciones y campañas. Parece extraño, sin embargo, no poder encontrar diferencias entre las estación 1 y el resto, puesto que se esperaría detectar mayores concentraciones de este elemento en la zona de impacto inmediata, dadas las características de proyección de la sombra de depositación de alimento no ingerido y fecas de los mismos peces.

### 3.3 Lago Huillinco

En este lago (no comprometido en la Propuesta), se trabajó con tres estaciones y con solo nivel de muestreo superficial de la columna de agua.

Las tendencias de los parámetros físico-químicos registradas para este lago también muestran cierta estabilidad entre estaciones (tabla 10 y fig. 14 A).

El pH muestra poca oscilación.

El oxígeno, con valores en la superficie de 9 mg/l, se correlaciona negativamente con la temperatura (tabla 15).

Por su parte, la temperatura manifiesta una clara tendencia estacional, con los mínimos registros en la quinta y sexta campaña. Esto también se establece en la respectiva correlación, con la campaña de muestreo y el respectivo incremento del oxígeno.

El ortofosfato superficial disuelto (fig. 14 B) oscila en un rango en general mayor que los otros dos lagos analizados, con una interacción baja pero significativa con el oxígeno disuelto.

El fósforo contenido en el sedimento presenta en un espectro general, concentraciones considerablemente mayores que los otros dos lagos, con rangos que oscilan en torno a 10.000 mg/kg. de sedimento. En este caso, para algunas campañas se denota un gradiente a través de las estaciones; no obstante, este gradiente resulta ser tenue en consideración de las magnitudes que se han registrado (Fig. 14C).

La particularidad de este lago de ser influenciado por aguas marinas, como también las altas concentraciones de fósforo registradas en el sedimento y los niveles de relativa anoxia en el agua circundante al fondo (0,26 y 1,81 mg/l, medición *in situ*), nos hace reflexionar sobre el potencial colapso de este lago en términos de su trofia y capacidad de carga. Se ha descrito que sedimentos anóxicos facilitan la liberación de fosfatos a la columna de agua (Doremus & Clesceri, 1982; Wallin & Hakason, op cit. ), e incluso puede ser en una razón de mil veces mayor que en sedimentos oxigenados (Goldman & Home, op cit.)

Sin duda, la estratificación en densidad del lago Huillinco (cambios de salinidad ), sus características hidrográficas, químicas y sedimentarias ( granulométricas y texturales ), con sustratos altamente reducidos, hacen de este lago una situación más delicada y compleja de analizar.

Tabla 3.

Equivalencia de distancia por estaciones para las pisciculturas y centros en estudio.

Piscic./Centro	Estación	Dist. Centro (m)
Putemún	1	Previa
	2	0
	3	50
	4	100
	5	200
	6	400
Río Claro	1	Previa
	2	0
	3	50
	4	100
	5	200
	6	400
Lago Natri	1	0
	2	20
	3	40
	4	80
	5	400
Lago LLanquihue Bahía Rincones	1	0
	2	20
	3	40
	4	80
	5	600
Lago Huillinco	1	0
	2	40
	3	400

Tabla 4.

**Caudales registrados en cada campaña  
para el río y el efluente, en la piscicultura  
Putemún y Río Claro.**

<b>Piscicultura</b>	<b>Campaña</b>	<b>Caudal Río (lt/s)</b>	<b>Caudal Efluente (lt/s)</b>
<b>Putemún</b>	1	219,6	59,6
	2	143,3	30,6
	3	350	28,6
	4	468,2	38,2
	5	577	38,2
	6	640,4	59,5
	7	436	59,5
	8	431	64,5
<b>Río Claro</b>	1	212	82,5
	2	196,8	98,6
	3	1295	203,9
	4	935,5	429,9
	5	753,8	351,5
	6	1176,2	127,6
	7	650	NSR *
	8	678	NSR *

NSR: No Se Registra

( \* ): No se pudo registrar debido a que la piscicultura aumentó el número de efluentes no cuantificables.

Tabla 5.

**Resultados de correntometría para los centros del lago Llanquihue, Natri y Huillinco.**

<b>Centro</b>	<b>Estación</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Velocidad (cm/s)</b>	<b>Dirección (grados)</b>
<b>Lago Llanquihue Bahía Rincónes</b>	A	2	0	
	A	10	0	
	A	20	0	270
	B	2	1	150
	B	5	2	120
	B	14	1	240
<b>Lago Natri</b>	A	2	6	270
	A	10	2	120
	A	15	3	120
	B	2	4	270
	B	5	1	120
	B	10	0	
<b>Lago Huillinco</b>	A	2	27	265
	A	5	35	265
	A	10	30	285
	A	20	30	285
	B	2	19	285
	B	5	45	285
	B	10	8	285
	B	15	0	285

Norte = 360°

Sur = 180°

Tabla 6.

Resultados promedios para todas las campañas en la piscicultura de Putemón, Castro ( UNIM. AC ).

Campaña	Estación	pH	Oxígeno (mg/l)	Temperatura (°C)	Ortofosfato (µg/l)	Pt-Agua (µg/l)	Pt-Sedim (mg/Kg)
1	1	7,3	10,41	11	164,6	247,65	759
1	2	7,13	10,05	11	257,65	293,65	819
1	3	7,1	9,97	11	110,1	195,35	593
1	4	7,06	10,27	11	112	161,95	647,5
1	5	7,04	10,35	11	101,15	230,85	1016
1	6	7,02	10,27	11	115,25	181	1165
2	1	7,67	10,88	10,6	153,15	190,55	624
2	2	7,43	8,8	12,1	295,7	605	1284,5
2	3	7,69	10,62	10,8	137	208,3	671,5
2	4	7,61	10,09	11	116,65	230,7	794
2	5	7,64	10,32	11	111,4	230,45	453
2	6	7,93	10,09	11	111,6	193,25	583,5
3	1	6,8	10,6	10,5	91,4	150,7	2345
3	2	6,85	9,3	11,7	138,55	187,65	2534,5
3	3	6,97	10,2	10,5	45,95	80,7	3229,5
3	4	6,9	10,2	10,5	33,9	53,35	1214
3	5	6,97	10,2	10,5	43,05	59,7	956
3	6	6,94	10,4	10,5	31,5	73	2837
4	1	7,52	10,69	10,3	112	116	931
4	2	7,64	10,55	11,3	183,25	192,5	624,5
4	3	7,46	10,69	10,5	67,5	82,5	680
4	4	7,48	10,64	10,5	59	64	347
4	5	7,44	10,62	10,5	62	69	454
4	6	7,36	10,61	10,5	64,5	70	608
5	1	7,67	12,38	6	142,05	147,95	1145,5
5	2	7,91	10,43	10,8	262,15	278,65	1900
5	3	7,9	11,31	6,4	77,1	79,4	878
5	4	7,74	10,51	6,8	89,5	94,2	392
5	5	7,71	10,37	6,8	90,6	94,2	429
5	6	7,71	10,41	6,8	79,45	87,85	2172
6	1	7,42	10,98	8,4	373,7	398,45	720,5
6	2	7,54	9,25	11,7	542,25	610,8	463,5
6	3	7,35	11,11	8,7	107,5	113,25	524,5
6	4	7,38	10,88	9	122,3	133,8	645
6	5	7,37	10,96	9	128,9	139,1	509
6	6	7,37	10,89	8,9	128,9	137	4858
7	1	7,26	9,42	9,5	414,05	416,35	735,5
7	2	7,26	8,68	12,1	624,2	792,55	562
7	3	7,19	9,71	10,1	185	232,55	764,5
7	4	7,23	9,59	10,1	182,2	241,4	745
7	5	7,25	9,64	10,1	184,3	246,85	703,5
7	6	7,23	9,62	10,1	185,35	235,85	1585
8	1	7,06	9,98	11,2	329,2	346,75	3972,5
8	2	6,88	9,64	11,9	370,6	450,85	1199,5
8	3	6,94	9,75	11,4	184,05	209,6	723
8	4	6,95	9,73	11,5	168,55	201	698,5
8	5	6,91	9,73	11,5	178,95	239,95	589
8	6	6,86	9,75	11,5	192,6	203,7	1792

Tabla 7

Resultados promedios para todas las campañas en la piscicultura Río Claro, Dalcahue (INVERTEC)

Campaña	Estación	pH	Oxígeno (mg/l)	Temperatura (°C)	Ortofosfato (µg/l)	Pt-Agua (µg/l)	Pt-Sedim. (mg/Kg)
1	1	7,32	10,05	12	91,4	140,05	501,5
1	2	7,14	9,44	12	92,35	180	641,5
1	3	7,19	9,5	12	96,25	182,35	775
1	4	7,26	9,78	12	118,1	233,45	918
1	5	7,22	9,8	12	144,15	210,5	929
1	6	7,13	9,5	12	134,35	240,2	626,5
2	1	7,76	11,5	11	80,5	132,45	503
2	2	7,56	10,52	11,1	88,05	485,05	1004,5
2	3	7,61	10,44	11,1	88,5	142,8	804,5
2	4	7,64	11,36	11,1	84,05	131,95	947
2	5	7,63	10,19	11,1	85,85	141,8	794
2	6	7,66	10,09	11,1	90,25	141,75	835
3	1	6,69	10,5	11,5	42,15	98,4	778,5
3	2	6,52	9,6	12	70	151,35	779
3	3	6,68	10,5	11,5	48,9	78,1	2470
3	4	6,68	10,6	11,5	52,2	54,65	2967,5
3	5	6,67	10,6	11,5	55,6	79,35	458
3	6	6,68	10,6	11,5	51,4	76,8	1065,5
4	1	7,52	10,99	10	40,25	42,75	448,5
4	2	7,53	10,76	9,9	87,5	91	294,5
4	3	7,51	11,09	9,9	56,5	70	366,5
4	4	7,54	11,03	9,9	57,5	73	329
4	5	7,52	11,03	9,9	52	61,5	362,5
4	6	7,55	10,94	9,8	50	56,5	626,5
5	1	7,85	13,58	6,7	75,05	79,4	294,5
5	2	7,84	13,48	6,8	101,6	113,15	627
5	3	7,9	13,04	6,7	92,2	96,3	365,5
5	4	7,95	12,36	6,6	87	89,05	993,5
5	5	8,06	12,68	9,4	87,9	91,55	1083,5
5	6	7,88	7,6	9,4	84,6	87,9	1185,5
6	1	7,28	11,7	7,8	38,8	40,95	385,5
6	2	7,27	11,68	7,9	108,6	109,05	604,5
6	3	7,26	11,88	7,8	61,4	66,85	296
6	4	7,26	11,76	7,8	53,9	59,15	410,5
6	5	7,17	11,77	7,8	62,8	66,5	372
6	6	6,98	11,71	7,8	61,65	69,65	386
7	1	7,34	11,91	8,4	84,35	345	650,5
7	2	7,25	11,6	8,4	168,55	212,65	686
7	3	7,27	11,54	8,4	142,3	171,9	473,5
7	4	7,31	11,87	8,4	127,5	159,8	496,5
7	5	7,29	12,02	8,5	121,2	156,5	502,5
7	6	7,2	11,55	8,4	125,4	156,5	703,5
8	1	7,25	10,46	9,7	67,55	72,7	511,5
8	2	7,06	10,41	9,6	173,8	193,95	1571
8	3	7,15	10,54	9,6	111,75	131,1	429
8	4	7,2	10,57	9,6	104,4	121,2	437,5
8	5	7,17	10,63	9,6	106,5	125,6	398,5
8	6	7,21	10,67	9,5	96	119	694

Tabla 8.

