



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE  
SEDE PUERTO MONTT  
ESCUELA DE ACUICULTURA Y PESQUERÍAS**

**ABUNDANCIA Y BIOMASA FITOPLANCTÓNICA, Y SU RELACIÓN CON  
VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN BAHÍA ILQUE (41° S):  
VARIABILIDAD PRIMAVERA – VERANO.**

Tesis para optar al Título de Ingeniero en  
Acuicultura.

Profesor Patrocinante: Dr. José Luis Iriarte.  
Instituto de Acuicultura.

**LORETO LÓPEZ RIVERA  
PUERTO MONTT – CHILE**

**2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que todo quiero agradecer a mi Madre, tíos Eloisa y Alfredo, por el apoyo incondicional en todos mis proyectos, la confianza, el esfuerzo durante todos estos años y las enseñanzas que han hecho de mí la persona que soy hoy. Muchas gracias.

A mi pololo Oscar Barría por endulzar cada día de mí vida con su presencia, con sus gestos y sus palabras, por ser mí amigo y mí apoyo incondicional tanto profesional como personalmente. Estoy muy feliz de compartir este momento de mí vida junto a ti.

Al Dr. José Luis Iriarte, por sus enseñanzas, sus consejos, su apoyo durante todo este largo proceso y su capacidad de contagiar alegría a todos aquellas personas que lo rodean y hacer mucho más grato el trabajo. Gracias por hacerme reír, siga así, y nunca cambie.

Al Dr. Carlos Molinet junto a todo su equipo de trabajo, quienes siempre tuvieron la mejor disposición y gran paciencia para responder a mis preguntas e inquietudes durante los muestreos. Agradecer en forma personal a Carlos Molinet por su apoyo, su confianza, su disposición y por las enseñanzas durante mí formación como profesional. Es una gran persona y fue un placer haberlo conocido. Muchas Gracias.

A la MSc. Miriam Seguel por su buena disposición para ser parte de esta tesis. Muchas gracias.

A mis amigos de siempre Jaime y Gabriela, por su apoyo, su sinceridad y su cariño, estoy feliz de haber comenzado y terminar esta etapa de nuestras vidas juntos, los quiero mucho. A Alejandro Riedemann, por su ayuda en distintas etapas de ésta tesis. Muchas Gracias.

A la Sra. Carmen Cortés y a todo el personal que trabaja junto a ella en Cultivos Ilquemar, (Bahía Ilque, Puerto Montt) por su colaboración en ésta tesis.

## INDICE

### Págs.

Índice de Figuras.....	IV
1. Resumen.....	8
2. Abstract.....	10
3. Introducción.....	11
4. Hipótesis.....	14
5. Objetivo	
5.1. Objetivo general.....	14
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. Metodología	
6.1. Área de estudio.....	16
6.2. Recolección de muestras.....	17
6.3. Registro de temperatura y salinidad.....	18
6.4. Determinación de la biomasa fitoplanctónica.....	19
6.4.1. Extracción de la clorofila <i>a</i> .....	19
6.5. Determinación de Abundancia fitoplanctónica.....	20

6.6. Determinación de la profundidad de desaparición de la luz: Coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\prime}$ ).....	22
6.7. Nutrientes inorgánicos disueltos: Ortofosfato, nitrato y silicato.....	22
6.8. Análisis de datos.....	23
7. Resultados	
7.1. Dinámica estacional y vertical de temperatura y salinidad.....	24
7.2. Estratificación ( $P_s$ ) estacional.....	27
7.3. Dinámica estacional y vertical de la biomasa fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\prime}$ ).....	29
7.3.1. Relación entre la biomasa fitoplanctónica y la estratificación.....	32
7.3.2. Relación entre la biomasa fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz....	33
7.4. Dinámica estacional y vertical de la abundancia fitoplanctónica.....	34
7.4.1. Relación entre la abundancia y la biomasa fitoplanctónica.....	40
7.4.2. Relación entre la abundancia fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz.....	41
7.5. Dinámica estacional y vertical de los nutrientes inorgánicos.....	42
7.5.1. Relación entre nutrientes inorgánicos y temperatura.....	46
7.5.2. Relación entre nutrientes inorgánicos y salinidad.....	47

7.5.3. Relación entre nutrientes inorgánicos y la abundancia fitoplanctónica.....	48
8. Discusión.....	49
9. Conclusión.....	59
10. Bibliografía.....	61

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Págs.</b>
1. Área de estudio y localización de estaciones fijas muestreadas en Bahía Ilque, Puerto Montt.....	17
2. Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de la temperatura (°C, promedio $\pm$ 1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....	25
3. Perfiles de temperatura, salinidad y clorofila <i>a</i> (°C, psu y mg m <sup>-3</sup> , promedio $\pm$ 1 D.E.) durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....	25
4. Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de la salinidad (psu, promedio $\pm$ 1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....	26
5. Parámetro de estratificación (Ps, promedio + 1 D. E.) durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....	28
6. Dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la clorofila <i>a</i> (mg m <sup>-3</sup> , promedio + 1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....	30

7. Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de la clorofila *a* integrada ( $\text{mg m}^{-2}$ , promedio + 1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....30
8. Dinámica estacional (primavera – verano) del coeficiente de extinción de la luz ( $\text{m}^{-1}$ , promedio + 1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.....31
9. Relación entre la estratificación (Ps) y la clorofila *a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ) superficial (0 m), durante verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a las tres estaciones de muestreo.....32
10. Relación entre la clorofila *a* integrada ( $\text{mg m}^{-2}$ ) y el coeficiente de extinción de la luz ( $\text{m}^{-1}$ ), durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a las tres estaciones de muestreo.....33
11. Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de la abundancia fitoplanctónica ( $\text{cel l}^{-1}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....35
12. Dinámica estacional (primavera – verano) de la abundancia fitoplanctónica integrada ( $\text{cel m}^{-2}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....35
13. Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de los principales grupos de fitoplancton ( $\text{cel l}^{-1}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....37

<b>14.</b> Composición porcentual estacional (primavera) y vertical (capa fótica) de los principales géneros. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al porcentaje de la estación 3 (dentro área de cultivo).....	38
<b>15.</b> Composición porcentual estacional (verano) y vertical (capa fótica) de los principales géneros. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al porcentaje de la estación 3 (dentro área de cultivo).....	39
<b>16.</b> Relación entre la clorofila <i>a</i> ( $\text{mg m}^{-3}$ ) y la abundancia fitoplanctónica (diatomeas pennadas + diatomeas céntricas, $\text{cel l}^{-1}$ ), durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....	40
<b>17.</b> Relación entre la abundancia fitoplanctónica integrada ( $\text{cel m}^{-2}$ ) y el coeficiente de extinción de la luz ( $\text{m}^{-1}$ ), durante primavera. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....	41
<b>18.</b> Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) del ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ , $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....	42
<b>19.</b> Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) del nitrato ( $\text{NO}_3^+$ , $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....	43
<b>20.</b> Dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) del silicato ( $\text{SiO}_4^{4-}$ , $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).....	44

- 21.** Relación entre el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ,  $\mu\text{M}$ ) y el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\mu\text{M}$ ), durante primavera. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.....45
- 22.** Relación entre la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ,  $\mu\text{M}$ ), durante verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.....46
- 23.** Relación entre la salinidad (psu) y el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ,  $\mu\text{M}$ ), durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.....47
- 24.** Relación entre los nutrientes inorgánicos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{NO}_3^+$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\mu\text{M}$ ) y las diatomeas céntricas ( $\text{cel l}^{-1}$ ), durante primavera ( $p > 0.05$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.....48

## 1. RESUMEN

En la región sur-austral de Chile (41 - 55°S), las variaciones climáticas estacionales fuertes (ej., radiación solar, vientos y precipitaciones), imponen una influencia externa sobre las condiciones oceanográficas y por lo tanto sobre los ensambles fitoplanctónicos. El objetivo de este estudio fue determinar la dinámica temporal estacional (primavera - verano) y espacial vertical (capa fótica) del fitoplancton en relación a los parámetros oceanográficos, en un ambiente marino templado de la región sur-austral de Chile (41°S). Para ello se registró la temperatura y salinidad, se colectaron muestras de agua para el análisis de biomasa fitoplanctónica, abundancia fitoplanctónica y nutrientes inorgánicos (ortofosfato, nitrato y silicato) en una estación fija, con una frecuencia semanal, entre Septiembre 2007 y Marzo 2008 en Bahía Ilque, Puerto Montt.

Durante inicio de primavera, la columna de agua (primeros 15 m de profundidad) presentó una distribución térmica homogénea, en contraste a los meses de verano, período durante el cual, la columna de agua presentó una estratificación, con una capa superficial cálida. Simultáneamente, se observó una tendencia a la disminución de la salinidad en la capa superficial durante los meses de verano (27 - 33 psu, Septiembre - Diciembre y 25 - 28, psu Enero - Marzo), debido posiblemente al aporte superficial de agua dulce de ríos adyacentes. La biomasa y abundancia fitoplanctónica señalaron un máximo durante inicio de primavera ( $11 \text{ mg m}^{-3}$  y  $13 \cdot 10^7 \text{ cel l}^{-1}$ , respectivamente) y una tendencia a la disminución hacia los meses de verano ( $0.2 - 7 \text{ mg m}^{-3}$  y  $6.9 \cdot 10^3 - 7 \cdot 10^6 \text{ cel l}^{-1}$ ). Los nutrientes presentaron valores que fluctuaron entre 0.3 - 3  $\mu\text{M}$  para el ortofosfato, entre 0.9 - 19  $\mu\text{M}$  para el nitrato y < 0.1 - 43  $\mu\text{M}$  para el silicato. La dinámica de la biomasa y abundancia fitoplanctónica, tienden a estar asociada a la interacción entre la radiación solar, la estratificación de la columna de agua y a la disponibilidad de nutrientes.

***Palabras claves:*** Abundancia fitoplanctónica; biomasa fitoplanctónica; nutrientes; Bahía Ilque

## 2. ABSTRACT

In southern Chile (41 - 55°S), the strong seasonal climatic variations (e.g., solar radiation, wind and precipitations) impose an external influence on the oceanographical conditions and therefore on phytoplanktonic assemblages. The objective of this study was to determine the phytoplanktonic temporal seasonal (spring - summer) and vertical spatial (photic layer) dynamics in relation with the oceanographic parameters, in a temperate marine ambient of southern Chile (41°S). Water samples were collected to measure temperature, salinity, phytoplanktonic biomass, phytoplanktonic abundance and inorganic nutrients (phosphate, nitrate and silicate) at a fixed station, with a weekly frequency, from September 2007 to March 2008 in Ilque Bay, Puerto Montt.

During early spring, the water column (the first 15 m in depth) was thermally homogenized, whereas during the summer months the water column was stratified, with a warm surface layer due. Simultaneously, low salinity values were observed at the surface layer during the summer months (27 - 33 psu, September - December and 25 - 28 psu, January - March), possibly caused by the contribution of superficial fresh water coming from adjacent rivers. The phytoplanktonic biomass and abundance showed maximum records during early spring ( $11 \text{ mg m}^{-3}$  and  $13 \cdot 10^7 \text{ cell l}^{-1}$ , respectively) and the lowest during late fall and summer months ( $0.2 - 7 \text{ mg m}^{-3}$  and  $1.1 \cdot 10^4 - 7 \cdot 10^6 \text{ cell l}^{-1}$ ). The nutrients showed values that varied between  $0.3 - 3 \text{ } \mu\text{M}$  for phosphate,  $0.9 - 19 \text{ } \mu\text{M}$  for nitrate and  $< 0.1 - 43 \text{ } \mu\text{M}$  for silicate. The dynamic of the phytoplanktonic biomass and abundance tend to be associated with the interaction of the solar radiation, the water column stratification and to the nutrients availability.

**Keywords:** Phytoplanktonic abundance; phytoplanktonic biomass; nutrients; Ilque bay

### 3. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton se define como la fracción vegetal de la comunidad que vive suspendida en el agua (Reynolds, 1984) y está constituido por un conjunto de organismos microscópicos, que en general son transportados en forma pasiva por el movimiento de las masas de agua. En su mayoría corresponden a organismos fotosintéticos, unicelulares o formando cadenas y que se distribuyen ampliamente en aguas oceánicas, costeras, estuarinas y lacustres. El fitoplancton se concentra, principalmente en la parte superior de la columna de agua (zona fótica), donde se realiza el proceso de fotosíntesis en ecosistemas marinos (Ramírez, 2006). Al respecto, el fitoplancton forma la etapa inicial del proceso de producción de materia orgánica en el océano y corresponde a la base de las tramas tróficas pelágicas. Su importancia radica en que comprende la mayor porción de organismos productores primarios del océano y es la base energética para los niveles tróficos superiores. Así, desde el punto de vista trófico, las oscilaciones observadas a nivel de los productores primarios tienen efecto en todo el ecosistema marino, pudiendo ocasionar, cambios en la biomasa y productividad de los niveles tróficos superiores.

La dinámica de la comunidad microfitoplanctónica en regiones costeras de aguas frías, está dominada por el grupo de las diatomeas (Céntricas y Pennadas), características de las floraciones de primavera y, en segundo lugar, por los dinoflagelados y flagelados, los que dominan principalmente en meses de verano (Iriarte *et al.*, 2001). La ocurrencia casi permanente de procesos de surgencia de aguas frías y ricas en nutrientes, constituye en un alto crecimiento de las diatomeas, mientras que los dinoflagelados presentan una mayor ocurrencia durante el verano bajo condiciones de oligotrofia (Avaria, 1971; Alvial y Avaria, 1981). Por otra parte, el dominio de ciertas clases de tamaño del fitoplancton, tienen fuertes implicancias en la productividad de los sistemas donde la diversidad específica responde a la competencia por recursos y a regímenes de

perturbaciones abióticas (Reynolds *et al.*, 1993; Huisman *et al.*, 1999). La teoría predice que en una columna de agua turbulenta, ricas en nutrientes y sin limitación por luz, predomina el microfitoplancton ( $> 20 \mu\text{m}$ ) con altos valores de biomasa, mientras que en una columna de agua estratificada, oligotróficas y con limitación por luz, predominan las clases de tamaño del pico ( $< 2 \mu\text{m}$ ) y nanofitoplancton ( $2 - 20 \mu\text{m}$ ) con bajas biomásas (Kiorboe, 1993). Estos resultados señalan que, generalmente, cualquier incremento con el contenido de la clorofila total es debido a las células grandes (microfitoplancton), dentro de las cuales las diatomeas pueden ser dominantes (Odate y Maita, 1988).

Estudios realizados en la región austral de Chile ( $41 - 53^{\circ}\text{S}$ ), han reportado importantes resultados de aspectos de la oceanografía física (Pickard, 1973; Silva *et al.*, 1995), química (Ahumada, 1996), biológica relativos al fitoplancton (Vera *et al.*, 1996; Iriarte *et al.*, 1993, 2007; Pizarro *et al.*, 2000) y zooplancton (Antezana *et al.*, 1992). Específicamente, los estudios realizados con la cuantificación de biomasa fitoplanctónica en términos de clorofila *a*, y de producción primaria (como incorporación de carbono y liberación de oxígeno) en zonas australes (Pizarro *et al.*, 2002), han indicado la importancia de los factores reguladores, tales como los nutrientes inorgánicos disueltos y la luz, los que despliegan una alta variabilidad estacional en el sistema costero del sur de Chile. Así mismo, Ahumada *et al.* (1991) han señalado que la alta biomasa fitoplanctónica está relacionada con el enriquecimiento de nutrientes durante eventos de surgencia en la costa central de Chile. Koblentz-Mishke y Vedernikov (1977), señalan que el contenido de la clorofila en las células aumenta al disminuir la intensidad de la luz solar incidente y al aumentar la concentración de elementos biogénicos del medio; características típicas de la época invernal. En contraste, en verano el aumento de la temperatura superficial y la disminución del régimen de vientos, provoca una fuerte estratificación térmica, que limita la mezcla vertical y

por tanto la entrada de nutrientes a la capa fótica (Corredor, 1977). Los nutrientes tales como fosfato, nitrato y ácido silícico, y la presión ejercida por la herbivoría de organismos filtradores (Avaria *et al.*, 1999) son factores asociados a la distribución de la concentración de clorofila (Pizarro *et al.*, 2000) y abundancia del fitoplancton (Vera *et al.*, 1996). Resultados de estudios realizados en la región austral de Chile indican que es un área condicionada por fuertes gradientes de salinidad y temperatura, estas características de la columna de agua se presentan en los primeros 30 m de profundidad (Pickard, 1973; Pickard y Stanton, 1980; Pinochet y Salinas, 1996). Específicamente, el efecto del agua dulce sobre el sistema marino costero de la zona sur austral de Chile es una característica importante de esta extensa región (25 - 32 PSU) y que se diferencia de la zona oceánica adyacente (34 PSU) (Silva *et al.*, 1997; Dávila *et al.*, 2002; Acha *et al.*, 2004) y por lo tanto pudiera ser un factor importante en la dinámica y variabilidad del fitoplancton. El fitoplancton corresponde a la oferta alimentaría para organismos filtradores y puede influenciar el desarrollo larval en la naturaleza (Levin y Bridges, 1995), por este motivo, se hace necesario el monitoreo de parámetros oceanográficos, con el fin de establecer por ejemplo, la disponibilidad de alimento (fitoplancton) para que el cultivo de mitílidos, entre ellos *Mytilus chilensis* (chorito) y otras poblaciones de filtradores en ambientes marinos costeros sean sustentables.

#### **4. HIPÓTESIS**

Sobre la base de los antecedentes ya mencionados se plantea la siguiente hipótesis:

La biomasa y la abundancia fitoplanctónica son propiedades que están siendo moduladas por la dinámica estacional (primavera – verano) de variables climáticas (radiación solar) y oceanográficas (ej., nutrientes). La disponibilidad de luz y una estructura homogénea de la columna de agua, gatillan la proliferación fitoplanctónica durante primavera, mientras que durante el verano el aumento de la temperatura superficial provoca una fuerte estratificación térmica que limita la entrada de nutrientes a la capa fótica y por lo tanto la disminución de la biomasa y abundancia fitoplanctónica.

#### **5. OBJETIVOS**

##### **5.1. Objetivo general**

Determinar la dinámica temporal estacional (primavera – verano) y espacial vertical (capa fótica) del fitoplancton en relación a los parámetros oceanográficos, en un ambiente marino templado de la región sur - austral de Chile (41°S).

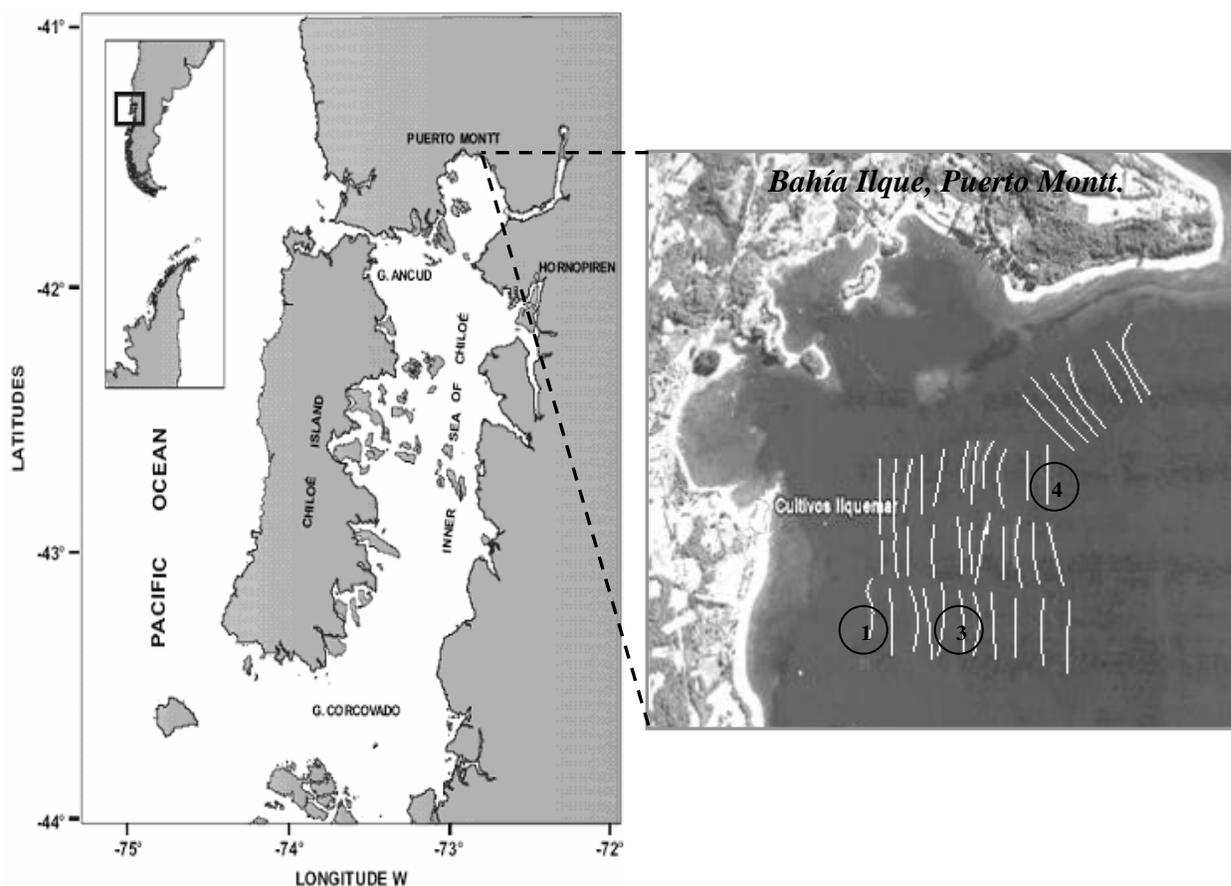
## 5.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la dinámica estacional (primavera – verano) y vertical (capa fótica) de las variables temperatura y salinidad.
- ✓ Determinar la dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la biomasa fitoplanctónica (medida como clorofila *a*) y el coeficiente de extinción de la luz ( $K'$ ).
- ✓ Determinar la dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la abundancia fitoplanctónica de los principales grupos de fitoplancton (dinoflagelados, diatomeas pennadas y diatomeas céntricas) y los géneros fitoplanctónicos.
- ✓ Establecer potenciales relaciones entre las variables oceanográficas, como variables moduladoras externas, del ensamble fitoplanctónico durante el periodo de primavera y verano.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Área de estudio

La región sur-austral de Chile (41 - 55°S) está ubicada en el Océano Pacífico Sur Oriental y su abrupta línea costera incluye una variedad de ambientes como bahías, fiordos, canales, estrechos y estuarios. El área de estudio se enfocó en Bahía Ilque (41°S, Puerto Montt) (Fig. 1), un ambiente marino templado semi-cerrado, que recibe agua dulce de las precipitaciones y de los flujos de los ríos desde el Fiordo Reloncaví durante los meses de invierno (Mayo – Agosto) y principios de primavera (Septiembre - Octubre) (Dávila *et al.*, 2002). Las salinidades en el sistema marino costero de la zona sur austral de Chile varía entre los 25 - 32 psu (Silva *et al.*, 1997). Los vientos son relativamente fuertes durante todo el año (del norte durante el invierno y hacia el sur en primavera) (Strub *et al.*, 1998). La baja radiación solar y la temperatura atmosférica son características de la estación de invierno (Mayo - Agosto), aumentando ambas variables a fines de primavera y verano (Noviembre - Febrero) (Iriarte *et al.*, 2007). Bahía Ilque, posee un 30% del área para uso de acuicultura (salmonicultura y mitilicultura). Para responder el objetivo general, entre el 14 de Septiembre de 2007 y el 28 de Marzo de 2008 (meses de primavera y verano), se llevaron a cabo muestreos con una frecuencia semanal en tres estaciones fijas, ubicadas en el área utilizada para el cultivo de mitílicos (Cultivos Ilquemar). Estas estaciones fijas corresponden a: Estación 1 (Eje interior área de cultivo), Estación 3 (Dentro área de cultivo) y Estación 4 (Eje exterior área de cultivo).



**Figura 1.** Área de estudio y localización de estaciones fijas muestreadas en Bahía Ilque, Puerto Montt.

## **6.2. Recolección de muestras**

En cada estación y profundidad estándar (0, 2, 10 y 12 - 15 m) se colectaron muestras de agua de mar de 1.5 lt con una botella oceanográfica transparente, con capacidad de 5 L. Las muestras de agua de mar fueron almacenadas en envases oscurecidos y rotulados para cada estación y profundidad, y posteriormente llevadas al Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Universidad Austral de Chile Puerto Montt para los respectivos análisis.

### ***6.3. Registro de temperatura y salinidad***

A cada profundidad se registró la temperatura y salinidad con un sensor YSI (modelo # 30-10FT). Estas variables permitieron caracterizar la columna de agua de las diferentes estaciones muestreadas y con ello establecer los períodos de estratificación térmica y salina. Para determinar la estratificación o mezcla en la columna de agua, se calculó el parámetro de estratificación ( $P_s$ ) según Prandle (1985) desde los 0 m hasta la profundidad máxima de muestreo para cada estación:

$$P_s = \delta S / \langle s \rangle$$

Donde:

$\delta S$ : Diferencia entre salinidad de la superficie menos la salinidad del fondo.

$\langle s \rangle$ : promedio de salinidad vertical.

$P_s < 0.15$  = Estuario Bien Mezclado,

$P_s$  entre 0.15 y 0.32 = Estuario Mezclado y

$P_s > 0.32$  = Estuario Estratificado.

## **6.4. Determinación de Biomasa fitoplanctónica**

### **6.4.1. Extracción de la Clorofila *a***

Se obtuvo una submuestra de 200 ml de agua de mar (tres réplicas, que corresponden a cada estación de muestreo) para análisis de biomasa fitoplanctónica (medida como clorofila *a*) mediante la metodología fluorométrica (Parsons *et al.*, 1984). La submuestra fue homogenizada y filtrada, a través de un sistema de filtrado, en triplicado, mediante filtros de fibra de vidrio de 0.7  $\mu\text{m}$  (Whatman, GF/F). Los filtros fueron envueltos en papel aluminio, etiquetados y dejados a una temperatura de - 20°C hasta el momento de la extracción de la clorofila. Para la extracción, cada filtro fue colocado en un tubo de ensayo, previamente oscurecido con papel aluminio, debidamente sellado, etiquetado, llenado con 10 ml de metanol y refrigerados (- 4°C) por un período de 12 a 24 horas. Posterior al período de extracción, los tubos fueron centrifugados (HETTCHI) a 8000 rpm durante 5 minutos. El sobrenadante fue leído en un fluorómetro (TURNER DESIGNS), previamente calibrado con metanol puro. De la lectura anterior se obtuvo el valor de fluorescencia sin acidificar (FSUa) que corresponde a la clorofila total; y una lectura del valor de fluorescencia con acidificación (FSUd) para determinar la cantidad de feopigmentos; para ello se agregaron de 2 a 3 gotitas de HCL 2N. Para determinar las concentraciones de clorofila *a* ( $\text{mg m}^{-3}$ ), las lecturas realizadas anteriormente fueron llevadas a la siguiente fórmula:

$$\text{Clorofila } a = (0,00027126*(\text{FSUa}-\text{FSUd})*v)/ V$$

Donde:

**v:** Volumen de metanol (10 ml).

**V:** Volumen filtrado (200 ml).

**FSUa:** Unidades fluorométricas relativas antes del ácido (HCl 2N).

**FSUd:** Unidades fluorométricas relativas después del ácido (HCl 2N).

Para obtener el valor integrado de la clorofila *a* (mg m<sup>-2</sup>) se utilizó el método trapezoidal representado en la siguiente fórmula:

$$\text{Clorofila } a = \Sigma ((X_1 + X_2)/2 * Z)$$

Donde:

**X<sub>1</sub>:** Clorofila *a* en la profundidad 1.

**X<sub>2</sub>:** Clorofila *a* en la Profundidad 2.

**Z:** (profundidad 2 - profundidad 1).

### ***6.5. Determinación de Abundancia fitoplanctónica***

Para análisis cuantitativo de fitoplancton se obtuvo una submuestra de 50 ml, colocada en una botella de vidrio oscuro y fijada con 10 gotas de lugol. Para el recuento de células de fitoplancton se utilizó una alícuota de 10 ml previamente homogenizada. La alícuota fue colocada en una cámara de sedimentación por 16 horas y posteriormente se procedió a contabilizar un área rectangular de la cámara, bajo un microscopio de luz de contraste de fase (Wild Heerbrugg M40), con ocular de 20X. Las células de fitoplancton fueron clasificadas en especies de dinoflagelados,

diatomeas céntricas y diatomeas pennadas. Para determinar la abundancia fitoplanctónica ( $\text{cel l}^{-1}$ ) se utilizaron las siguientes formulas:

$$\mathbf{VCO} = \pi * (0,26)^2 * 0,0188$$

Donde:

**VCO:** Volumen campo ocular (ml).

$$\mathbf{V} = 17 * \mathbf{N}^{\circ} \text{ transectas} * \mathbf{VCO}$$

Donde:

**V:** Volumen barrido (ml).

$$\mathbf{AB} = ((\mathbf{N}^{\circ} \text{ células cuantificadas} / \mathbf{V}) * 1000)$$

Donde:

**AB:** Abundancia fitoplanctónica ( $\text{cel l}^{-1}$ ).

Para obtener el valor integrado de la Abundancia fitoplanctónica ( $\text{cel m}^{-2}$ ) se utilizó el método trapezoidal que esta representado en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Abundancia\ fitoplanctónica} = \Sigma ((\mathbf{X}_1 + \mathbf{X}_2) / 2 * \mathbf{Z})$$

Donde:

**X<sub>1</sub>:** Abundancia fitoplanctónica en la profundidad 1.

**X<sub>2</sub>:** Abundancia fitoplanctónica en la Profundidad 2.

**Z:** (profundidad 2 - profundidad 1).

#### ***6.6. Determinación de la profundidad de desaparición de la luz: Coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\wedge}$ )***

Para determinar la disponibilidad de luz en la columna de agua, se utilizó en cada una de las estaciones de muestreo un Disco Secchi, registrando la profundidad de desaparición del disco. Las mediciones fueron realizadas desde el lado sotavento del bote, con el sol detrás del muestreador. Los datos obtenidos con el Disco Secchi, se utilizaron para determinar el Coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\wedge}$ ), a través de la fórmula propuesta por Atkins y Poole (1929):

$$K^{\wedge} = 1.7/p$$

Donde:

$K^{\wedge}$ : Coeficiente de extinción ( $m^{-1}$ ).

**1.7:** constante (1% de la radiación solar incidente).

**p:** profundidad de desaparición del disco.

#### ***6.7. Nutrientes inorgánicos disueltos: Ortofosfato, nitrato y silicato***

Para el análisis de nutrientes inorgánicos disueltos (ortofosfato, nitrato y silicato) se obtuvo una submuestra de 800 ml de agua de mar, la que fue filtrada utilizando filtros de fibra de vidrio de  $0.7 \mu m$  (Whatman GF/F). El agua filtrada fue colocada en envases plásticos, que fueron rotulados

(fecha y profundidad correspondiente) y refrigerados a una temperatura de - 20°C hasta el momento de su análisis. Para el análisis de nutrientes se utilizaron dos profundidades (0 y 15 m) de la estación 3 (una o dos veces al mes). El Laboratorio de Química del Centro I-mar de la Universidad de Los Lagos Puerto Montt, se encargó del análisis de nutrientes inorgánicos, los que fueron analizados mediante la metodología propuesta por Parsons *et al.* (1984).

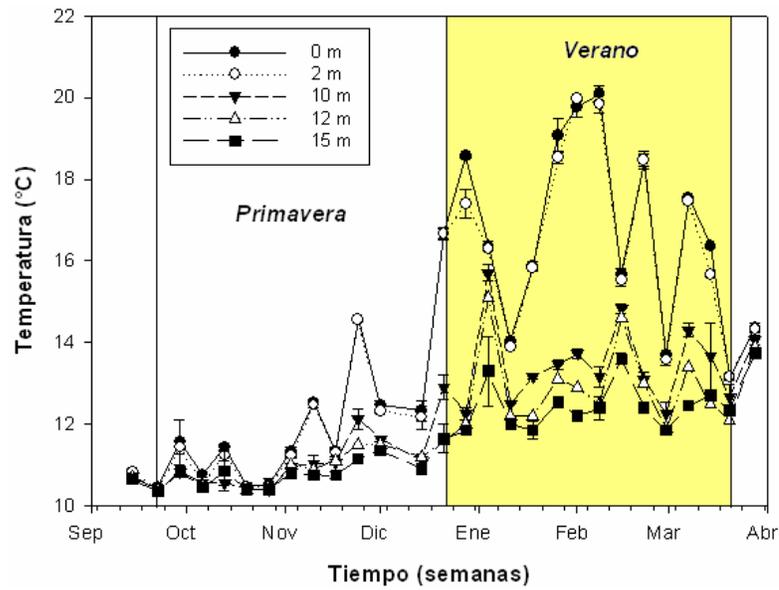
### **6.8. Análisis de datos**

Para el análisis de datos se aplicó Anova de una y dos vías, en el caso de no cumplirse los supuestos estadísticos se aplicó un Anova no-paramétrico (Kruskal-Wallis). Estos análisis se realizaron mediante el software Statistica 6.0 para diferentes variables de respuesta (clorofila *a*, coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\prime}$ ), abundancia fitoplanctónica y nutrientes). Para identificar tendencias y relaciones entre variables se realizó un test estadístico no-paramétrico Correlación de Pearsons (Zar, 1984), mediante el software SigmaPlot 9.0 para diferentes variables (temperatura, salinidad, clorofila *a*, coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\prime}$ ), abundancia fitoplanctónica, grupos de fitoplancton y nutrientes).

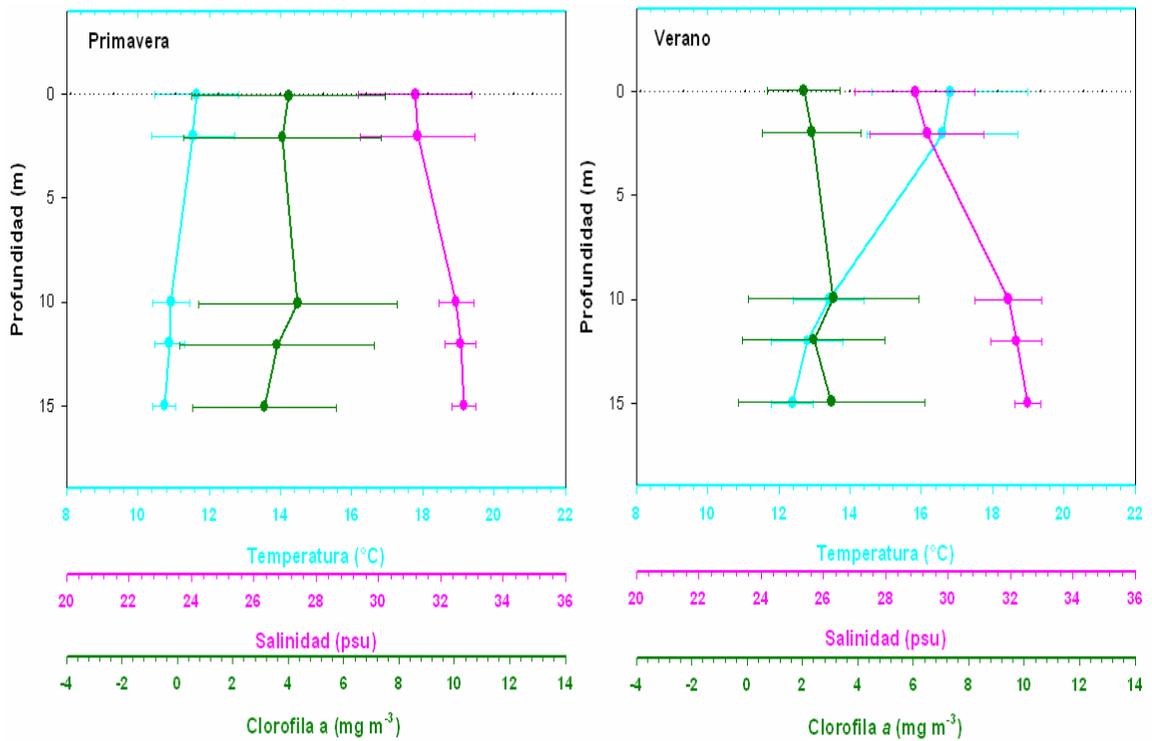
## 7. RESULTADOS

### *7.1. Dinámica estacional y vertical de temperatura y salinidad*

La temperatura superficial señaló un fuerte gradiente temporal durante primavera y verano variando entre los 11°C (Septiembre) y 20°C (Febrero) (Fig. 2). En la columna de agua, durante primavera (Septiembre e inicio de Noviembre) se observó una distribución vertical homogénea de la temperatura, mientras que a finales de primavera y verano la columna de agua se presentó estratificada. Específicamente se observó un fuerte gradiente vertical con una capa superficial (0 - 2 m) con valores entre los 11°C y 20°C ( $\Delta$  9°C), separada de una capa profunda (10 - 15 m) con menores temperaturas y más homogénea, con valores entre los 11°C y 14°C ( $\Delta$  3°C). La temperatura promedio en los primeros 15 m de profundidad durante primavera, presentó un valor de 11°C, mientras que durante el verano la capa superficial (0 - 2 m) presentó un valor de 17°C y la capa profunda (10 - 15 m) un valor de 13°C (Fig. 3).

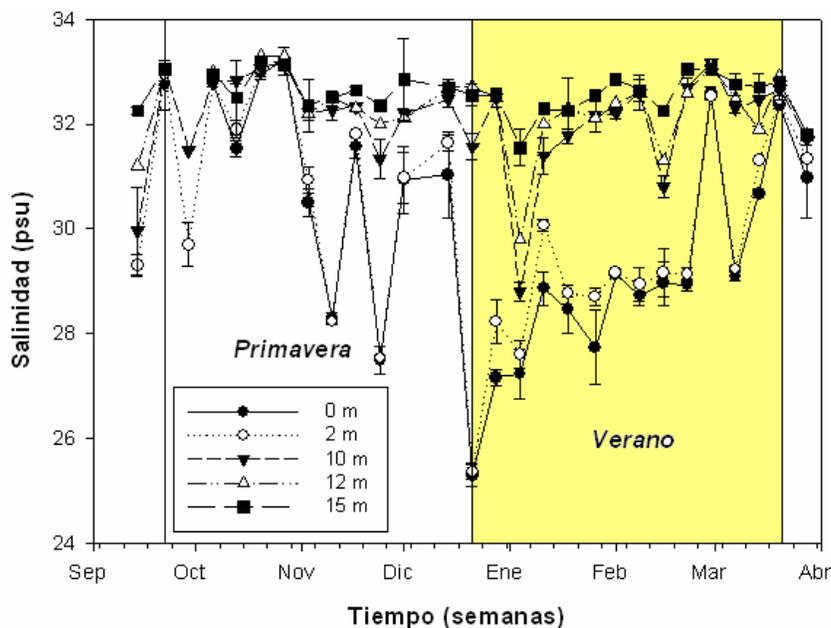


**Figura 2.** Dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la temperatura (°C, promedio  $\pm$  1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.



**Figura 3.** Perfiles de temperatura, salinidad y clorofila *a* (°C, psu y  $\text{mg m}^{-3}$ , promedio  $\pm$  1 D.E.) durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.

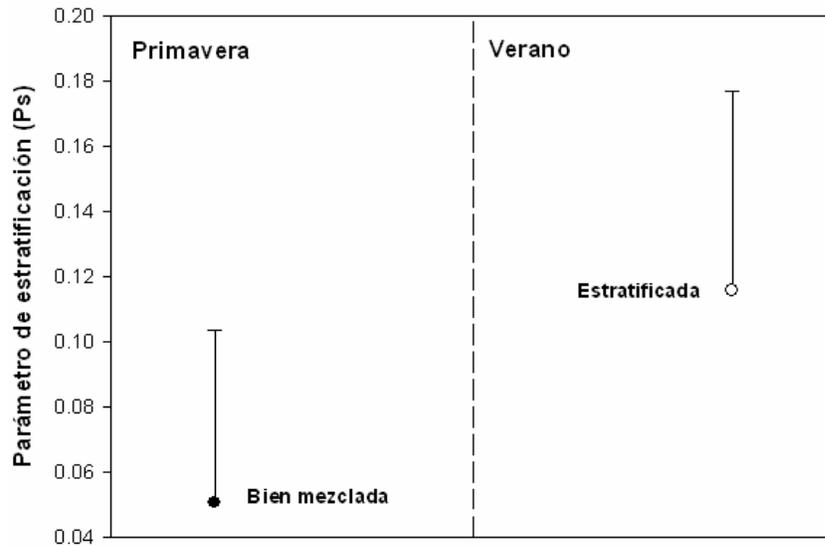
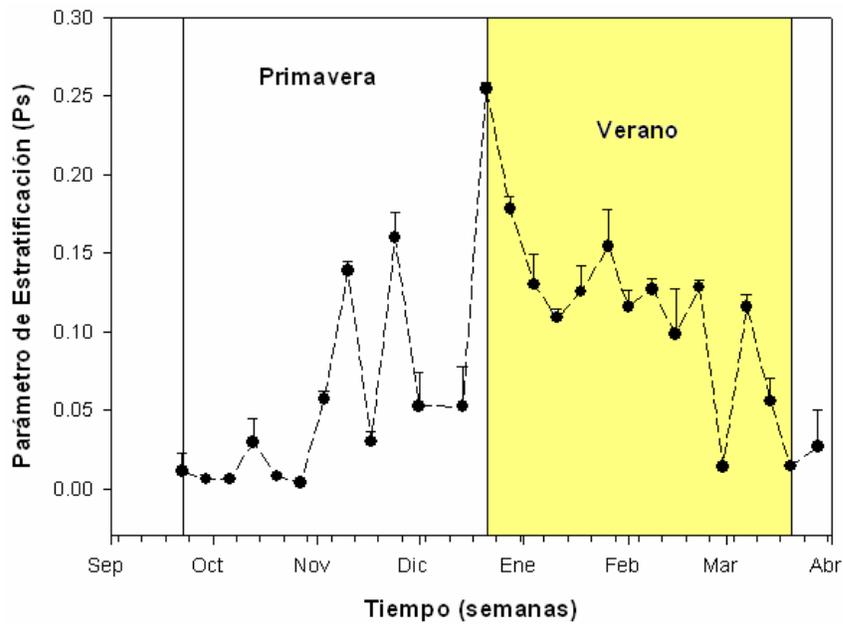
La salinidad durante primavera y verano, varió desde una condición oceánica salina de 33 psu (Septiembre) a una condición estuarina de 25 psu (Diciembre) (Fig. 4). Durante primavera (Septiembre y fines de Octubre), se observó una distribución vertical homogénea de la salinidad, mientras que durante mediados de primavera y verano, la columna de agua presentó un gradiente vertical de la salinidad. La capa superficial (0 - 2 m) señaló valores entre 31 - 25 psu ( $\Delta$  6 psu), y separada de una capa profunda (10 - 15 m) con una mayor salinidad y más homogénea entre los 33 - 29 psu ( $\Delta$  4 psu). La salinidad promedio en la capa superficial (0 - 2 m) presentó un valor de 31 psu durante primavera y de 29 psu durante el verano, mientras que la capa profunda (10 - 15 m) presentó un valor homogéneo de 33 psu durante primavera y verano (Fig. 3).