Resultados promedios para todas las campañas en Lago Natri (INVERTEC)

Campaña	Estación	PO4-S (µg/l)	PO4-F (µg/l)	P total-S (µg/l)	P total-F (µg/l)	P total-Sedlm (mg/Kg)	pH-S	pH-F	Oxig-S (mg/l)	Oxig-F (mg/l)	Temp-S (°C)	Temp-F (°C)
1	1	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC
1	2	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC
1	3	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC
1	4	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC
1	5	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC	NHC
2	1	6,4	8,6	20,55	13,4	13840	7,51	6,9	9	6,7	14,9	14,2
2	2	0,7505	1,1005	13,9	10,65	1992,5	7,48	6,9	9,5	7,52	15	14,3
2	3	0,001	0,001	12,65	11,1	NHR	7,44	6,82	9,33	7,49	15,7	14,2
2	4	0,2505	1,4	16,4	8,15	817	7,47	6,93	9,15	7,54	14,9	14,2
2	5	0,2505	1,3005	9	10,55	1520,5	8,14	7,01	7,3	7,67	15,4	14,3
3	1	1,0005	1,25	12,75	14,4	1279	6,22	6,28	9,4	9,1	13	13
3	2	2	0,9005	16,2	15,15	930,5	6,28	6,28	9,3	9,2	13	13
3	3	3,4	0,001	18,55	14,7	2822,5	6,26	6,26	9,4	9,4	13	13
3	4	0,001	0,001	19,35	17,35	8073	6,58	6,25	9,4	9,2	13	12,5
3	5	0,001	0,001	13,2	7,3	6313,5	6,27	6,19	9,3	9	13	12,5
4	1	0,8	0,5	12,5	9,25	3539,5	7,34	7,6	10,16	10	10,5	10,5
4	2	0,5	0,5	9,5	10,5	447,5	7,17	7,24	10,19	10,06	10,5	10,5
4	3	0,5	0,5	7	9,5	808,5	7,13	7,2	10,26	10,22	10,5	10,5
4	4	0,5	1,1	6,75	7,25	846	7,09	7,17	10,22	10,11	10,5	10,5
4	5	1,1	1,1	8,35	7,8	520,5	7,06	7,1	10,17	10,12	10,5	10,3
5	1	4	0,5	9,9	8,85	3598,5	7,25	7,35	10,5	10,64	9,8	9,7
5	2	0,01	3,9	8,85	9,9	625	7,22	7,32	10,49	10,73	9,8	9,7
5	3	1,9	1,85	12	13,05	949	7,21	7,26	10,52	10,73	9,8	9,7
5	4	0,805	1,3	12	3,4	3040,5	7,24	7,3	10,5	10,7	9,8	9,7
5	5	1,4	3,55	2,75	3,7	751	7,21	7,27	10,38	10,54	9,7	9,7
6	1	15,25	14,15	20,4	17,2	4377,5	7,04	7,05	11,02	10,64	8,5	8,5
6	2	9,7	9,7	13,1	15,3	1090,5	7,05	6,96	11,04	11,16	8,5	8,5
6	3	8,75	12,85	17,1	16,4	906	7,03	7,13	10,93	11,12	8,5	8,5
6	4	10,75	9,7	15,3	15,3	2576	7,04	7,13	10,96	11,16	8,5	8,5
6	5	5,5	10,9	8,7	10,95	993,5	7,05	7,06	11	11,13	8,5	8,5
7	1	5,5	7,6	19,7	21,9	3570	7,03	6,82	10,98	11,14	9,5	8,7
7	2	7,6	7,6	23	29,7	652,5	7,1	6,87	11,87	12,25	9,5	8,8
7	3	1,3	0,6505	30,8	31,9	767	7,07	6,96	10,87	11,14	9,6	9,1
7	4	0,6505	3,4	34,1	36,3	2214	7,09	6,81	10,58	10,78	9,5	8,7
7	5	6,55	7,6	41,8	38,5	2253	7,08	6,88	10,34	10,48	9,5	9
8	1	2,35	1,3	28,6	26,4	3224	7,25	6,75	10,25	9,21	11,5	10,2
8	2	3,4	3,4	29,7	24,2	1030	7,53	6,83	NSD	NSD	11,6	10,3
8	3	5,5	5,6	29,7	26,4	988	7,22	6,86	NSD	NSD	11,5	10,4
8	4	4,5	5,6	25,5	29,7	NHR	7,43	6,7	NSD	NSD	11,5	9,9
8	5	6,6	3,35	30,8	6,6	4169,5	7,46	6,8	10,23	10,08	11,5	10,3

NHR : No hay Registro

NHC = No hubo Campaña

\*-S, \*-F : Parámetros de Superficie y Fondo, respectivamente

Tabla 9.

Resultados promedios para todas las campañas en Lago Ulanquibue, bahía Rincónes. (MARINE HARVEST)

Campaña	Estación	PO <sub>4</sub> -S (µg/lit)	PO <sub>4</sub> -F (µg/lit)	P total-S (µg/lit)	P total-F (µg/lit)	P total-S+dim (mg/Kg)	pH-S	pH-F	Org-S (mg/l)	Org-F (mg/l)	Temp-S (°C)	Temp-F (°C)
1	1	1.6005	0.001	4.85	16.25	389	7.25	7.52	9.76	9.8	16	15
1	2	0.001	0.2505	4.75	8.3	536.5	7.64	7.6	9.72	9.84	16	15
1	3	0.001	0.2505	5.75	3.6	648.5	7.58	7.6	9.83	9.83	16	15
1	4	0.001	0.001	4.85	2.6	491.5	7.68	7.68	9.76	9.77	16	15
1	5	0.001	0.001	3.9	0.85	463	7.61	7.58	9.77	9.93	16	15
2	1	0.001	0.2505	7.8	6.45	613.5	7.96	7.88	11.42	10.16	15	15
2	2	0.001	2.15	7.75	30.1	NHR	7.94	7.86	11.26	11.42	15	15
2	3	0.6505	0.5	5.85	13.25	NHR	7.96	7.88	11.36	11.36	15	15
2	4	0.5	0.001	5.25	12.1	NHR	7.96	7.9	11.47	11.6	15	15
2	5	0.001	0.001	2.75	4.25	NHR	7.99	7.94	11.3	11.5	15	15
3	1	1.0005	1.25	12.75	14.4	1279	6.22	6.28	9.4	9.1	13	13
3	2	1.15	1.15	16.2	15.15	930.5	6.28	6.28	9.3	9.2	13	13
3	3	3.4	0.5	18.55	14.7	2822.5	6.26	6.26	9.4	9.4	13	13
3	4	0.001	0.001	19.35	17.35	8073	6.58	6.25	9.4	9.2	13	12.5
3	5	0.001	0.001	13.2	7.3	6313.5	6.27	6.19	9.3	9	13	12.5
4	1	0.5	0.5	0.75	0.75	494	7.85	7.64	10.08	10.06	11.7	11.7
4	2	0.5	0.5	0.5	0.5	534.5	7.95	7.91	10.14	9.96	11.7	11.6
4	3	0.5	0.5	0.5	0.5	844	7.97	7.98	10.05	10.16	11.7	11.7
4	4	0.5	0.5	5.75	8	642	7.96	7.97	9.94	10.13	11.7	11.7
4	5	0.5	2.75	9.5	3.3	425	7.96	7.98	11.11	10.15	11.6	11.7
5	1	1.4	7.95	3.6	10.3	441.5	8.05	8.03	10.3	10.49	11.1	11
5	2	3.6	1.4	7.05	3	416	8.06	7.97	9.64	9.64	11	11
5	3	3.25	4.65	5.55	6.6	445	8.07	8.07	8.86	8.91	11.1	11
5	4	5.45	1.4	6.1	3.8	375.5	8.07	8.01	9.97	8.04	11.1	11
5	5	2.5	3.6	6.5	6.55	372.5	8.07	8.01	7.46	7.32	11.1	11.1
6	1	3.4	1.705	5.4	8.7	630	7.81	7.76	11.11	11.11	10.3	10.3
6	2	1.705	1.705	9.8	12	495.5	7.85	7.78	11.29	11.34	10.3	10.3
6	3	0.01	1.3	12	16.4	725	7.86	7.82	11.33	11.35	10.3	10.3
6	4	1.705	4.45	18.6	9.8	709.5	7.86	7.82	11.29	11.34	10.3	10.3
6	5	2.35	1.705	6.5	7.6	790	7.88	7.83	11.3	11.27	10.4	10.3
7	1	5.4	7.6	5.4	9.7	1312.5	7.68	7.59	10.02	10.62	11	10.5
7	2	5.4	5.4	7.6	5.4	466.5	7.75	7.64	10.85	NSD	11.6	10.5
7	3	5.4	3.2	5.4	5.4	790	7.78	7.67	NSD	NSD	11.7	10.5
7	4	3.2	0.5	5.4	1	527.5	7.77	7.67	NSD	NSD	11.6	10.5
7	5	0.5	0.001	1	1	1123.5	7.7	7.68	NSD	NSD	11.5	10.5
8	1	NSD	NSD	NSD	NSD	1637	7.59	7.33	10.1	10.29	11.4	11.1
8	2	NSD	NSD	NSD	NSD	961.5	7.62	7.42	10.31	10.67	11.4	11.2
8	3	NSD	NSD	NSD	NSD	478.5	7.75	7.61	10.37	10.74	11.4	11.3
8	4	NSD	NSD	NSD	NSD	968	7.79	7.74	10.45	10.79	11.4	11.3
8	5	NSD	NSD	1.3	1.3	1192	7.77	7.68	10.41	10.79	11.4	11.3

NSD : No se Detecta  
 NHR : No hay registro  
 \*S, \*F : Parametros de Superficie y Fondo, respectivamente

Tabla 10.