**Figura 4.** Dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la salinidad (psu, promedio  $\pm$  1 D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.

## **7.2. Estratificación (Ps)**

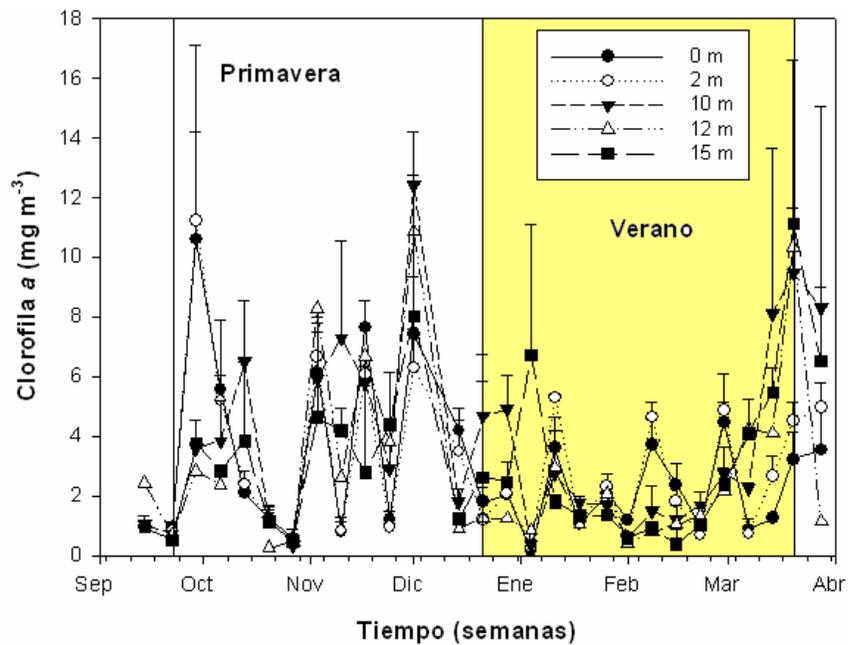
Para el parámetro de estratificación (Ps) se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera - verano) ( $H = 14.312$ ,  $p < 0.001$ ). El parámetro de estratificación durante primavera y verano varió entre 0.00 (Septiembre) y 0.25 (Diciembre) (Fig. 5). La dinámica del parámetro de estratificación señaló un mínimo con un valor de 0.00 durante inicios de primavera. A mediados de primavera e inicios de verano, se observó un aumento del parámetro de estratificación con valores entre 0.15 – 0.25. Mientras que a mediados de verano, el parámetro de estratificación presentó una tendencia a la disminución con valores entre 0.03 – 0.14. El parámetro de estratificación durante primavera presentó un valor promedio de 0.05 y durante verano un valor promedio de 0.12, indicando que la columna de agua durante primavera estuvo mezclada en los primeros 15 m y durante el verano se observó una estratificación.



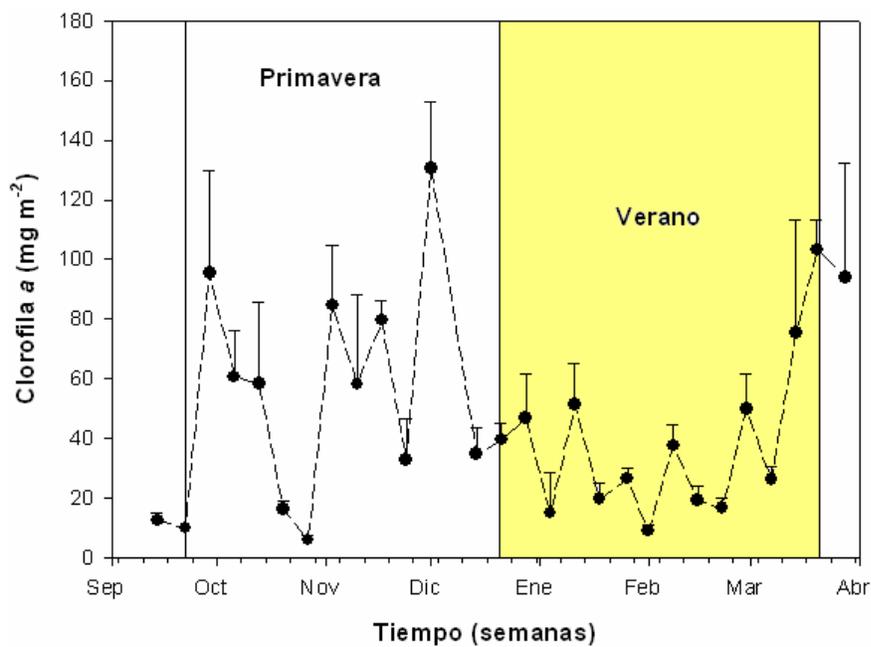
**Figura 5.** Parámetro de estratificación (Ps, promedio + 1 D.E.) durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.

### ***7.3. Dinámica estacional y vertical de la biomasa fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\lambda}$ )***

Para la clorofila *a* no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 0.6217$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que si se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 6.3708$ ,  $p < 0.05$ ). La dinámica de la biomasa fitoplanctónica señaló un máximo de clorofila *a* durante inicio de primavera con un valor alto de  $11 \text{ mg m}^{-3}$  entre 0 y 2 m. Posteriormente, a fines de primavera se observó un aumento subsuperficial de la clorofila *a* con un valor de  $13 \text{ mg m}^{-3}$  a los 10 m. En general, se observó una tendencia a la disminución hacia los meses de verano con valores entre los  $0.2 - 7 \text{ mg m}^{-3}$ . A finales de verano, se observó un rápido aumento de la clorofila *a*, con un valor de  $11 \text{ mg m}^{-3}$  entre 12 y 15 m (Fig. 6). La clorofila *a* promedio en la capa superficial (0 - 2 m) presentó un valor de  $3 \text{ mg m}^{-3}$  durante primavera y de  $2 \text{ mg m}^{-3}$  durante el verano, mientras que la capa profunda (10 - 15 m) presentó un valor entre  $3 - 4 \text{ mg m}^{-3}$  durante primavera y entre  $2 - 3 \text{ mg m}^{-3}$  verano (Fig. 3). Para la clorofila *a* integrada no se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 1.9504$ ,  $p > 0.05$ ). La tendencia de la dinámica de la biomasa integrada fitoplanctónica señaló varios eventos con altos valores de clorofila *a* ( $90 - 130 \text{ mg m}^{-2}$ ). En los meses de verano se observó una tendencia a la disminución con valores entre los  $10 - 60 \text{ mg m}^{-2}$ , con un aumento a fines de verano ( $110 \text{ mg m}^{-2}$ ) (Fig. 7).

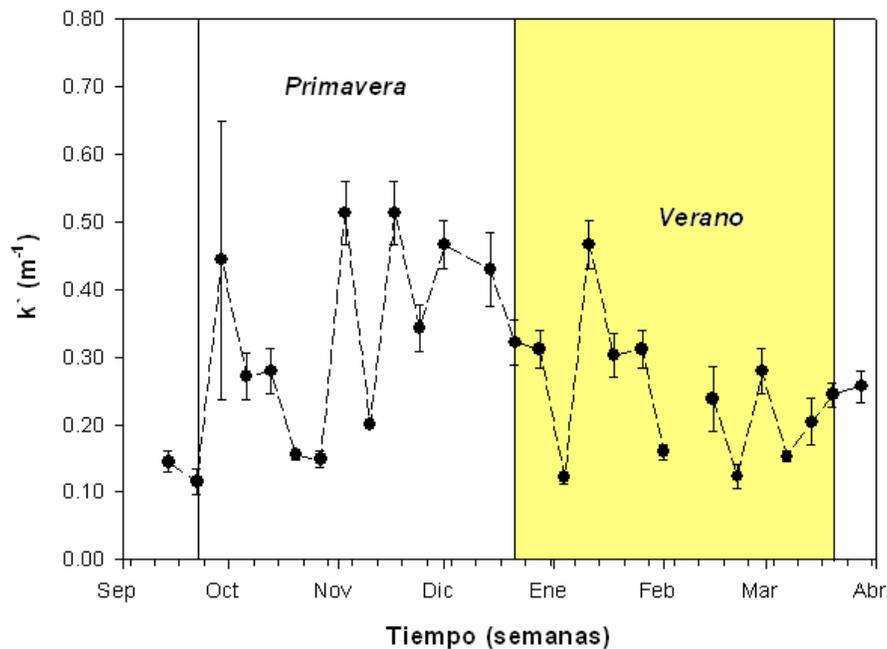


**Figura 6.** Dinámica estacional (primavera - verano) y vertical (capa fótica) de la clorofila  $a$  ( $\text{mg m}^{-3}$ , promedio + 1 D.E.). Bahía Ilique, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.



**Figura 7.** Dinámica estacional (primavera- verano) de la clorofila  $a$  integrada ( $\text{mg m}^{-2}$ , promedio + 1 D.E.). Bahía Ilique, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.

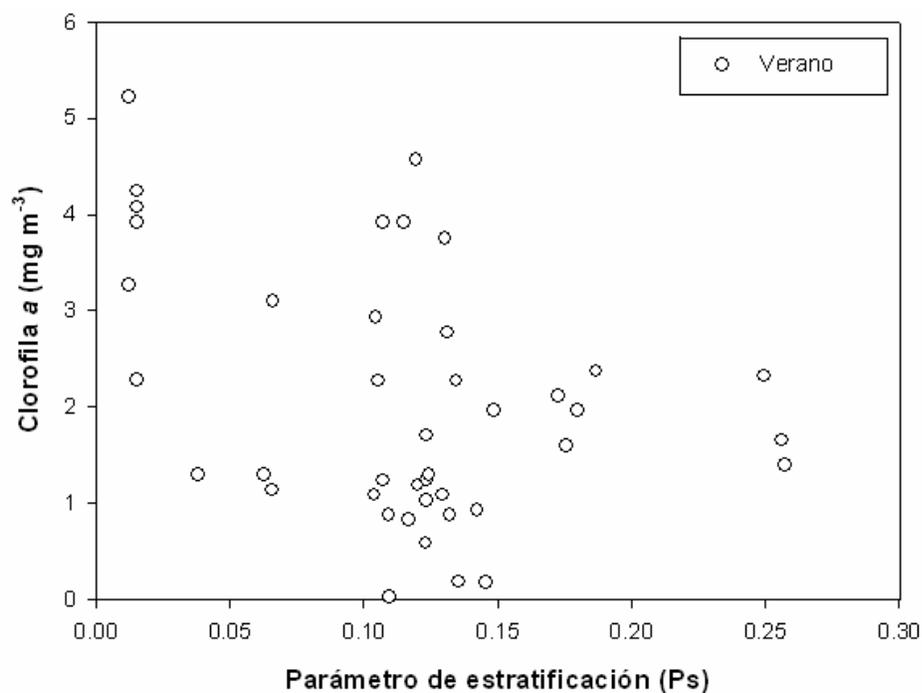
Para el coeficiente de extinción de la luz ( $K^{\wedge}$ ) no se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera - verano) ( $F = 3.9492$ ,  $p > 0.05$ ). El coeficiente de extinción de la luz durante primavera y verano varió entre  $0.11 \text{ m}^{-1}$  (Septiembre) y  $0.51 \text{ m}^{-1}$  (Noviembre) (Fig. 8). La dinámica del coeficiente de extinción de la luz durante el inicio de primavera presentó un valor de  $0.44 \text{ m}^{-1}$ . A mediados de primavera se observó un nuevo aumento del coeficiente de extinción de la luz con un valor de  $0.51 \text{ m}^{-1}$ . En general se observó una tendencia a la disminución hacia los meses de verano con valores que oscilaron entre los  $0.12 \text{ m}^{-1}$  y  $0.46 \text{ m}^{-1}$ .



**Figura 8.** Dinámica estacional (primavera- verano) del coeficiente de extinción de la luz ( $\text{m}^{-1}$ , promedio  $\pm 1$  D.E.). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al promedio de las tres estaciones de muestreo.

### 7.3.1. Relación entre la biomasa fitoplanctónica y la estratificación

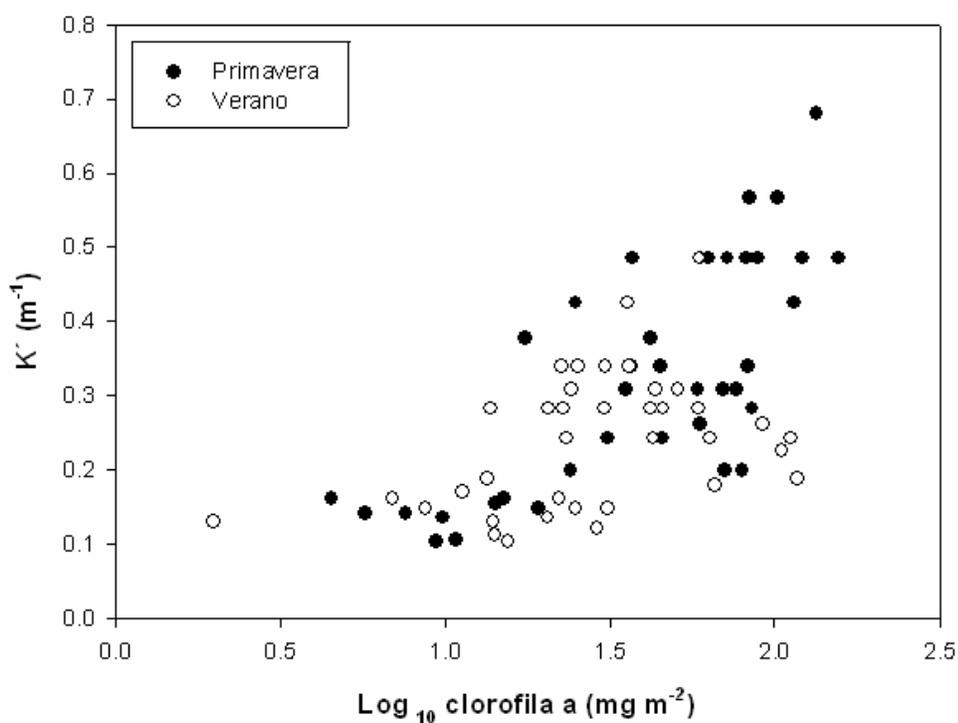
La correlación entre la clorofila *a* superficial (0 m) y el parámetro de estratificación durante primavera ( $r = -0.151$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa, mientras que durante el verano ( $r = -0.381$ ,  $p < 0.05$ ) la correlación entre ambas variables es significativa, indicando que a medida que aumenta la estratificación disminuye la biomasa fitoplanctónica superficial (Fig. 9).



**Figura 9.** Relación entre la estratificación (Ps) y la clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) superficial (0 m), durante verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a las tres estaciones de muestreo.

### 7.3.2. Relación entre la biomasa fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz

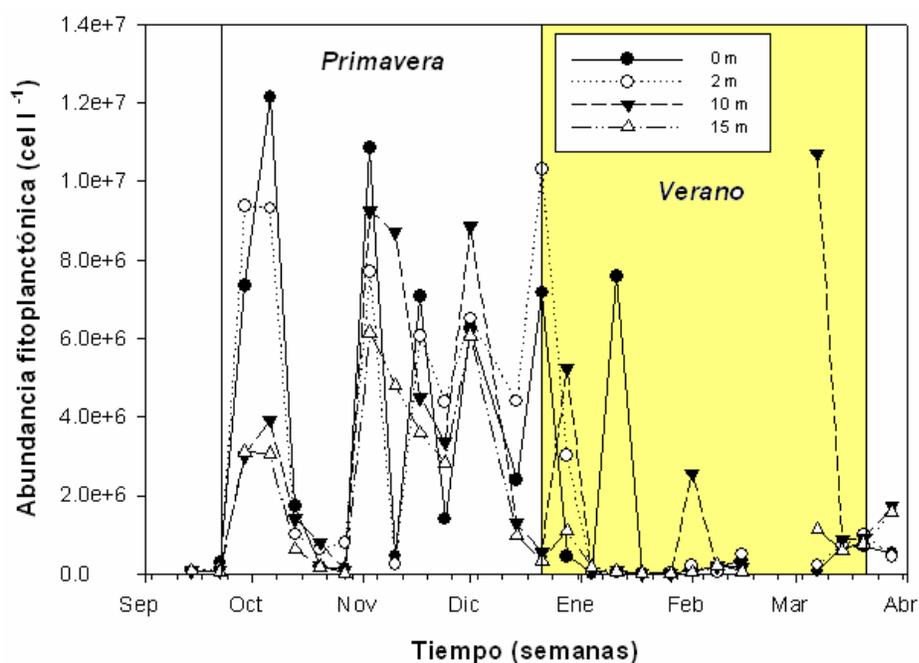
La correlación entre la clorofila *a* integrada y el coeficiente de extinción de la luz durante primavera ( $r = 0.740$ ,  $p < 0.001$ ) y verano ( $r = 0.427$ ,  $p < 0.05$ ) fue significativa, indicando que a medida que aumenta la biomasa fitoplanctónica en los primeros 15 m aumenta el coeficiente de extinción de la luz (Fig. 10).



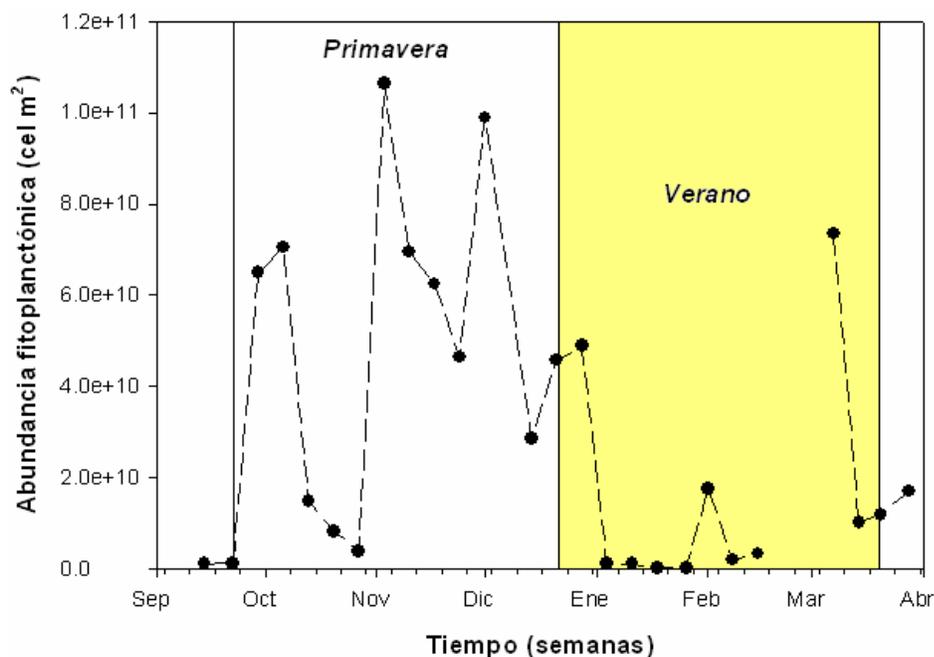
**Figura 10.** Relación entre la clorofila *a* integrada (mg m<sup>-2</sup>) y el coeficiente de extinción de la luz (m<sup>-1</sup>), durante primavera y verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a las tres estaciones de muestreo.

#### ***7.4. Dinámica estacional y vertical de la abundancia fitoplanctónica***

Para la abundancia fitoplanctónica no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 0.4875$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 27.4440$ ,  $p < 0.05$ ). La dinámica de la abundancia fitoplanctónica señaló un máximo durante inicio de primavera con un valor de  $1.3 \cdot 10^7$  cel  $\Gamma^{-1}$  a 0 m. Hacia los meses de verano se observó una tendencia a la disminución con valores entre  $6.9 \cdot 10^3 - 7 \cdot 10^6$  cel  $\Gamma^{-1}$ . A fines del verano, se observó un aumento de la abundancia fitoplanctónica, con un valor de  $1.1 \cdot 10^7$  cel  $\Gamma^{-1}$  a los 10 m (Fig. 11). Para la abundancia fitoplanctónica integrada se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 5.5992$ ,  $p < 0.05$ ). La dinámica de la abundancia fitoplanctónica integrada señaló un máximo durante primavera de  $1.1 \cdot 10^{11}$  cel  $m^{-2}$ . Hacia los meses de verano, se observó una tendencia a la disminución con valores entre  $2 \cdot 10^8 - 2 \cdot 10^{10}$  cel  $m^{-2}$ . A fines de verano, se presentó un aumento de la abundancia fitoplanctónica integrada con un valor de  $7.3 \cdot 10^{10}$  cel  $m^{-2}$  (Fig. 12).

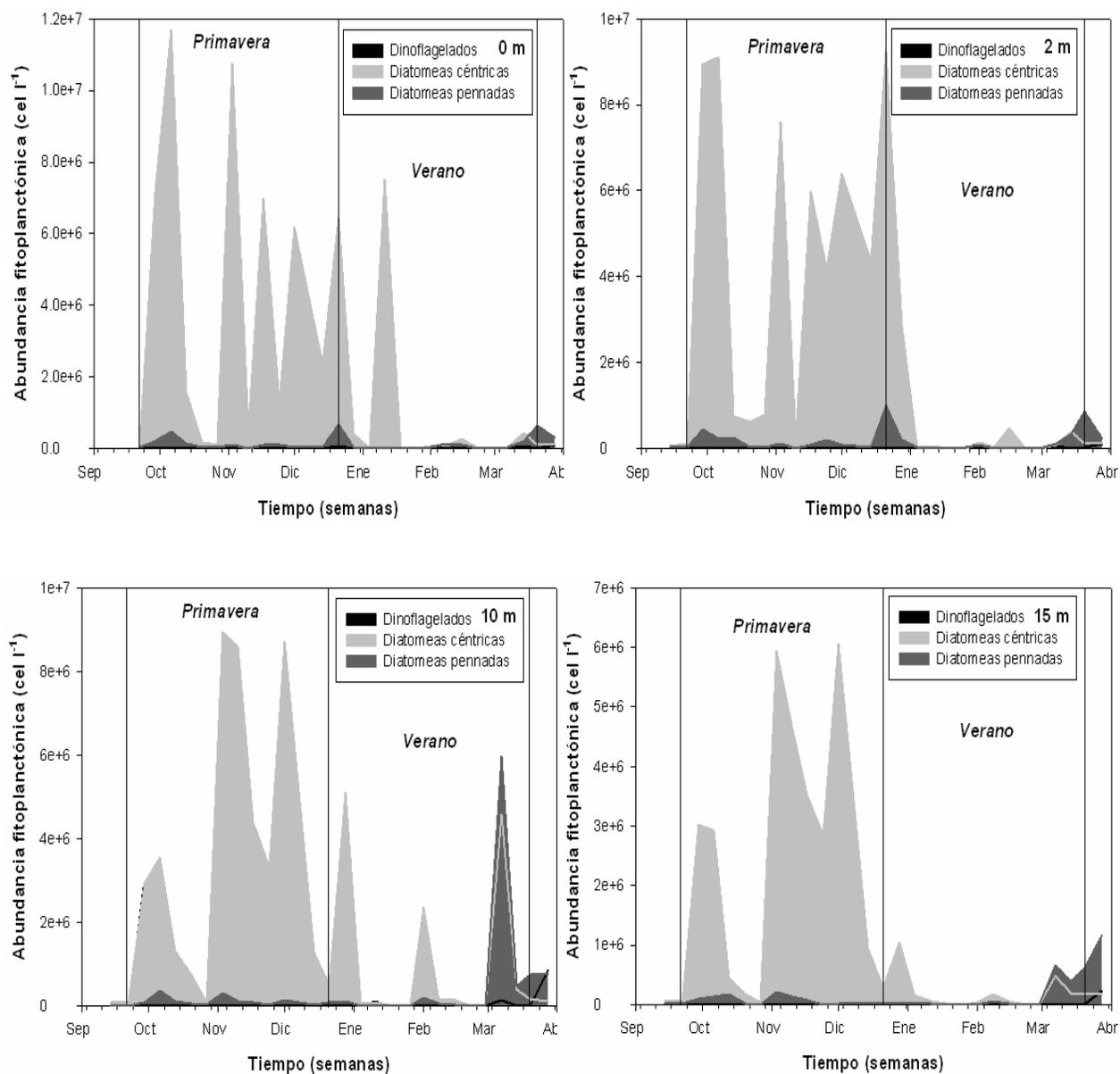


**Figura 11.** Dinámica estacional (primavera- verano) y vertical (capa fótica) de la abundancia fitoplanctónica (cel l<sup>-1</sup>). Bahía Ilique, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).



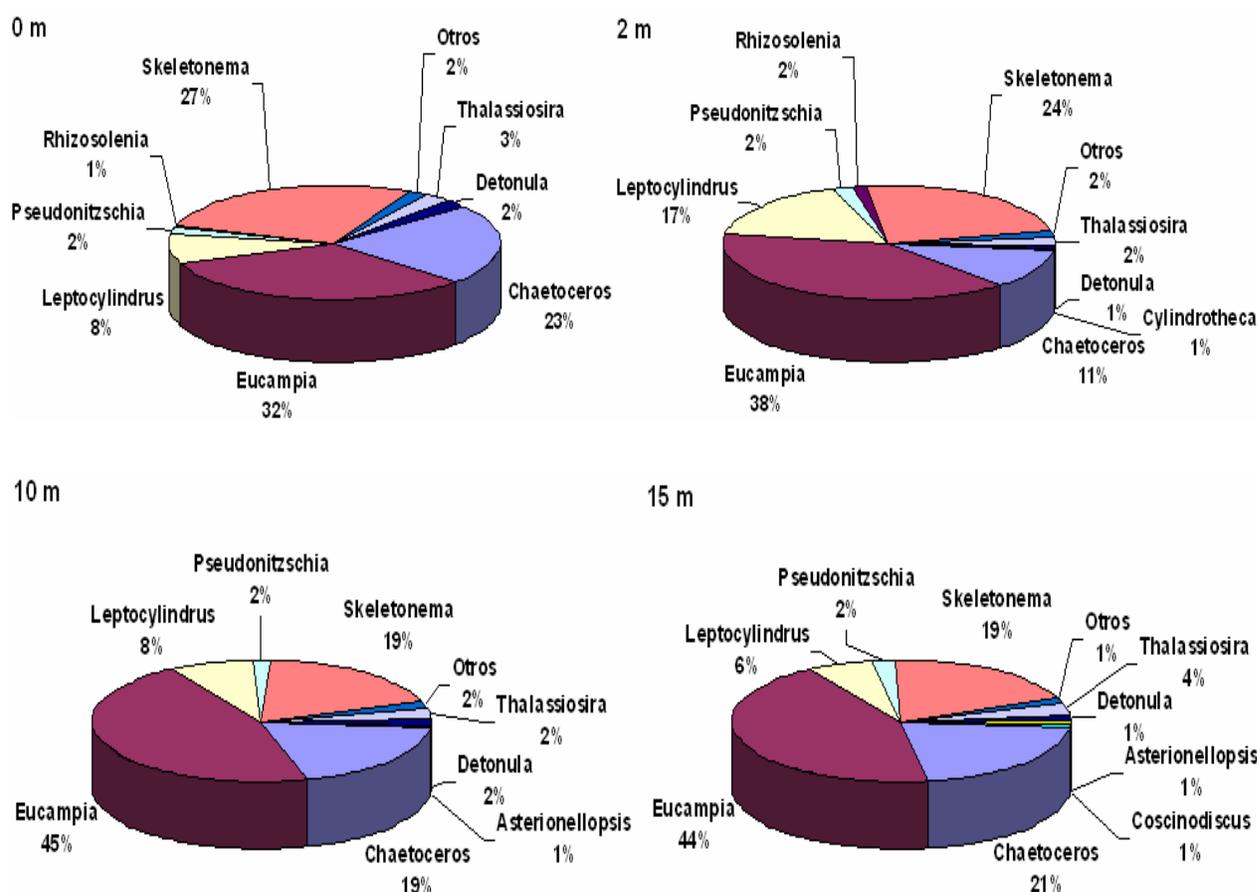
**Figura 12.** Dinámica estacional (primavera- verano) de la abundancia fitoplanctónica integrada (cel m<sup>-2</sup>). Bahía Ilique, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