**Resultados promedios para todas las campañas en  
Lago Huillinco. (UNIMARC)**

Campaña	Estación	PO4 ( $\mu\text{g/l}$ )	P total ( $\mu\text{g/l}$ )	P total-Sedim ( $\text{mg/Kg}$ )	pH	Oxígeno ( $\text{mg/l}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	1	0,6	7,1	12445	7,14	8,97	16
1	2	2,2	14,4	9900	7,04	9,08	15,5
1	3	2,65	16,5	2402	7,07	9,12	15
2	1	5,5	7	15440	7,49	9,37	13
2	2	0,001	12,5	1660	7,49	9,17	13,1
2	3	8	8,5	13445	7,61	9,24	12,9
3	1	0,001	12,1	13680	6,52	9,7	11
3	2	0,001	11,4	4738	6,42	9,8	11
3	3	0,001	13,1	4871	6,56	10,3	11
4	1	3,3	9,7	10470	7,02	9,08	8,8
4	2	1,1	11,6	9240	6,83	9,12	8,9
4	3	1,1	14	17090	6,77	8,96	8,9
5	1	2,9	3,6	14150	6,98	11,73	7,2
5	2	3,6	9	14300	7,52	11,78	7,4
5	3	3,6	6,1	12380	7,44	11,56	7,3
6	1	7,6	13,9	12109	7	11,52	7,2
6	2	7,6	14,2	8699	6,84	11,81	7,2
6	3	7,6	12	8418	6,78	11,87	7,2
7	1	3,4	7,6	13909	6,78	9,73	9,6
7	2	1,3	9,8	11247	6,96	9,51	9,6
7	3	3,4	14,2	1430	7,39	10,13	9,5
8	1	1,3	5,4	8956	6,97	9,51	12,5
8	2	1,3	5,4	11924	6,92	9,57	12,5
8	3	3,4	9,8	10801	6,91	9,47	12,5

Tabla 11.

Matriz de correlación para las variables de la piscicultura Putemún

	Campana	Estación	pH	Oxígeno	Temperatura	Ortofosfato	P total	P total sed.
<b>Campana</b>	1.000 (48) P= .000							
<b>Estación</b>	.000 (48) P= .500	1.000 (48) P= .000						
<b>pH</b>	-.1355 (48) P= .179	-.0501 (48) P= .368	1.000 (48) P= .000					
<b>Oxígeno</b>	-.2010 (48) P= .085	-.0139 (48) P= .463	.4046 (48) P= .002	1.000 (48) P= .000				
<b>Temperatura</b>	-.1424 (48) P= .167	-.0878 (48) P= .276	-.4803 (48) P= .000	-.6488 (48) P= .000	1.000 (48) P= .000			
<b>Ortofosfato</b>	.4200 (48) P= .001	-.4781 (48) P= .000	-.0228 (48) P= .439	-.5371 (48) P= .000	.2991 (48) P= .019	1.000 (48) P= .000		
<b>P total</b>	.2378 (48) P= .052	-.4238 (48) P= .001	-.0443 (48) P= .382	-.6389 (48) P= .000	.4206 (48) P= .001	.9418 (48) P= .000	1.000 (48) P= .000	
<b>P total sed.</b>	.087 (48) P= .277	.0412 (48) P= .390	-.2887 (48) P= .023	.0027 (48) P= .493	.0085 (48) P= .477	-.0639 (48) P= .333	-.0847 (48) P= .283	1.000 (48) P= .000

( Coefficient / ( Cases ) / 1 - tailed Significance,  $p < 0.05$  )

Tabla 12.

Matriz de correlación para las variables de la piscicultura Río Claro.

	Campaña	Estación	pH	Oxígeno	Temperatura	Ortofosfato	P total	P total sed.
Campaña	1.000 (48) P= .000							
Estación	.000 (48) P= .500	1.000 (48) P= .000						
pH	-.0042 (48) P= .489	-.0281 (48) P= .425	1.000 (48) P= .000					
Oxígeno	.4133 (48) P= .002	-.1985 (48) P= .088	.3565 (48) P= .006	1.000 (48) P= .000				
Temperatura	-.7185 (48) P= .000	.0669 (48) P= .326	-.4075 (48) P= .002	-.7654 (48) P= .000	1.000 (48) P= .000			
Ortofosfato	.2157 (48) P= .070	.0627 (48) P= .336	.859 (48) P= .281	-.0515 (48) P= .364	-.0615 (48) P= .339	1.000 (48) P= .000		
P total	-.1748 (48) P= .117	-.1419 (48) P= .168	.0076 (48) P= .479	-.1968 (48) P= .090	.2515 (48) P= .042	.5314 (48) P= .000	1.000 (48) P= .000	
P total sed.	-.2319 (48) P= .056	.0960 (48) P= .258	-.2985 (48) P= .020	-.2698 (48) P= .032	.3589 (48) P= .006	-.0117 (48) P= .469	.0634 (48) P= .334	1.000 (48) P= .000

( Coefficient / ( Cases ) / 1 - tailed Significance, p < 0.05 )

Tabla 13.

Matriz de correlación para el centro del lago Natri (\*-S y \*-F: superficie y fondo, respectivamente)

	Campaña	Estación	PO <sub>4</sub> -S	PO <sub>4</sub> -F	Pt-S	Pt-F	Pt-sed	pH-S	pH-F	O <sub>2</sub> -S	O <sub>2</sub> -F	T°-S	T°-F
Campaña	1.000 (40) P=.000												
Estación	.0000 (40) P=.000	1.000 (40) P=.000											
PO <sub>4</sub> -S	.4727 (35) P=.002	-.1894 (35) P=.138	1.000 (35) P=.000										
PO <sub>4</sub> -F	.4417 (35) P=.004	-.0849 (35) P=.314	.8841 (35) P=.000	1.000 (35) P=.000									
Pt-S	.6115 (35) P=.000	-.0100 (35) P=.477	.3029 (35) P=.038	.2127 (35) P=.110	1.000 (35) P=.000								
Pt-F	.6108 (35) P=.000	-.1112 (35) P=.262	.2698 (35) P=.059	.2800 (35) P=.052	.8371 (35) P=.000	1.000 (35) P=.000							
Pt-sed	-.2514 (33) P=.079	-.1619 (33) P=.184	.1465 (33) P=.208	.0945 (33) P=.300	.1630 (33) P=.182	-.0588 (33) P=.373	1.000 (33) P=.000						
pH-S	.1272 (35) P=.233	-.076 (35) P=.343	.0030 (35) P=.493	-.0847 (35) P=.314	.0361 (35) P=.418	-.0352 (35) P=.420	-.0385 (33) P=.416	1.000 (35) P=.000					
pH-F	.1407 (35) P=.210	-.0593 (35) P=.367	.0723 (35) P=.340	.1667 (35) P=.169	-.3367 (35) P=.024	-.2700 (35) P=.058	-.2695 (33) P=.065	1.000 (35) P=.000					
O <sub>2</sub> -S	.7807 (32) P=.000	-.1703 (32) P=.176	.5105 (32) P=.001	.5166 (32) P=.001	.1788 (32) P=.164	.3226 (32) P=.036	-.2888 (31) P=.058	1.000 (32) P=.000					
O <sub>2</sub> -F	.7786 (32) P=.000	.0286 (32) P=.438	.3986 (32) P=.012	.4006 (32) P=.012	.0997 (32) P=.294	.2976 (32) P=.049	-.4589 (31) P=.005	.3753 (32) P=.017	1.000 (32) P=.000				
T°-S	-.6673 (35) P=.000	.0057 (35) P=.487	-.4809 (35) P=.002	-.5178 (35) P=.001	-.0561 (35) P=.374	-.2186 (35) P=.104	.3518 (33) P=.022	-.4693 (35) P=.002	1.000 (32) P=.000				
T°-F	-.8028 (35) P=.000	-.0156 (35) P=.465	-.5035 (35) P=.001	-.5400 (35) P=.000	-.2043 (35) P=.120	-.3473 (35) P=.020	.3333 (33) P=.029	-.4400 (35) P=.004	1.000 (32) P=.000				

( Coefficient / ( Cases ) / 1 - tailed Significance, p < 0.05 )

Tabla 14.

Matriz de correlación para el centro de Bahía Rincones, lago Llanquihue (\*-S y \*-F: superficie y fondo, respectivamente)

	Campana	Estación	PO <sub>4</sub> -S	PO <sub>4</sub> -F	Pt-S	Pt-F	Pt-sed	pH-S	pH-F	O <sub>2</sub> -S	O <sub>2</sub> -F	T°-S	T°-F
Campana	1.000 (40) P=.000												
Estación	.000 (40) P=.000	1.000 (40) P=.000											
PO <sub>4</sub> -S	.6482 (35) P=.000	-.1902 (35) P=.000	1.000 (35) P=.000										
PO <sub>4</sub> -F	.5541 (35) P=.000	-.2731 (35) P=.056	.5527 (35) P=.000	1.000 (35) P=.000									
Pt-S	-.0723 (36) P=.338	.0217 (36) P=.450	.0363 (35) P=.418	.0262 (35) P=.441	1.000 (36) P=.000								
Pt-F	-.2460 (36) P=.074	-.3217 (36) P=.028	-.1069 (35) P=.271	.0870 (35) P=.310	.5551 (36) P=.000	1.000 (36) P=.000							
Pt-sed	-.1369 (36) P=.213	.2174 (36) P=.101	-.2086 (31) P=.130	-.2209 (31) P=.116	.5462 (32) P=.001	.3619 (32) P=.021	1.000 (36) P=.000						
pH-S	-.2404 (40) P=.068	.0757 (40) P=.321	-.0824 (35) P=.319	.2560 (35) P=.069	-.6519 (36) P=.000	-.3479 (36) P=.019	.6457 (36) P=.000	1.000 (40) P=.000					
pH-F	.1686 (40) P=.149	.0766 (40) P=.319	.0707 (35) P=.343	.2461 (35) P=.077	-.6713 (36) P=.000	-.3378 (36) P=.022	.7144 (36) P=.000	.9849 (40) P=.000	1.000 (40) P=.000				
O <sub>2</sub> -S	.1126 (37) P=.253	-.0624 (37) P=.357	-.1523 (32) P=.203	-.0229 (32) P=.450	-.0880 (33) P=.313	.1515 (33) P=.200	-.2413 (33) P=.088	.3942 (37) P=.008	.3781 (37) P=.011	1.000 (37) P=.000			
O <sub>2</sub> -F	.1922 (36) P=.131	-.0826 (36) P=.316	-.2754 (31) P=.067	.0291 (31) P=.438	-.1480 (32) P=.209	.2146 (32) P=.119	-.2212 (32) P=.112	.3515 (36) P=.018	.3326 (36) P=.024	.8842 (36) P=.000	1.000 (36) P=.000		
T°-S	-.8444 (40) P=.000	.0103 (40) P=.475	-.5107 (35) P=.001	-.5032 (35) P=.001	-.0825 (36) P=.316	.1742 (36) P=.155	.0855 (36) P=.310	-.2046 (40) P=.103	-.1535 (40) P=.172	-.0221 (37) P=.448	-.0211 (36) P=.451	1.000 (40) P=.000	
T°-F	-.8758 (40) P=.000	-.0070 (40) P=.483	-.5726 (35) P=.000	-.5140 (35) P=.001	-.0408 (36) P=.407	.2455 (36) P=.074	.0832 (36) P=.315	-.1913 (40) P=.119	-.1405 (40) P=.194	.0259 (37) P=.439	.0158 (36) P=.464	.9752 (40) P=.000	1.000 (40) P=.000

( Coefficient / ( Cases ) / 1 - tailed Significance, p < 0.05 )

Tabla 15.

Matriz de correlación para las variables del lago Huillinco.

	Campana	Estación	Ortofosfato	P total	P total sed.	pH	Oxigeno	Temperatura
Campana	1.000 (24) P= .000							
Estación	.0000 (24) P= .500	1.000 (24) P= .000						
Ortofosfato	.1786 (24) P= .202	.1036 (24) P= .315	1.000 (24) P= .000					
P total	-.2932 (24) P= .082	.4163 (24) P= .022	.0440 (24) P= .419	1.000 (24) P= .000				
P total sed.	.1076 (24) P= .308	-.3620 (24) P= .041	.2148 (24) P= .157	-.5136 (24) P= .005	1.000 (24) P= .000			
pH	-.1636 (24) P= .222	.1002 (24) P= .321	.3486 (24) P= .048	-.2290 (24) P= .141	.0540 (24) P= .401	1.000 (24) P= .000		
Oxigeno	.3646 (24) P= .040	.0510 (24) P= .406	.5129 (24) P= .005	-.0843 (24) P= .348	.0872 (24) P= .343	.0222 (24) P= .459	1.000 (24) P= .000	
Temperatura	-.5083 (24) P= .006	-.0186 (24) P= .466	-.3676 (24) P= .039	.0322 (24) P= .441	-.2152 (24) P= .156	.1324 (24) P= .269	-.7440 (24) P= .000	1.000 (24) P= .000

( Coefficient / ( Cases ) / 1 - tailed Significance, p < 0.05 )

#### 4. Consideraciones Generales

Como se ha observado y discutido en los resultados, las tendencias de las formas de fósforo, tanto en la columna de agua como en el sedimento, son altamente variables según los sistemas hídricos que se estudien, lugares y épocas de muestreo.

La tabla siguiente muestra el contenido de fósforo total en el agua en las estaciones seleccionadas de los lagos analizados:

Tabla 16. Contenido de fósforo total en el agua, µg/l

	Llanquihue (N = 35)	Huillinco (N = 24)	Natri (N=35)
Promedio	7,34	10,4	16,72
Error std. media	0,51	0,61	1,28

Si bien entre los distintos lagos los promedios son claramente diferentes, en cada uno de ellos, con la metodología empleada no pudo observarse un aumento detectable de fósforo asociado a la actividad salmonera, en relación a estaciones consideradas "control".

De acuerdo a nuestra estimación de la excreción fecal de los peces, cualquier aumento en las concentraciones de fósforo en los cuerpos lacustres no es de ningún modo atribuible en forma principal a la salmonicultura, existiendo numerosas fuentes contaminantes tales como alcantarillas, fertilizantes agrícolas, lixiviación atmosférica, y otras indeterminadas.

Se ha estimado que un cuarto del nitrógeno y fósforo suministrado es incorporado al pez para el crecimiento. Cerca de un cuarto del fósforo es excretado en forma disuelta y el 50 % sedimenta en forma particulada. De esta forma sedimentada, entre un 7 - 64 % se puede reciclar al agua por la liberación del sedimento debido a procesos biológicos ( Wallin & Hakason, op cit; Ackefors et al, op cit. ).

Del fósforo que es proporcionado a un sistema hídrico en forma particulada, este se puede unir rápidamente al calcio, y al aluminio y fierro en forma de hidróxido (McLaughlin et al., 1981; Doremus & Clesceri, 1982; Kyle, 1995, Goldman & Horne op cit ); principalmente, por absorción química ( ej. arcillas ), reacciones de precipitación (lo que depende del pH ) y mineralización del fósforo orgánico. Esto, sin duda disminuye la disponibilidad de fósforo para el fitoplancton y otras

plantas, con el consecuente retardo del efecto eutroficante, producto de la adición de este nutriente.

Se configura, entonces, un efecto buffer en los sedimentos que está regulando el contenido y disponibilidad de fósforo en la columna de agua, lo que puede ser directamente asociado con las bajas concentraciones de ortofosfato registradas, tanto para el lago Natri como el Llanquihue.

Sobrepasada la capacidad buffer de los sedimentos, en una interacción de procesos químicos y biológicos, se podría pensar en un acelerado aumento del contenido de fósforo del cuerpo de agua.

II.- Efectos del contenido de fósforo del alimento en la productividad de salmonídeos.

1. **Contenido de fósforo en alimentos chilenos para salmones**

La tabla que sigue indica el contenido de fósforo de los alimentos para salmones en agua dulce, muestreados durante el invierno de 1995.

Tabla 17. Contenido de fósforo de alimentos comerciales chilenos, muestreados al azar.

Tipo de alimento	Cont. de P,%
Starter	1,19
Crumble 0	1,23
Crumble 1 (Salar)	1,26
Crumble 2 (Trucha)	1,28
Pellet 2,5	1,29
Crumble 2,0	1,29
Crumble	1,31
Pellet 1,9	1,32
Crumble 1	1,33
Crumble 0,4	1,37
Starter Salar	1,38
Crumble 01	1,54
Pellet 2,0	1,54
Crumble 3	1,59
Crumble 3 extr.	1,71
Crumble 2	1,71
Pellet 2,0	1,75
Pellet 2,5	1,79
Promedio	1,44
Desv. Std.	0,19

Puede apreciarse que hay un rango de valores amplio, siendo algunos alimentos de muy buena calidad ambiental y otros, francamente perjudiciales.

Se observa, por ejemplo, que los alimentos para los primeros estados de los salmones ("starters", "crumbles") tienden a tener menos fósforo que los alimentos para peces más grandes (smolts principalmente). En el primer caso, el contenido promedio de fósforo fue de 1,40%, en cambio para los calibres mayores (pelletizados y extruídos) fue de 1,54%.

También se aprecia que los contenidos de fósforo de estos alimentos para ser empleados en agua dulce, son considerablemente mas bajos que los encontrados por Fundación Chile en 1992, que si bien, también incluían alimentos empleados en mar, llegaban a niveles de 2,3%. A pesar de esta notable disminución, el contenido promedio de fósforo encontrado en el presente trabajo aún son excedentarios con respecto a los requerimientos nutricionales de los salmónidos, que se ha determinado entre 0,5 y 0,7%.

En este estudio se ha demostrado también que es posible, utilizando ciertos suplementos proteicos alternativos a la harina de pescado, rebajar en forma considerable el tenor fosfórico de las dietas manteniendo (y aún mejorando) el rendimiento productivo. Esto abre interesantes expectativas para la salmonicultura nacional.

## 2. Formas de Suministro de Alimento en la Salmonicultura Chilena

Se entrevistó a centros productores de smolts de las tres principales especies cultivadas en Chile (coho, salar y truchas), correspondientes a seis empresas distintas. Dichos centros fueron elegidos en base a su producción y a su ubicación geográfica, con el fin de representar tanto al continente de la X región como a la isla de Chiloé, sectores ambos que concentran la mayoría de las actividades de salmonicultura en agua dulce del país.

En conjunto, estos centros tienen una producción estimada para 1995 de más de 10 millones de unidades, lo que corresponde a una participación aproximada de 15% del mercado nacional de smolts.

La tabla 18 que sigue indica los planes de producción para 1995, en lo concerniente al número de smolts a producir y la cantidad de alimento a consumir. El peso de los smolts producidos se estimó en base a un peso promedio de 90 g al término del período de agua dulce.

Tabla 18. Producción de smolts, consumo y eficiencia de conversión de alimento de 7 centros de producción de smolts.

Nº	Ubicación	Unids. de smolts/año	Kilos de smolts/año	Alim.usado kg/año	E.de C. alimen. (Estímado)
1	Huillinco	1.000.000	90.000	130.000	1.44
2	Castro	150.000	13.500	10.000	0.74
3	Quellón	1.000.000	90.000	85.000	0.94
4	Llanquihue	3.500.000	315.000	407.000	1.29
5	Castro	950.000	85.500	135.000	1.58
6	Dalcahue	2.300.000	207.000	260.000	1.26
7	Natri	1.440.000	129.600	147.000	1.13
8	Putemún	n.r.	n.r.	n.r.	
	Total	10.340.000	930.600	1.174.000	1.26

Puede apreciarse que hay diferencias apreciables en la eficiencia de conversión de alimentos esperada y que el promedio general es bastante bueno.