La dinámica de la abundancia fitoplanctónica de los principales grupos de ensambles de fitoplancton (diatomeas céntricas, diatomeas pennadas y dinoflagelados), señaló un máximo durante inicio de primavera para la abundancia de las diatomeas céntricas con un valores entre de  $9 \cdot 10^6$  -  $1.1 \cdot 10^7$  cel  $l^{-1}$  a los 0 y 2 m (Fig. 13). A mediados de primavera se observó una disminución de la abundancia de las diatomeas céntricas a los 0 y 2 m con valores entre  $6 \cdot 10^6$  -  $7 \cdot 10^6$  cel  $l^{-1}$  y un aumento subsuperficial de ellas a los 10 m con un valor de  $9 \cdot 10^6$  cel  $l^{-1}$ . En general se observó una tendencia a la disminución hacia los meses de verano con valores entre  $2.5 \cdot 10^3$  -  $7 \cdot 10^6$  cel  $l^{-1}$ . A finales de verano, se observó un aumento de la abundancia de las diatomeas céntricas y pennadas con un valor de  $5$  -  $6 \cdot 10^6$  cel  $l^{-1}$  a los 10 m. Para las diatomeas céntricas no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 0.3846$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera - verano) ( $F = 39.1877$ ,  $p < 0.05$ ). Para las diatomeas pennadas no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $H = 2.1833$ ,  $p > 0.05$ ) ni a la estacionalidad ( $F = 0.1851$ ,  $p > 0.05$ ). En el caso de los dinoflagelados durante finales de primavera señalaron un máximo de  $3 \cdot 10^4$  cel  $l^{-1}$  a los 0 m. Durante el verano se observó un aumento de la abundancia de los dinoflagelados con un valor de  $1.4 \cdot 10^5$  cel  $l^{-1}$  a los 10 m. Para los dinoflagelados no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 2.2739$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera - verano) ( $F = 18.1832$ ,  $p < 0.05$ ).



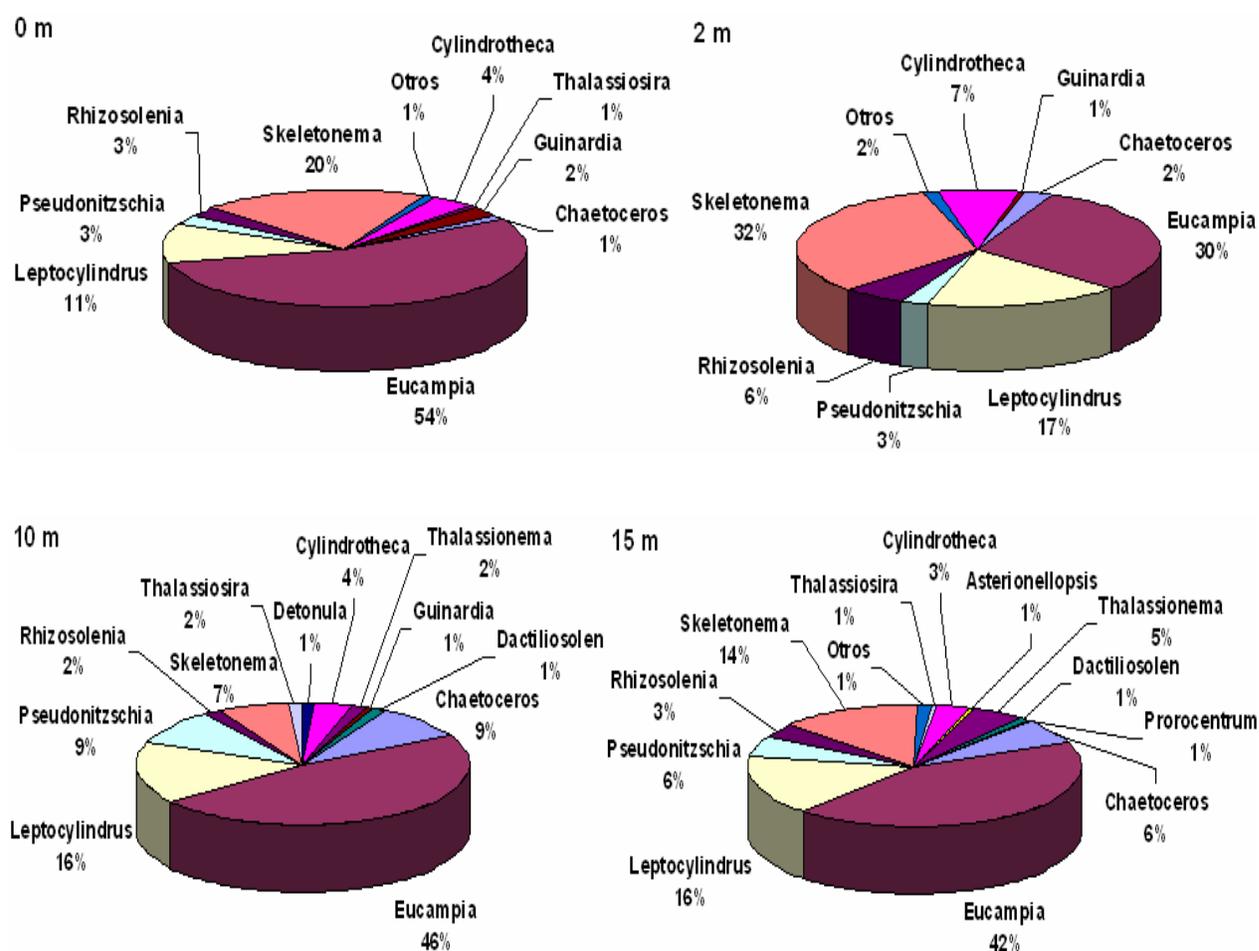
**Figura 13.** Dinámica estacional (primavera- verano) y vertical (capa fótica) de los principales grupos de fitoplancton (cel l<sup>-1</sup>). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

Durante primavera la composición fitoplanctónica estuvo dominada por taxa de diatomeas, entre las cuales destacan los géneros *Eucampia* sp, *Skeletonema* sp y *Chaetoceros* sp (Fig. 14). En los primeros 15 m de profundidad, el fitoplancton estuvo dominado principalmente por el género *Eucampia* sp fluctuando entre los 32 - 45%. Los más bajos porcentajes para *Eucampia* sp se presentaron entre 0 - 2 m con un 32 - 38% respectivamente, mientras que los más altos porcentajes se presentaron entre los 10 - 15 m con un 44 - 45%, respectivamente.



**Figura 14.** Composición porcentual estacional (primavera) y vertical (capa fótica) de los principales géneros. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al porcentaje de la estación 3 (dentro área de cultivo).

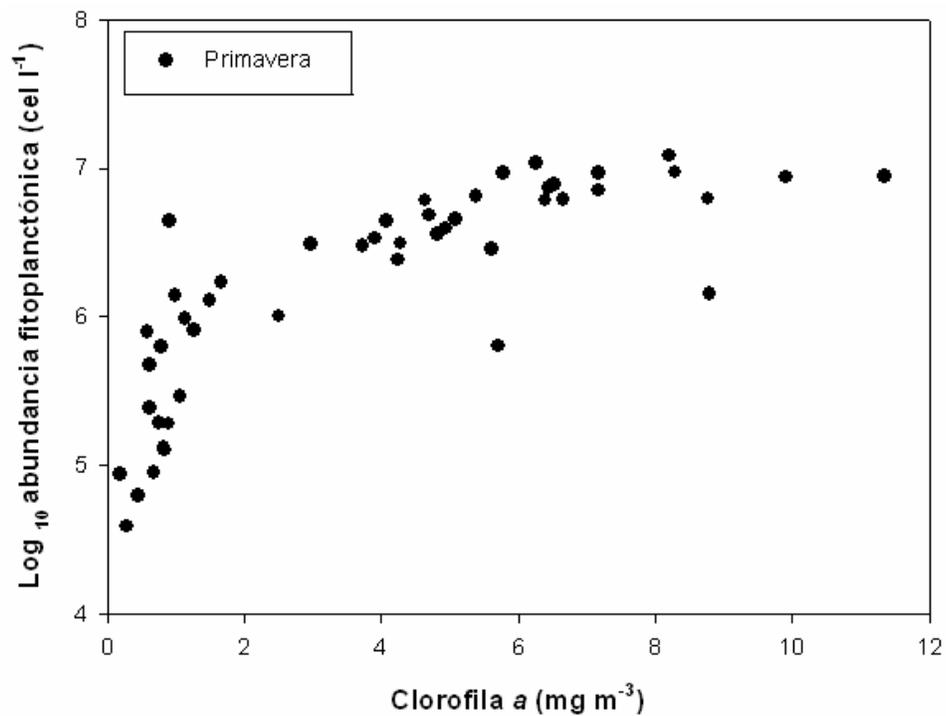
Durante verano la composición fitoplanctónica estuvo dominada por taxa de diatomeas, entre las cuales destacan los géneros *Eucampia* sp, *Skeletonema* sp y *Leptocylindrus* sp (Fig. 15). En la superficie (0 m) el género más abundante fue *Eucampia* sp con un 54%, sin embargo a los 2 m el género más abundante fue *Skeletonema* sp con un 32%, mientras que a los 10 - 15 m nuevamente el género más abundante es *Eucampia* sp con 42 - 46%, respectivamente.



**Figura 15.** Composición porcentual estacional (verano) y vertical (capa fótica) de los principales géneros. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden al porcentaje de la estación 3 (dentro área de cultivo).

#### 7.4.1. Relación entre la abundancia y la biomasa fitoplanctónica

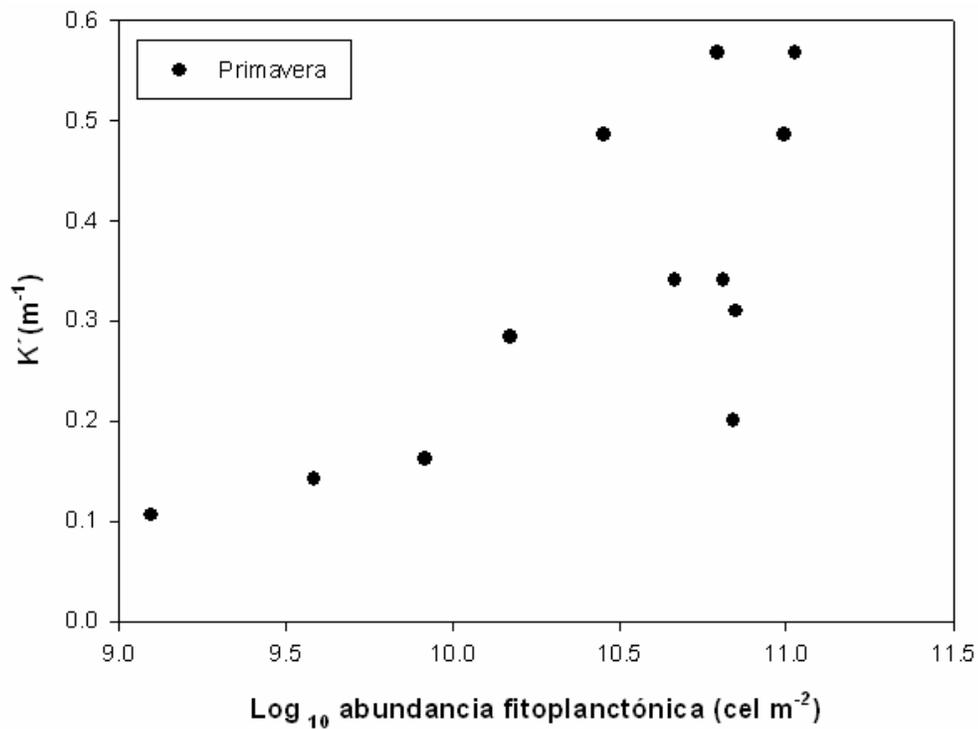
La correlación entre la clorofila *a* y la abundancia fitoplanctónica durante primavera ( $r = 0.788$ ,  $p < 0.001$ ) es significativa, indicando que a medida que aumenta la biomasa fitoplanctónica aumenta la abundancia fitoplanctónica, mientras que durante el verano ( $r = 0.248$ ,  $p > 0.05$ ) la correlación no es significativa (Fig. 16).