Resumen descriptivo de los procedimientos empleados:

#### **Número de raciones.**

- Centro 1: asigna dos raciones diarias porque estiman que los peces asimilan mejor el alimento, y se minimiza el efecto de dominancia. En la ración de la mañana entregan aproximadamente el 70% del total diario.
- Centros 2/3: Se alimenta durante todo el día, en varias raciones, dependiendo del apetito de los peces, hasta completar la cantidad diaria calculada según tablas de suministro.
- Centro 4: Distribuyen dos a cuatro raciones diarias, teniendo como óptimo el lograr una sola, donde se suministra lo calculado.
- Centro 5: El total diario calculado, se distribuye en dos porciones: mañana y tarde. Cada porción se distribuye en varias entregas, según el apetito, de los peces.
- Centro 6: Determinan la cantidad diaria a suministrar según tabla de restricción basada en el peso de los peces y temperatura del agua, la que se distribuye en hasta 6 raciones diarias, dependiendo del apetito.
- Centro 7: De manera similar al Centro 5, con dos raciones, cada una de las cuales se entrega durante 2 hrs. aproximadamente. La justificación de esta estrategia es porque han observado que la mayor actividad de los peces se concentra en las primeras y las últimas horas del día.
- Centro 8: La cantidad diaria a suministrar se determina como el 6% del peso total de los peces de cada estanque, cantidad que se entrega en varias raciones a través del día.

Se evidencian marcadas diferencias en las prácticas de alimentación utilizadas, ya que hay productores que prefieren entregar el mínimo de raciones posibles (1 a 2 consideran ideal), en cambio otros se inclinan por la situación contraria, dando el alimento repartido en numerosas raciones durante el día. Esto es signo que los salmoneros chilenos han desarrollado sus estrategias de alimentación en base a experiencias propias de cada empresa, lo que sumado a las distintas conductas alimentarias de las distintas especies de salmónidos cultivadas en Chile, explica la alta diversidad encontrada en las estrategias de alimentación.

### Cantidad diaria.

- Centro 1: No entregó información.
- Centro 2: Se alimenta según tabla basada en porcentajes del peso corporal, la que se sigue en forma estricta.
- Centro 3: El máximo diario total a suministrar se calcula entre el 1 y 2,5% del peso de la biomasa.
- Centro 4: Se alimenta a saciedad durante tres días y se calcula el promedio consumido. El 90% de lo anterior se considera la ración diaria durante los siete días siguientes, al cabo de los cuales se repite el proceso. Es decir, el ciclo se realiza tres veces al mes. Este sistema se comienza cuando los peces alcanzan los 10g de peso vivo, antes de lo cual se alimenta a saciedad.
- Centro 5: Se alimenta según tabla, que se flexibiliza en caso de que los peces sigan comiendo activamente.
- Centro 6: Se calcula en base a la temperatura del agua y al peso que van alcanzando los peces.
- Centro 7: Se usa como referencia un 1,5 a 2,5% del peso corporal diario.
- Centro 8: Se asigna el 6% del peso corporal diario.

A modo de referencia, la mayoría emplea tablas de alimentación recomendadas por el proveedor de alimentos. Sin embargo, con frecuencia exceden la cuota recomendada, según demanda de los peces, alimentando a "saciedad controlada", como ellos la denominan; de hecho, sólo un encuestado manifestó ceñirse con rigurosidad a una tabla teórica de alimentación.

### **Estimación del alimento realmente consumido.**

- Centro 1: Han hecho estimaciones que indican pérdidas de alimento de aproximadamente 10%.
- Centro 2: No emplean procesos de verificación.
- Centro 3: Se basan en la eficiencia de conversión de alimento, que verifican semanalmente, mediante pesaje de los peces y cálculo de la cantidad de alimento suministrada.
- Centro 4: Han entrenado a su personal para observar a los peces durante la alimentación, minimizando las pérdidas por mala alimentación.
- Centro 5: Estiman que las pérdidas son marginales.
- Centro 6: Realizan un control indirecto a través de cálculos de eficiencia.
- Centro 7: Monitoreo visual por parte de los alimentadores y cálculo de eficiencia de conversión, que debe situarse entre 1,0 y 1,2 kilos de alimento por kilo de peso ganado.
- Centro 8: Consideran que la cantidad realmente consumida (vs. la pérdida) es muy variable, según los cambios bióticos que sufren los peces. Aseguran que lo no-consumido no supera el 25%.

Todos los centros visitados emplean alimentación manual, con operarios muy bien entrenados. Indudablemente dicho sistema resulta menos contaminador que el empleo de sistemas automáticos.

La siguiente tabla resume la información obtenida de las encuesta a los productores, posibilitando un análisis del conjunto.

Tabla 19. Resumen de la información obtenida en encuesta a productores.

		CENTRO							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Nº de Raciones	2	X							
	4				X				
	> 4		X	X		X	X	X	X
Cantidad Asignada	Uso de Tablas		X	X		X	X	X	X
	A sociedad				X				
Estimación Pérdida	Directa								
	Indirecta	X		X			X	X	X
	NO		X		X	X			

### 3. Niveles de aporte de fósforo y resultados productivos

#### 3.1 Efectos sobre el incremento de peso.

La tabla 20 contiene información detallada de los valores medios y sus errores estándar por unidad experimental. En general se puede indicar que hay un leve corrimiento de algunos valores medios, esto es particularmente evidente de los gráficos que presentan los intervalos de confianza de los incrementos de peso medio alcanzado durante el período de estudio (Figura 15). Los coeficientes de variación son en general de ordenes de magnitud similares (este coeficiente de variación se obtiene del cuociente entre la media y su error estándar). La especie coho presentó una estimación con mayor precisión (la menor amplitud de los intervalos de confianza observada en los gráficos lo confirman) que la especie Salar, lo que nos indica que la especie Salar presentó una variabilidad muestral en el incremento de peso levemente superior que la especie coho.

Si se analiza independientemente cada tratamiento, en general, no habría una significación evidente entre los crecimientos medios del peso entre balsas. La única diferencia muestral observada, se presenta entre Salar con alimento extruido y bajo fósforo, respecto de la especie coho, cualesquiera sea el alimento, sin embargo, en el conjunto de las 8 unidades experimentales, no hay diferencias evidentes. Estos resultados concuerdan con los análisis el análisis del diseño experimental, en el cual tampoco se encontró diferencias significativas a nivel de los diferentes tratamientos.

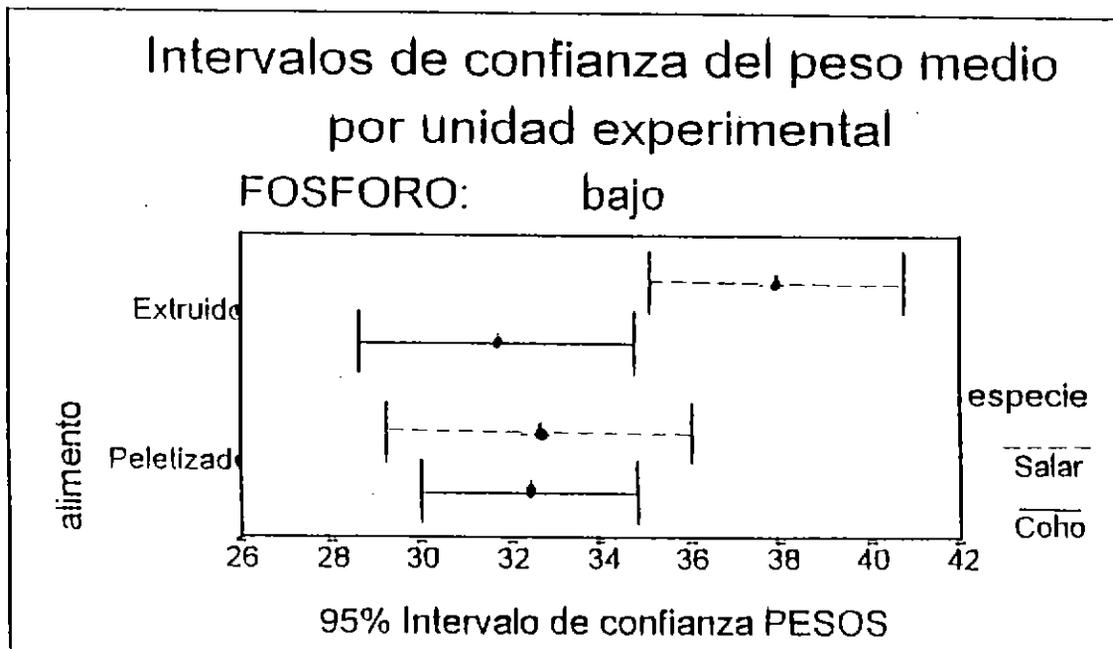
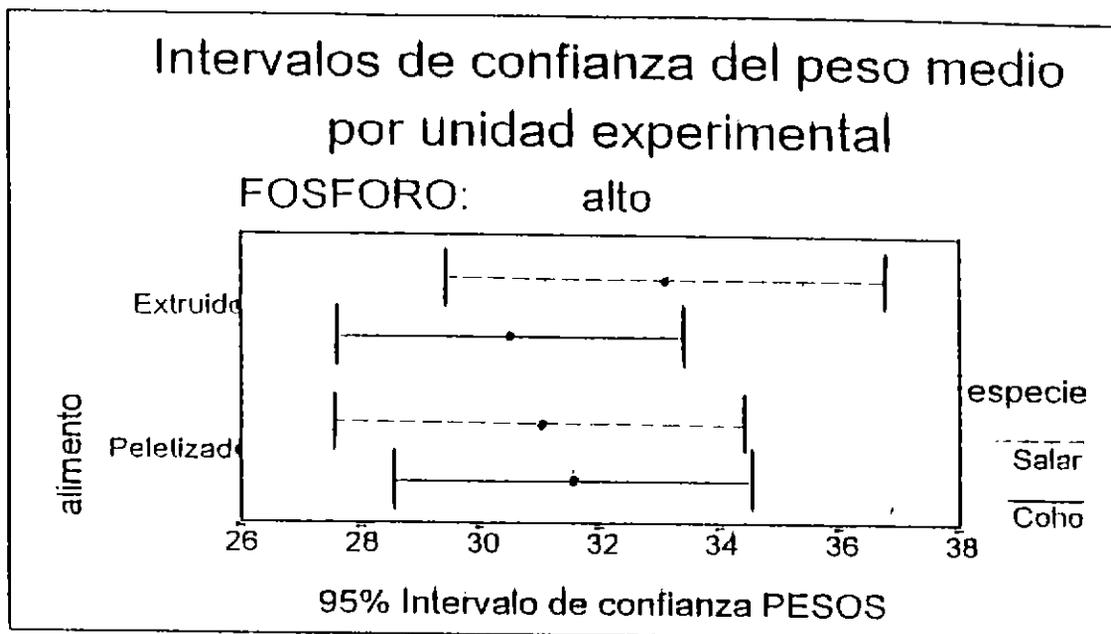


Figura 15. Intervalo de confianza de incrementos de peso medio con alimentos de Alto y Bajo fósforo

Tabla 20.- Efectos del nivel de fósforo, forma de procesamiento del alimento y raza de salmones, sobre los promedios de incremento de peso y su error estándar por unidad de tratamiento.