**Figura 16.** Relación entre la clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>) y la abundancia fitoplanctónica (diatomeas pennadas + céntricas, cel l<sup>-1</sup>), durante primavera. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

#### 7.4.2. Relación entre la abundancia fitoplanctónica y el coeficiente de extinción de la luz

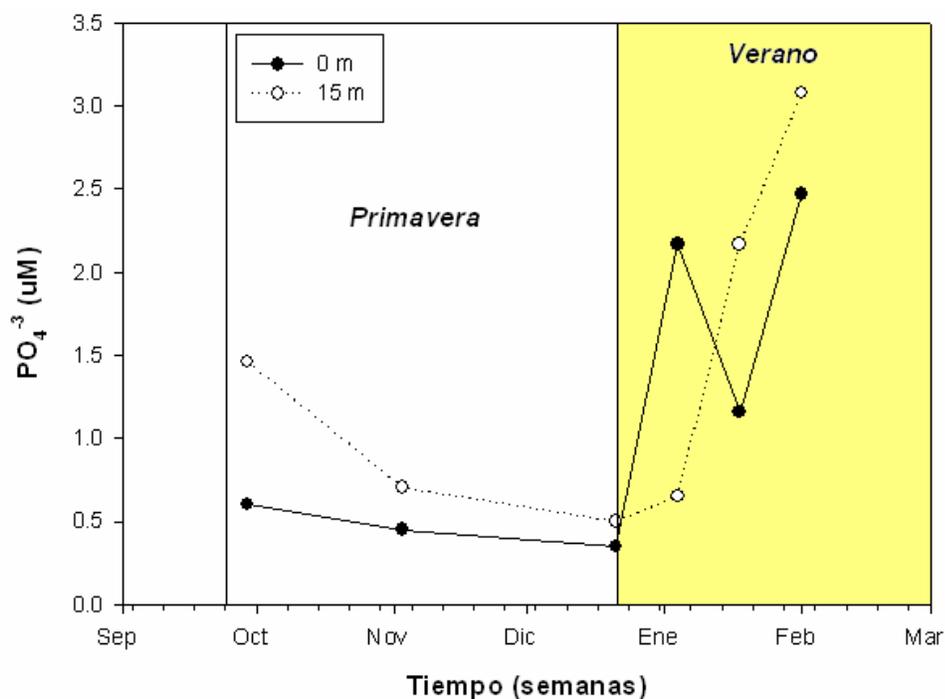
La correlación entre la abundancia fitoplanctónica integrada y el coeficiente de extinción de la luz durante primavera ( $r = 0.739$ ,  $p < 0.05$ ) fue significativa, indicando que a medida que aumenta la abundancia fitoplanctónica aumenta el coeficiente de extinción de la luz, mientras que durante el verano ( $r = -0.296$ ,  $p > 0.05$ ) la correlación no fue significativa (Fig. 17).



**Figura 17.** Relación la abundancia fitoplanctónica integrada ( $\text{cel m}^{-2}$ ) y el coeficiente de extinción de la luz ( $\text{m}^{-1}$ ), durante primavera. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

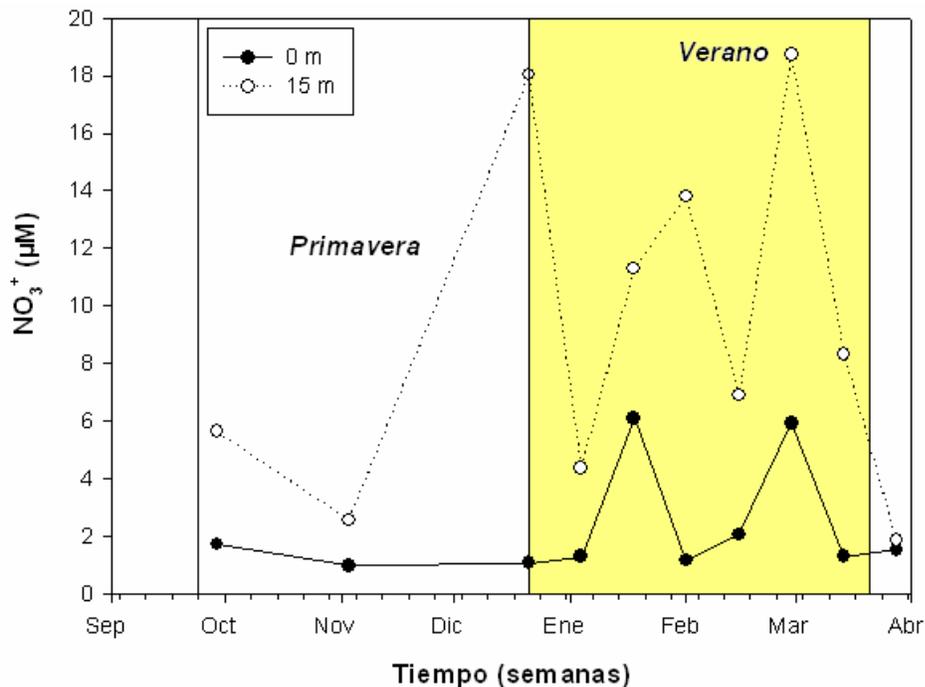
### 7.5. Dinámica estacional y vertical de los nutrientes inorgánicos

Para el  $\text{PO}_4^{-3}$  no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 0.276136$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 8.636743$ ,  $p < 0.05$ ). El  $\text{PO}_4^{-3}$  durante primavera y verano, fluctuó entre  $0.3 \mu\text{M}$  (Diciembre) y  $3 \mu\text{M}$  (Febrero), respectivamente (Fig. 18). La dinámica del  $\text{PO}_4^{-3}$  durante primavera y verano se observó con una distribución vertical homogénea, con valores entre  $0.3 - 2.4 \mu\text{M}$  a  $0 \text{ m}$  y valores entre  $0.5 - 3 \mu\text{M}$  a los  $15 \text{ m}$ .



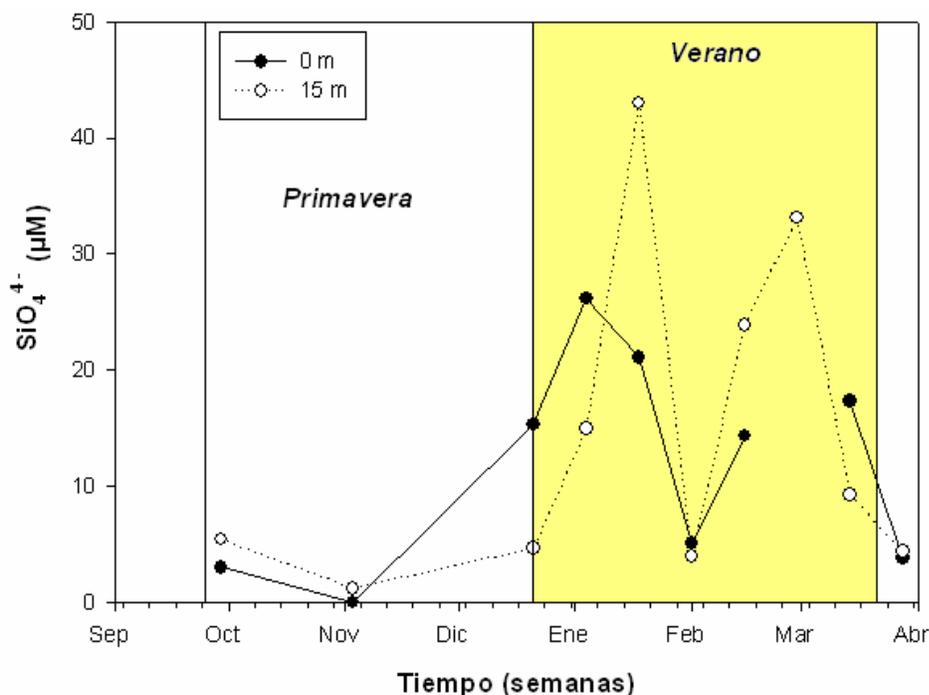
**Figura 18.** Dinámica estacional (primavera- verano) y vertical (capa fótica) del ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ;  $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

Para el  $\text{NO}_3^+$  se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 6.795654$ ,  $p < 0.05$ ), mientras que no se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 3.943751$ ,  $p > 0.05$ ). El  $\text{NO}_3^+$  durante primavera y verano, fluctuó entre  $0.9 \mu\text{M}$  (Noviembre) y  $19 \mu\text{M}$  (Febrero), respectivamente (Fig. 19). La dinámica del  $\text{NO}_3^+$  durante primavera y verano se observó claramente estratificada con bajos valores que fluctuaron entre  $0.9 - 6 \mu\text{M}$  a los  $0 \text{ m}$  y valores entre  $2 - 19 \mu\text{M}$  a los  $15 \text{ m}$ .



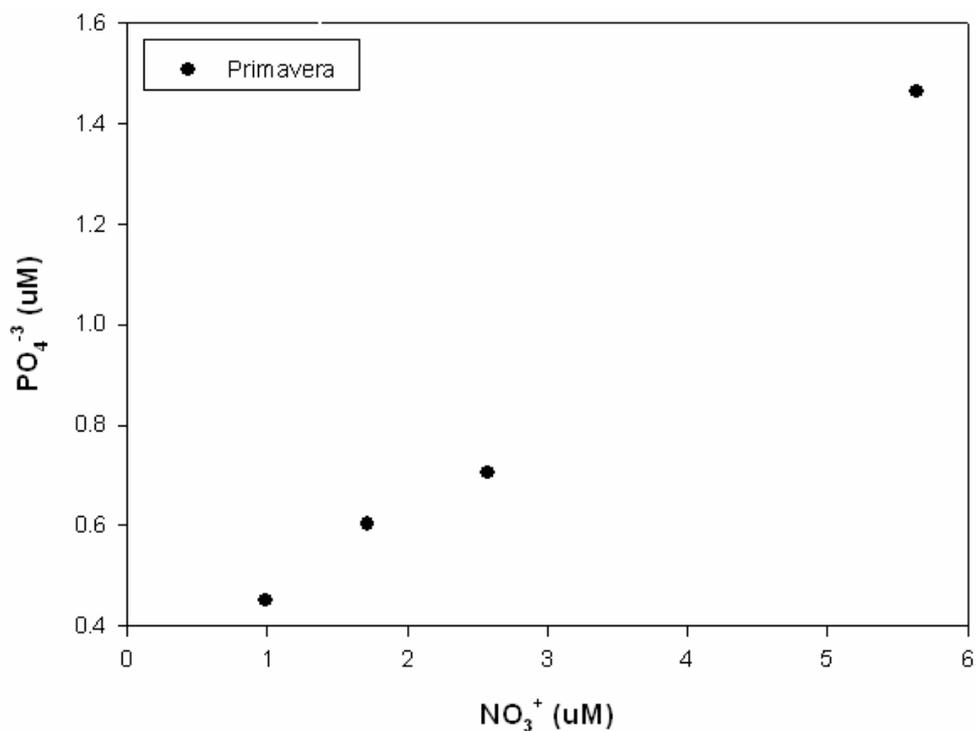
**Figura 19.** Dinámica estacional (primavera- verano) y vertical (capa fótica) del nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ;  $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

Para el  $\text{SiO}_4^{4-}$  no se detectaron diferencias significativas con respecto a la profundidad ( $F = 0.111710$ ,  $p > 0.05$ ), mientras que se detectaron diferencias significativas con respecto a la estacionalidad (primavera – verano) ( $F = 5.831273$ ,  $p < 0.05$ ). El  $\text{SiO}_4^{4-}$  durante primavera y verano, fluctuó entre un valor por debajo del límite de detección ( $< 0.1 \mu\text{M}$ ) (Noviembre) y  $43 \mu\text{M}$  (Enero), respectivamente (Fig. 20). La dinámica del  $\text{SiO}_4^{4-}$  durante Septiembre y principios de Noviembre, periodo correspondiente a primavera, se observó con una distribución vertical homogénea del  $\text{SiO}_4^{4-}$ ; mientras que durante verano, la columna de agua se observó claramente estratificada con bajos valores entre  $5 - 26 \mu\text{M}$  a  $0 \text{ m}$  y valores entre  $4 - 43 \mu\text{M}$  a los  $15 \text{ m}$ .



**Figura 20.** Dinámica estacional (primavera- verano) y vertical (capa fótica) del silicato ( $\text{SiO}_4^{4-}$ ;  $\mu\text{M}$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo).

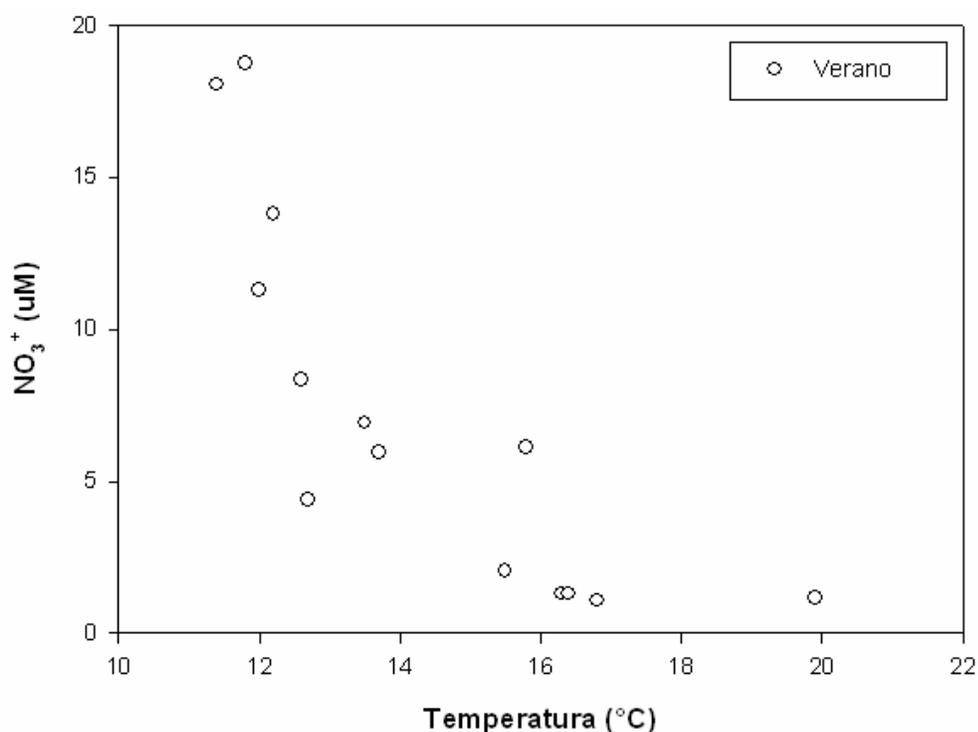
La correlación entre el  $\text{NO}_3^+$  y el  $\text{PO}_4^{-3}$  durante primavera ( $r = 0.995$ ,  $p < 0.05$ ) fue significativa, indicando que a medida que aumenta el nitrato aumenta el ortofosfato, mientras que durante el verano ( $r = 0.0505$ ,  $p > 0.05$ ) la correlación no fue significativa (Fig. 21).