		Especie		Total Grupo	Total Tabla
		S. Atlántico	S. Coho		
<b>ALIMENTO EXTRUIDO</b>					
Alto Fósforo	Media	33,10	30,52	31,81	31,81
	Error Std. Media	1,83	1,45	1,17	1,17
Bajo Fósforo	Media	37,94	31,72	34,83	34,83
	Error Std. Media	1,40	1,53	1,08	1,08
Total Grupo	Media	35,52	31,12	33,32	33,32
	Error Std. Media	1,17	1,05	0,80	0,80
<b>ALIMENTO PELLETIZADO</b>					
Alto Fósforo	Media	31,02	31,58	31,30	31,30
	Error Std. Media	1,71	1,49	1,13	1,13
Bajo Fósforo	Media	32,66	32,42	32,54	32,54
	Error Std. Media	1,69	1,20	1,03	1,03
Total Grupo	Media	31,84	32,00	31,92	31,92
	Error Std. Media	1,20	0,95	0,76	0,76
TOTAL TABLA	Media	33,68	31,56	32,62	32,62
	Error Std. Media	0,85	0,71	0,55	0,55

## Diseño experimental

El diseño experimental utilizado puede definirse como un diseño balanceado a tres factores completamente aleatorizado con dos niveles por cada factor, lo que genera un diseño con un total de 8 tratamientos. Los tres factores son: Especie, Alimento y Fósforo, respectivamente. El factor Especie tiene como niveles a las especies Salar y Coho; el factor Alimento tiene como niveles dos tipos de alimentos Extruido y Peletizado; y el factor Fósforo tiene como niveles a dos concentraciones de fósforo, denotadas como Alto y Bajo.

Como al interior de cada tratamiento se incluyó 50 ejemplares de características similares, los que fueron además seleccionados aleatoriamente y no hubo réplica de las unidades experimentales, y que en este caso las réplicas corresponderían a la balsa de un específico tratamiento, el modelo según Hulbert, (1984), se podría clasificar como un diseño experimental segregado con pseudoréplicas. Las unidades o muestras dentro de la unidad experimental serían en este sentido las pseudoréplicas.

Como se sabe, es frecuente por una cuestión de costos, que las experiencias en producción animal industrial correspondan a experimentos de tipo segregados como el diseño aquí planteado. Hubo especial cuidado en el manejo de las unidades experimentales a objeto de evitar el agregar fuentes de error que pudieran invalidar la experiencia. Como es sabido, factores externos no controlables podrían afectar a cualesquiera de las unidades experimentales que se encontraban en un medio de operación comercial, más aún, esto puede ocurrir aún cuando se tengan unidades experimentales efectivamente replicadas.

A continuación se desarrolla la idea general de las posibilidades de un análisis sobre la base de los datos del experimento realizado y se obtienen los resultados y conclusiones.

### CASO 1

La literatura (Neter et al. 1990) desarrolla un modelo del tipo ANOVA que permite estudiar efectos de tratamientos si el número de casos por tratamiento es igual a uno ( $n=1$ ).

La idea es la siguiente, consideremos un modelo factorial general a tres factores fijos del tipo siguiente:

$$Y_{qkm} = \mu_{..} + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkm}$$

donde m es la cantidad de observaciones por tratamiento ( $m=1, \dots, n$ ), con niveles A ( $i=1, \dots, a$ ), nivel B ( $j=1, \dots, b$ ) y nivel C ( $k=1, \dots, c$ ).

El número total de casos de este modelo está dado por  $ntot = nabc$ , siendo n la cantidad de observaciones por tratamiento (n es constante).

Si suponemos que el modelo no presenta una interacción a tres factores y que sólo se tiene una observación ( $n=1$ ) por tratamiento, entonces el Cuadrado Medio de la Interacción a tres factores MSABC tiene esperanza igual a la varianza la que reemplazaría al Cuadrado Medio del Error MSE, ya que este último término es cero al no tener réplicas.

El modelo factorial en este caso queda de la forma:

$$Y_{ijk} = \mu_{...} + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Una aproximación gruesa pero posible, con los datos colectados, a este diseño sería reducir las observaciones muestrales a un promedio, bajo el supuesto que esta estimación puntual proviene de una muestra relativamente grande de una población inicial homogénea (supuesto evidentemente fuerte).

El promedio, considerado ahora como dato sabemos que enmascara posibles fuentes de variabilidad que podrían ser importantes. Bajo estas consideraciones se utilizó este análisis de cuyos resultados presentados en la tabla 21 se concluye, que no hay diferencias significativas entre los tratamientos e interacciones. Los niveles de la estadística F, no son significativos. Nótese que en este caso el Cuadrado Medio del denominador en la estadística F corresponde al Cuadrado Medio de la interacción Especie-Alimento-Fosforo (\*). Los mayores valores de F se obtienen a nivel de la interacción Especie-Alimento.

Tabla 21. Análisis de varianza, CASO 1

Fuente de Variación	SS	DF	MS	F
WITHIN+RESIDUAL	.00	0		
ESPECIE	8.99	1	8.99	8.90
ALIMENTO	3.92	1	3.92	3.88
FOSFORO	9.07	1	9.07	8.98
ESPECIE POR ALIMENTO	10.40	1	10.40	12.30
ESPECIE POR FOSFORO	2.46	1	2.46	2.44
ALIMENTO POR FOSFORO	1.58	1	1.58	1.56
ESPECIE POR ALIMENTO POR FOSFORO	1.01	1	* 1.01	
(Modelo)	37.44	7	5.35	5.30
(Total)	37.44	7	5.35	

## CASO 2

El modelo anterior y su análisis tiene, entre otros, el objeto de presentar un modelo general de análisis que se puede adaptar a un diseño de experimento sin réplicas con submuestreo (Neter et al, 1990); el submuestreo se refiere a que hay más de una observación en cada unidad experimental. El problema se encuentra en detalle y muy bien tratado en Neter *op cit*.

La idea consiste en agregar un término adicional de error (que llamaremos  $F_{ijk}$ ) al modelo, cuya equivalencia está dada por la segunda ecuación presentada en el caso 1 anterior, que mida los efectos aleatorios asociados a las observaciones k-ésima en la unidad experimental.

El análisis es el siguiente, como el CME es cero, dado que no tenemos réplicas, y asumiendo una interacción a tres niveles nula, entonces el Cuadrado Medio de esta Interacción es insesgada de la varianza del error y luego se usa este término como el denominador de la estadística F, permitiendo así probar los efectos de tratamientos.

La tabla 22 muestra los resultados al usar este diseño, concluyéndose que no hay diferencias significativas entre tratamientos e interacciones de segundo orden. El Cuadrado Medio del denominador de la estadística F se corresponde con el Cuadrado Medio indicado por (\*). Nuevamente el mayor nivel de F corresponde a la interacción Alimento-Especie.

Tabla 22. Análisis de varianza, CASO II.

Fuente de Variación	SS	DF	MS	F
WITHIN+RESIDUAL ( $F_{ijk}$ )	46996.44	392	119.89	
ALIMENTO	196.00	1	196.00	3.89
ESPECIE	449.44	1	449.44	8.92
FOSFORO	453.69	1	453.69	9.00
ALIMENTO POR ESPECIE	519.84	1	519.84	10.31
ALIMENTO POR FOSFORO	79.21	1	79.21	1.57
ESPECIE POR FOSFORO	123.21	1	123.21	2.44
ALIMENTO POR ESPECIE POR FOSFORO	50.41	1	* 50.41	
(Modelo)	1871.80	7	267.40	5.30
(Total)	48868.24	399	122.48	

La interpretación del **CASO 2** puede ser una buena alternativa para analizar este modelo sin réplicas, frecuente en experimentación animal por el alto costo de los ensayos.

Por cierto, cada vez que es posible, la replicación sigue siendo una mejor alternativa. Es también evidente, que frente a esta situación lo aconsejable será usar alimentos de bajo nivel de fósforo.

Para corregir el efecto de la diferencia en el peso inicial de las dos especies, en la tabla 23 se presenta la tasa de aumento de peso expresada como el exponente diario de estos.

Tabla 23. Efectos del nivel de fósforo, forma de procesamiento del alimento y raza de salmones, sobre la tasa diaria exponencial de aumento de peso.

Alto P	Bajo P	Extr.	Pelet.	coho	Salar
0,70	0,74	0,72	0,72	0,77	0,67

Se observa que los cohos, al haber partido de un peso inferior y lograr aumentos similares, tuvieron una tasa de crecimiento 26% mayor. Al introducir esta transformación, desaparece el efecto del tipo de alimento y se acentúa la ventaja de aquellos de bajo fósforo.

### 3.2 Efectos sobre la eficiencia de conversión.

De la tabla que sigue, puede apreciarse que los alimentos de bajo contenido de fósforo tuvieron menor eficiencia de conversión en peso vivo que los de alto contenido.

Tabla 24. Efectos del nivel de fósforo, forma de procesamiento del alimento y especie de salmón sobre el comportamiento productivo.

	Coho				Salar			
	Extruído		Peletizado		Extruído		Peletizado	
	Alto P	Bajo P	Alto P	Bajo P	Alto P	Bajo P	Alto P	Bajo P
Cons.alim.balsa período, kg	383	480	357	504	397	462	385	463
F. de C. (alim/inc.)	2,47	3,10	2,22	3,25	2,47	2,43	2,35	2,87
Mortal.período	31	74	21	80	17	73	17	54

La mortalidad fue muy baja en todos los tratamientos.

A su vez, los Salar fueron mejores convertidores y los alimentos extruídos fueron mas eficaces, como lo muestra la tabla 25.

Tabla 25. Efectos del nivel de fósforo, forma de procesamiento del alimento y especie de salmones, sobre el factor de conversión de alimento en peso vivo

Alto P	Bajo P	Extr.	Pelet.	coho	Salar
2,38	2,91	2,62	2,67	2,76	2,53

### 3.4 Efectos sobre la digestibilidad.

Como se aprecia en la tabla siguiente, los alimentos con adecuado contenido de fósforo tienen también buena digestibilidad, ya que el único alimento con menor digestibilidad es el peletizado de alto contenido de fósforo.

Tabla 26. Digestibilidad (%) de los alimentos empleados en el ensayo de crecimiento.

	Alto P	Bajo P
Extruído	84.9 <sup>a</sup>	86.0 <sup>a</sup>
Peletizado	77.8 <sup>b</sup>	84.4 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Distinta letra significa diferencia estadística al  $p < .01$

### 3.5 Efectos sobre la liberación de fósforo al medio.

Según las eficiencias de conversión antes indicadas, puede hacerse el siguiente cálculo teórico; asumiendo que con un contenido en el alimento de 0,7%, la excreción de este es cercana a cero (pues coincide con los requerimientos de fósforo calculados para salmones), puede restarse este valor del fósforo excretado con los dos tipos de alimentos, valores que aparecen en la 5ª columna.

Tabla 27. Alimento necesario y aporte de fósforo por tonelada de salmón producido.

	Alim.,Kg	Cont.P, %	Aporte P, kg	Excret. kg
alto P	2.380	1,87	44,506	24,136
bajo P	2.910	1,03	29,973	9,603
segun req.	2.910	0,70	20,370	0

Un alimento de bajo fósforo permite reducir en un tercio la cantidad de fósforo aportado al medio y a un 40% la cantidad de fósforo excretado en las fecas.

Las cifras de excreción indicadas en la última columna concuerdan bien con los 16 kg por tonelada de salmón producido, estimados por Doris Soto y colaboradores en su "Estudio del Impacto ambiental de las actividades productivas y de servicio sobre el lago Llanquihue". Usando la estimación también de ellos, de una producción anual de 2.000 toneladas de smolts en dicho lago, el empleo de alimentos de menor contenido de fósforo, permitiría disminuir su excreción en 12,8 toneladas de fósforo al año.

#### 4. Normativas internacionales de regulación de fósforo en acuicultura

La revisión de la normativa internacional que regula las actividades de acuicultura en relación a su aporte de fósforo arrojó los siguientes resultados:

##### AUSTRIA

El acta de aguas de Austria (1959) fue ampliada por una ley suplementaria en 1990 (BGB1. Nr 252/1990), la que "... reorganiza la protección y restauración de aguas en orden a proteger la función ecológica de ellas".

Las pisciculturas existentes deben cumplir con los estándares que la legislación estableció, en un plazo de 10 años (desde 1990). Además, el uso de los nuevos centros de cultivo está limitado no sólo en cantidad y calidad, sino que también en tiempo, requiriendo solicitudes de prórroga cada cierto tiempo (períodos variables, mayores a 10 años).

El fósforo es regulado sólo en el efluente, no debiendo sobrepasarse los 2 mg/l; una evaluación de 12 centros productores de truchas en Austria dio un rango de 0,03 a 0,13 mg/l.

El control se realiza con muestras de 24 horas, cinco veces al año para control interno y cuatro veces al año para control externo.

##### BELGICA

En este país, la legislación medioambiental está principalmente desarrollada en la provincia, Flamenca.

En 1992 sin embargo, se estableció una regulación que incorpora todas las directivas de la Comunidad Europea. La legislación se basa en impuestos, que cobra la Compañía Ambiental de Flamenca a aquellas personas/instituciones según la cantidad de nitrógeno o fósforo que liberen en el agua que descargan.

Obviamente, resulta económicamente favorable disminuir lo más posible la emisión de todos los elementos contaminantes, especialmente el fósforo, ya que se disminuye así el impuesto anual que el productor debe pagar. La responsabilidad de los análisis es de la FEC, sin embargo se presume que se facultará en el futuro a los piscicultores para contratar laboratorios autorizados que realicen los análisis.

## DINAMARCA

Los Consejos de los 14 condados de Dinamarca son la agencias encargadas para administrar el sistema de licencias de todas las actividades de acuicultura. Las reglas son las mismas en todos los condados, pero los permisos para nuevas actividades se dan basados en estimados de la sustentabilidad de cada tipo de ambiente, es decir, involucra estudios previos de cada caso.

En Dinamarca, tanto los alimentos para mar como los de agua dulce deben cumplir con los siguientes requerimientos de calidad:

Energía Bruta	mín	5,6 Mcal/Kg mat. seca
Digestibilidad	mín	70% de la energía
N	máx	8,0%
<b>P</b>	<b>máx</b>	<b>1,0%</b>
F.C.	máx	1,1% en alimento de agua dulce.
F.C.	máx	1,4% en alimento de agua de mar.

Además, para las pisciculturas se controla el efluente, evaluando el incremento con respecto al agua afluente. Estos son los incrementos permitidos (en mg/l):

BOD	1,0
Solidos Susp.	3,0
<b>P</b>	<b>0,05</b>
N-NH3	0,4
N	0,6

Es opinión generalizada que estas medidas tienden a negar futuras nuevas autorizaciones para acuicultura, limitando fuertemente el crecimiento de la acuicultura. Normalmente se califica la legislación de este país como una de las más estrictas en el tema.

## ALEMANIA

En este país, desde 1988; la "Law on Water" restringió las sustancias consideradas "peligrosas". La regulación de la descarga de fósforo está contemplada en dos situaciones diferentes:

### 1.- Plantas con sistemas de recirculación:

COD = 150 g/l  
BOD = 110  
P = 2  
N = 110

### 2.- Plantas con flujo continuo de agua (se controla la diferencia del parámetro entre el afluente y el efluente)

COD = 2500 g/l  
BOD = 1000  
P = 40  
N = 500

## IRLANDA

El Acta de Gobierno Local 1977 ("Contaminación de aguas") cubre el otorgamiento de las licencias del efluente de descarga del proyecto. Como estos permisos son vistos por autoridades locales - consejos de condados, corporaciones o comisionados - las condiciones aplicadas varían ampliamente dependiendo de circunstancias locales.

En general, cubren tonelajes máximos, mediciones del flujo del río, máximos de sustracción de agua y parámetros de descarga de efluentes.

Una licencia típica especificará que la composición del efluente de descarga debe cumplir con los siguientes parámetros:

a) Diferencia de pH; no debe exceder 0,5 unidades pH.

- b) Oxígeno disuelto;            mín    6 mg/l
- c) NH3                            máx    0,02 mg/l
- NH4                            máx    0,5 mg/l
- d) P total                        máx    0,3 mg/l
- PO4                            máx    0,2 mg/l

e) BOD; no exceder una carga de 3,0 Kg/h

El productor está obligado a cubrir los gastos de muestreo y análisis, los que pueden ser hechos por un laboratorio aprobado por la autoridad local y debe remitir los resultados con frecuencias que varían de uno a tres meses (en el caso del fósforo; P total, 1 mes; PO4, 3 meses)

Se pone énfasis en que los productos considerados como más riesgosos no son la materia orgánica o nutrientes, sino que los productos químicos utilizados en acuicultura.

**NORUEGA**

a) Licencia

Para establecer y/o extender un centro de cultivo se necesita obtener licencias de varias autoridades. La principal es el *Acta de Cultivo de Peces*, con la cual la autoridad pesquera limita el tamaño y número de centros en un área determinada. La autoridad pesquera de cada condado puede otorgar una licencia sólo después que la autoridad ambiental local ha otorgado una licencia de acuerdo al *Acta de Control de Contaminación* (principal cuerpo legal ambiental noruego) y la autoridad veterinaria ha otorgado su licencia de acuerdo al *Acta de Enfermedades de Peces*.

Asimismo, es responsabilidad del productor demostrar, a través de un "Estudio de Impacto Ambiental" que su centro no causará efectos contaminantes graves. Uno de los factores más importantes para la expansión de la industria salmoneera noruega es la elección de nuevos sitios adecuados. Los siguientes son los principales criterios que la autoridad nacional delineó para la selección de nuevos sitios para salmonicultura:

- Expansión de acuicultura sólo en áreas marinas con buen intercambio de agua y sin problemas o tendencia a eutroficación, hipoxia y acumulación de sedimentos bajo los sistemas de cultivo.
- No está permitida la expansión de la acuicultura en cuerpos de agua dulce.
- Está prohibido el cultivo de peces en localidades contiguas a ríos con poblaciones de salmón silvestre.

En el futuro, la mayoría de la responsabilidad será delegada desde la autoridad ambiental a la autoridad pesquera y a la misma industria acuícola. La autoridad ambiental establecerá metas a cumplirse, pero la elección de soluciones técnicas para alcanzar dichos estándares residirá en el propio productor. Por lo tanto, se espera que en el futuro las licencias, la supervisión de la industria y las actividades de monitoreo, serán responsabilidad de la autoridad pesquera en cada condado.

#### b) Sistema Regulatorio

Las regulaciones para los efluentes y las descargas en general están principalmente delineadas en el *Acta de Control de Contaminación*. A continuación se presentan las regulaciones al Cultivo de Peces vigentes a partir de 1-1-93:

\* FC:           menor a 1,2 kg mat. seca/kg. pez producido (agua de mar)  
                   menor a 1,1       "                               " (agua dulce)

\* Restos de alimento y fecas que contengan medicamentos deben ser colectados.

\* Se debe disponer adecuadamente de los peces muertos, los que deben ser extraídos diariamente durante el verano, o día por medio en invierno.

\* Se debe crear y mantener en cada empresa, un "sistema de control interno".

\* Se permite una densidad máxima de cultivo de 25 kg/m<sup>3</sup>

En relación a controlar la industria a través de índices relacionados con el alimento o densidad, actualmente se estima que a corto plazo se tenderá a controlar parámetros determinados en las descargas, promoviendo así que cada productor encuentre sus propias soluciones técnicas que le permitan alcanzar una buena producción con un mínimo de contaminación.

## SUECIA

### Descripción del Sistema de Licencias

Las licencias se basan en permisos dados por la autoridad local (centros de 0,5 a 10 tons/año) o por autoridades a nivel de condado (centros mayores a 10 tons/año). Ellos son asesorados por la Agencia Sueca de Protección Ambiental (SEPA).

Las licencias pueden ser dadas por un período determinado después del cual se debe hacer una evaluación de lo realizado.

La licencia para un centro de cultivo está siempre dada junto a un permiso de producción y descarga (nutrientes). Ejemplos:

- Carga máxima de P y/o N al año
- Producción neta máxima
- Consumo máximo de alimento en un año
- Especificación mínima para el alimento utilizado. Ej:

**Menos 1% Fósforo (mat. seca)**

Menos 8% Nitrógeno (mat. seca)

Energía bruta: más de 17 MJ/Kg mat seca.

## ESCOCIA

El otorgamiento de Licencias y Regulación de las Operaciones de Cultivo de Peces considera los siguientes aspectos principales:

- Regulación de ubicación del centro
- Evaluación de impacto ambiental
- Registro en la Oficina Escocesa del Depto. de Agricultura y Pesquerías.
- Control sobre la descarga del efluente:

## 1. Agua Dulce

### 1.1. Pisciculturas

Los "River Purification Authorities" (RPA) controlan los siguientes parámetros de los efluentes: BOD<sub>5</sub>, Sólidos suspendidos, Oxígeno Disuelto, N-NH<sub>4</sub>, Volumen, pH, Conductividad, Potencial Redox, **P soluble**, Cloro libre, Turbidez.

### 1.2. Balsas-Jaula

Los "Objetivos de Calidad Ambiental" (EQO) están comúnmente basados en la clasificación de la OECD (1992) para niveles de fósforo total, variando según el RPA local.

Algunos RPAs determinan estándares específicos de P total para la columna de agua, los cuales no deben ser excedidos con el fin de mantener la oligotrofia natural del loch en cuestión.

El nivel de producción que es adecuado para los diferentes lochs es usualmente estimado usando modelos matemáticos de equilibrio de masas, los cuales evalúan el impacto de las descargas de P de las jaulas sobre las concentraciones de P de la columna de agua. Con respecto al EQO para el loch, éste es usado para determinar la **carga de fósforo permitible** descargada de las jaulas al loch. Asumiendo una descarga anual desde las jaulas de 10 kg P/Ton pez producido, es posible calcular el nivel de producción sustentable que no implicará un deterioro evidente en la calidad de agua.

La mayoría de los RPA establece este nivel de producción como criterio de restricción.

Algunos RPA sin embargo, incorporan el impacto que las dietas de bajo P y las mejoras en el FCR pueden tener sobre las descargas de P. Por ello, establecen una descarga de P "permitible" como el criterio controlador. Esto puede llevar al productor a incrementar sus niveles de producción mejorando el manejo y usando dietas de bajo P. Esto requiere, por ejemplo, envíos periódicos de muestras del alimento utilizado para análisis de P.

Los parámetros analizados en estos centros de balsas-jaula en agua dulce, varían entre los distintos RPAs (Tabla 28).

Tabla 28. Parámetros exigidos por RPAs en cultivos de agua dulce, en Escocia.

Parámetros	RPA	Clyde	Forth	Highland	Shetland	Tay	Solway	W.Isles
Fósforo Total							X	X
Oxígeno Disuelto								X
Niveles de Stock (Biomasa)	X			X	X		X	
Cantidad de Alimento				X			X	
Volumen de jaulas			X					
Clorofila					X			
Antibióticos					X	X		
Flora/Fauna	X	X			X	X		
Aceites y Grasas						X		

Además, todas las RPAs mencionadas controlan el uso de productos químicos como Verde Malaquita, Formaldehído, Chloramin T, Antibióticos, Cobre, Fenoles.

El monitoreo es hecho ya sea por los RPAs, o por laboratorios autorizados (en este último caso, financiados por el productor), cubriendo los parámetros ya mencionados en cada situación.

Consideraciones generales respecto a las **Normativas internacionales de regulación de fósforo en acuicultura.**

Es importante destacar el caso de Escocia, ya que esta región del Reino Unido cuenta con numerosos cuerpos de agua dulce ("lochs") donde se practica la producción de smolts, de similar forma que en Chile, y obviamente existe un vivo interés en preservar el equilibrio ecológico de estos ecosistemas.

Se puede observar que en varios países, hay una tendencia de traspasar la responsabilidad de solucionar la problemática medioambiental desde los organismos reguladores generales a las autoridades sectoriales y especialmente a los mismos productores. Se pueden asignar "cuotas" a cada ente usuario (no solo acuicultores; cada cuerpo de agua tiene múltiples usuarios y cada

uno de ellos es una fuente contaminante). Este tipo de regulación estimula por ejemplo, en el caso de los acuicultores, a usar alimentos de bajo contenido de fósforo para maximizar la producción de peces y no sobrepasar la emisión permitida. La misma situación se produce si se limita la cantidad de materia orgánica que pudo liberarse, ya que se estimulará a usar alimentos de alta digestibilidad y a optimizar las técnicas de suministro.

Obviamente, para que regulaciones de esta naturaleza sean efectivas, se requiere que todas las actividades económicas usuarias de los cuerpos de agua (industrias, agricultura, silvicultura, ciudades, turismo) sean reguladas de la misma manera, sino cualquier limitación a la acuicultura sería inútil. Por otro lado, se requiere de una efectiva capacidad de fiscalización por parte de organismos reguladores.

## 7. CONCLUSIONES

- Durante el periodo de estudio, se observó que el aporte de fósforo de las pisciculturas es rápidamente diluído a concentraciones similares a la estación control, independientemente del caudal del efluente. Tampoco se observó una acumulación sostenida de fósforo particulado en los sedimentos.
- En los lagos estudiados no se detectó un efecto inmediato del aporte de fósforo proveniente del alimento extruído y/o peletizado para salmones. Esto estaría asociado con una capacidad amortiguadora (tampón) del sistema hídrico estudiado, fundamentalmente en la fase sedimentaria.
- La concentración de fósforo total disuelto encontrada en el lago Llanquihue, bajo las condiciones metodológicas descritas, fué de 7,34  $\mu\text{g/l}$ . En el caso de los lagos Natri y Huillinco las concentraciones promedio encontradas en las estaciones muestreadas fueron más altas, alcanzando 16,7 y 10,4  $\mu\text{g/l}$  respectivamente.
- En los valores encontrados en las estaciones muestreadas se encontró las siguientes correlaciones positivas:
  - ✓ Fósforo total y ortofosfato
  - ✓ Fósforo agua de superficie y agua de fondo
  - ✓ Fósforo total y fósforo sedimento
  - ✓ Oxígeno y ortofosfatoLa correlación negativa entre oxígeno y ortofosfato - la forma mas biodisponible de este elemento - está presumiblemente indicando el efecto de una alta actividad biológica a nivel de producción primaria.
- En Chile existen materias primas adecuadas para fabricar alimentos con contenidos de fósforo menores a los habitualmente usados, los que no afectan los rendimientos productivos de los cultivos, como se evidencia en el presente estudio
- No se encontró relación nutritiva inversa entre contenido de fósforo y digestibilidad, pudiéndose en consecuencia, fabricar alimentos de adecuado contenido de fósforo y buena digestibilidad.

## REFERENCIAS

- Ackefors H. & Enell, M.** "Discharge of nutrients from swedish fish farming to adjacent sea areas". *Ambio* (19) 1, pp. 28-35 (1990).
- Bergheim, A.; Silvesten, A.; Selmer-Olsen, A.** "Estimated pollution loading from Norwegian fish farms. 1ª investigations". *Aquaculture*, 28, pp. 207-226 (1982).
- Doremus, C. & L. Clesceri.** " Microbial metabolism in surface sediments and its role in the immobilizations of phosphorus in oligotrophic lake sediments". *Hidrobiol.* 91, pp. 261-268 (1982).
- Fundación Chile.** " Criterios para control de efluentes en las pisciculturas ". Departamento de Recursos Marinos Fundación Chile (1994).
- Goldman C. & A. Horne.** Limnology. De. McGraw-Hill Book Company.465 pp. ( 1983 )
- Hakanson, L. & M. Wallin.** "Use of econometric analysis to establish load diagram for nutrients in coastal areas". *Mar. Aquacul. Envir.* 22, pp 9-23 (1991).
- Hakanson, L.; Ervik, A.; Makinen, T.** " Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms ". Nordic Council Minister, Copenhagen, Dinamarca (1988).
- Hurlbert, S.H.** "Pseudoreplication and the design of ecological field experiments". *Ecological Monographs*, 54 (2): 187-211 (1984)
- Kelly, L.** "Dissolved reactive phosphorus release from sediments beneath a frehswater cage aquaculture development in west Scotland". *Hidrobiol.* 235, pp.569-572 (1992).

**Kyle, M.; McClintock, S.** "The availability of phosphorus in municipal wastewater sludge as a function of the phosphorus removal process and sludge treatment method". *Water Environ. Res.* (67) 4, pp. 182-189 (1995).

**McLaughlin, J. R.; Bryden, J.; Syers, J.** "Sorptions of inorganic phosphate by iron and aluminum containing components". *J. Soil Sci.*, 32, pp. 365-377 (1981).

**Neter, J; Wasserman, W & M. Kutner.** Applied Linear Statistical Models. Richard D. Irwin, INC. (1990).

**Wallin, M. & L. Hakanson.** "Nutrient loading models for estimating the environmental effects of marine fish farms". *Mar. Aquacul. Envir.* 22, pp. 39-55 (1991).

## **Fundación Chile**

### **Sede Central - Santiago**

Av. Parque Antonio Rabat Sur 6165

Fono 56 2 218 5211

Fax 56 2 218 6721

Casilla 773

Región Metropolitana

### **Sede Concepción**

Alfonso de Rivera 2556

Fono 56 41 480740

Fax 56 41 480086

VIII Región

### **Sede Puerto Montt**

Panamericana Sur 571

Fono 56 65 255588

Fax 56 65 257433

X Región

### **Sede Castro**

Sotomayor 576

Fono 56 65 632053

Fono Fax 56 65 632060

X Región