**Figura 21.** Relación entre el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ;  $\mu\text{M}$ ) y el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ;  $\mu\text{M}$ ), durante primavera. Bahía Ique, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.

### 7.5.1. Relación entre nutrientes inorgánicos y temperatura

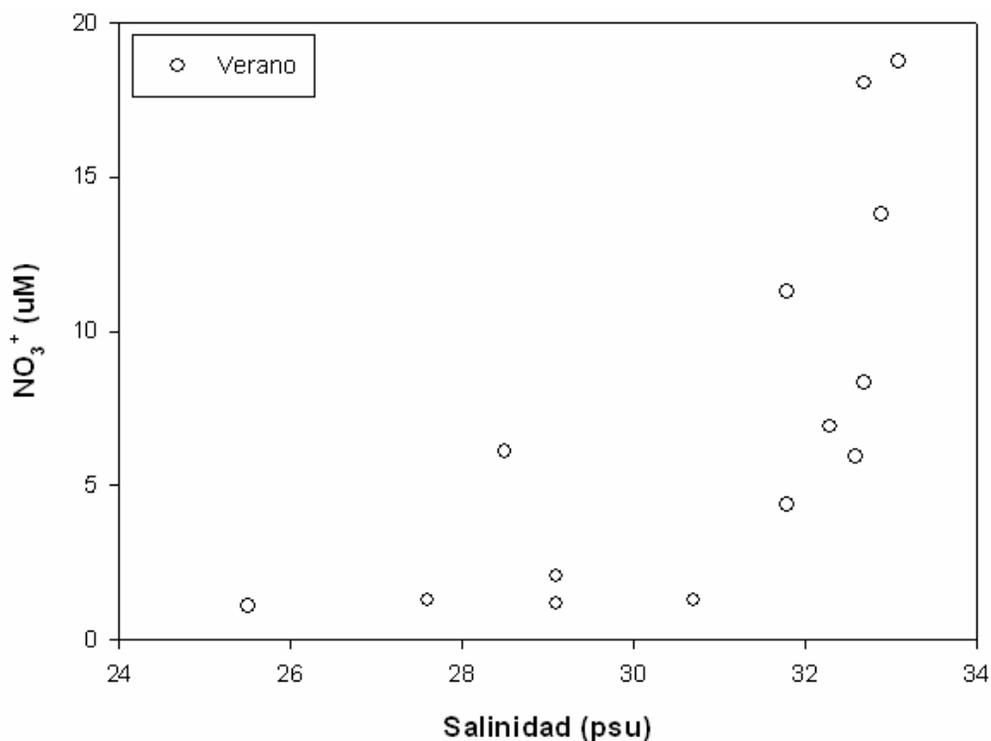
La correlación entre la temperatura y el  $\text{PO}_4^{-3}$  durante primavera ( $r = -0.786$ ,  $p > 0.05$ ) y verano ( $r = 0.120$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa. La correlación entre la temperatura y el  $\text{NO}_3^+$  durante primavera ( $r = -0.834$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa, mientras que durante el verano ( $r = -0.808$ ,  $p < 0.05$ ) la correlación entre ambas variables fue significativa, indicando que a medida que aumenta la temperatura disminuye el nitrato (Fig. 22). La correlación entre la temperatura y el  $\text{SiO}_4^{4-}$  durante primavera ( $r = -0.465$ ,  $p > 0.05$ ) y verano ( $r = -0.212$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa.



**Figura 22.** Relación entre la temperatura (°C) y el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ;  $\mu\text{M}$ ), durante verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.

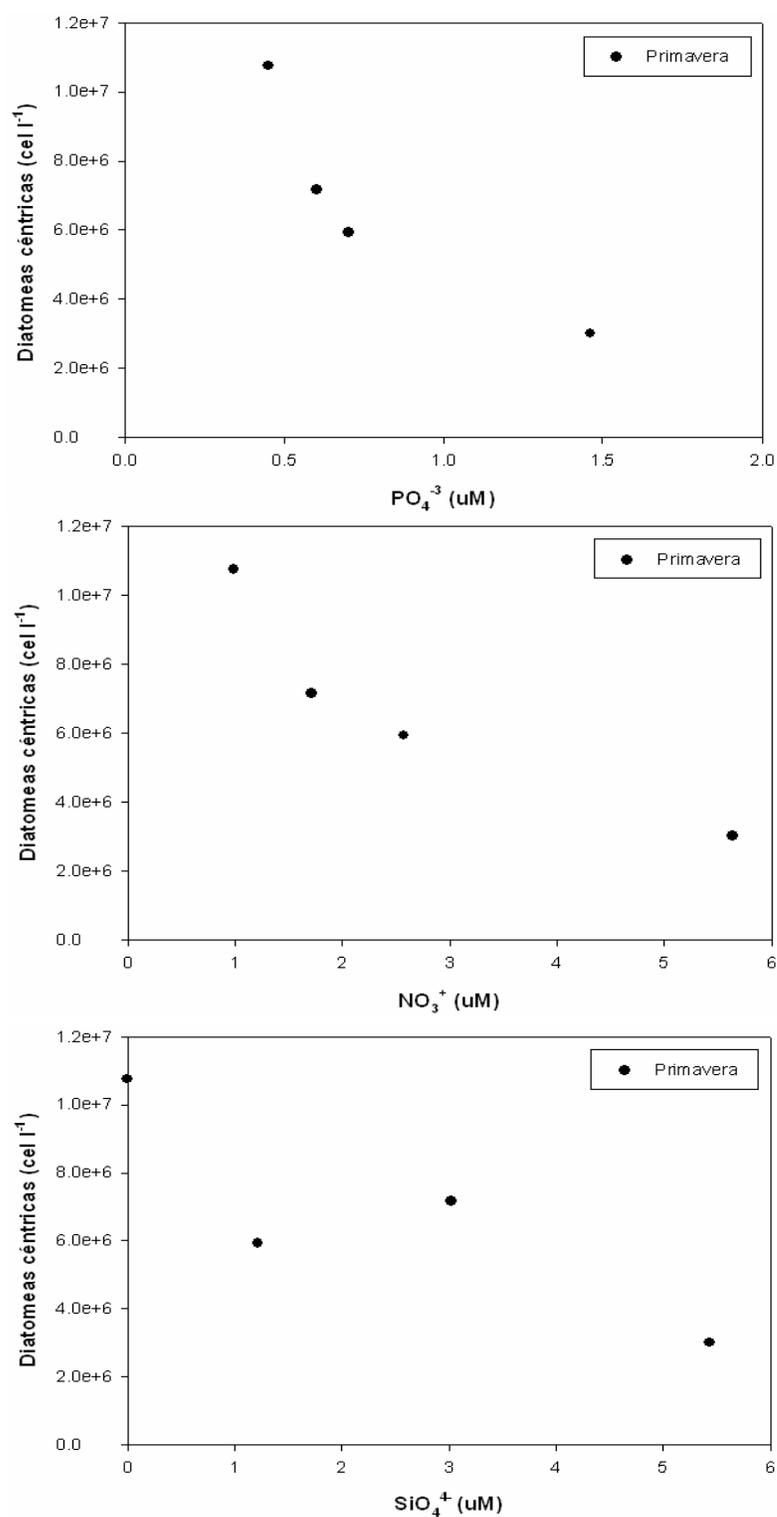
### 7.5.2. Relación entre nutrientes inorgánicos y salinidad

La correlación entre la salinidad y el  $\text{PO}_4^{-3}$  durante verano ( $r = 0.224$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa. La correlación entre la salinidad y el  $\text{NO}_3^+$  durante verano ( $r = 0.708$ ,  $p < 0.05$ ) fue significativa, indicando que a medida que aumenta la salinidad aumenta el nitrato (Fig. 23). La correlación entre la salinidad y el  $\text{SiO}_4^{4-}$  durante verano ( $r = 0.00986$ ,  $p > 0.05$ ) no fue significativa.



**Figura 23.** Relación entre la salinidad (psu) y el nitrato ( $\text{NO}_3^+$ ;  $\mu\text{M}$ ), durante verano. Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.

### 7.5.3. Relación entre nutrientes inorgánicos y la abundancia fitoplanctónica



**Figura 24.** Relación entre los nutrientes inorgánicos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^+$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ;  $\mu\text{M}$ ) y las diatomeas céntricas ( $\text{cel l}^{-1}$ ), durante primavera ( $p > 0.05$ ). Bahía Ilque, Puerto Montt. Valores expresados corresponden a la estación 3 (dentro área de cultivo) a los 0 y 15 m.

## 8. DISCUSIÓN

En el presente estudio, las variables de temperatura y salinidad presentaron una estructura general de dos capas: una capa superficial (0 - 2 m) cálida y menos salina y una capa profunda (10 - 15 m), homogénea en temperatura y salinidad. Silva *et al.* (1997) indican que la variabilidad estacional (primavera - verano) de la temperatura en el ecosistema marino de la región sur austral, es el resultado de la interacción de diferentes forzantes térmicos, tales como, fluctuaciones anuales de la radiación solar, aportes de aguas más o menos frías por ríos, derretimiento de nieve, escurrimiento costero y precipitación, mezcla vertical debido al viento y advección de aguas oceánicas al interior de áreas semi-cerradas. La alta temperatura de la capa superficial (0 - 2 m), observada en Bahía Ilque durante los meses de verano, es principalmente el resultado del calentamiento superficial producto del intercambio de calor desde la atmósfera. Silva *et al.* (1997) indican que la variabilidad estacional (primavera – verano) de la salinidad en el ecosistema marino de la región sur austral, es el resultado de forzantes que corresponden fundamentalmente a la presencia de agua de mar profunda, más salinas, que proviene desde la zona oceánica adyacente y por otro lado, al aporte superficial de agua dulce proveniente de los ríos, del escurrimiento costero y de la pluviosidad (Pickard, 1971). La interacción en mayor o menor grado de la mezcla entre el agua de mar con agua dulce en la capa superficial, la mezcla vertical provocada por la acción del viento y la advección profunda de aguas de comparativamente mayor o menor salinidad a la zona, da como resultado la generación de las diferentes estructuras verticales de la salinidad (Silva *et al.*, 1997). La disminución de la salinidad en la capa superficial (0 - 2 m), observada en Bahía Ilque, podría corresponder al aporte superficial de agua dulce principalmente de las descargas de los ríos desde el Fiordo Reloncaví (Dávila *et al.*, 2002). El aporte del agua dulce sobre el sistema marino costero de la zona sur

austral de Chile es una característica única de esta extensa región (25 - 32 psu) y que difiere de los valores observados en la zona oceánica adyacente (33 - 34 psu) (Silva *et al.*, 1997; Dávila *et al.*, 2002; Acha *et al.*, 2004). Lo anterior ocurre debido a que desde la zona oceánica adyacente, una porción de agua transportada hacia el este por la corriente Circumpolar penetra hacia la zona de los canales y golfo interiores de Chiloé, permitiendo que el Agua Superficial Subantártica (ASAA), se introduzca hacia sus cuencas (Silva y Neshyba, 1977; Silva *et al.*, 1995), y se mezcle con el agua dulce en distintas proporciones. Las aguas de la capa superficial del Seno Reloncaví están conformadas, en gran medida, por aguas de características subantárticas, ya que sus salinidades son en general mayores a 25 psu (>75% de ASAA) (Sievers y Prado, 1994; Silva *et al.*, 1995, 1997). El parámetro de estratificación (Ps) en Bahía Ilque, indicó que durante primavera la columna de agua (primeros 15 m de profundidad) se presentó mezclada y por ende una menor influencia de agua dulce, a diferencia de lo ocurrido en verano, donde la columna de agua se presentó estratificada, producto de una mayor influencia del agua dulce. La relación entre la clorofila *a* superficial con el comportamiento de la columna de agua en Bahía Ilque, fue evaluada utilizando el Parámetro de Estratificación (Ps), indicando que la clorofila *a* superficial durante el verano es modulada de manera significativa por las diferencias en la salinidad o la temperatura.

La determinación de la concentración de clorofila *a* constituye un parámetro indirecto e importante para determinar la biomasa activa del fitoplancton en un instante temporal determinado. En el área de estudio, la biomasa fitoplanctónica señaló una variabilidad estacional (primavera - verano) marcada, donde la clorofila *a* fluctuó entre 0.2 - 13 mg m<sup>-3</sup>, siendo la biomasa fitoplanctónica mayor en primavera que durante verano. Estos valores se encuentran en el rango reportado por un estudio realizado por Iriarte *et al.* (2007) en aguas superficiales del sur

de Chile, cuyos valores de clorofila *a* fluctuaron entre 0.05 – 30 mg m<sup>-3</sup>. Estos valores fueron comparables con aguas de surgencias costeras a lo largo de Chile, como la bahía de Concepción (1 - 25 mg Chl-*a* m<sup>-3</sup>; González *et al.*, 1989; Ahumada *et al.*, 1991), bahía Mejillones (1 - 35 mg Chl-*a* m<sup>-3</sup>; Iriarte y González, 2004), y el Mar interior de Chiloé y los fiordos australes (0.1 - 40 mg Chl-*a* m<sup>-3</sup>; Dellarossa, 1998; Pizarro *et al.*, 2000). Los valores de clorofila *a* obtenidos en Bahía Ilque, son menores comparativamente a los valores descritos para las áreas costeras anteriormente nombradas. Sin embargo, al comparar los valores de clorofila *a* de Bahía Ilque, estos se encuentran en el rango reportado por un estudio realizado por Leiva *et al.* (2005) en áreas utilizadas para actividades mitológicas, como Cochamó (3,27 - 21,35 ug/l), Chauquear (0,06 - 7,72 ug/l), Metri (0,16 - 6,34 ug/l), Pichicolo (0,28 - 3,82 ug/l) y Yaldad (0,34 - 11,34 ug/l).

El coeficiente de extinción de la luz en Bahía Ilque presentó un valor promedio de 0.32 m<sup>-1</sup> durante primavera y de 0.25 m<sup>-1</sup> durante el verano, indicando que durante primavera se encuentran presente una mayor cantidad de partículas suspendidas que impiden el paso de la luz a través de la columna de agua. En contraste en verano se observó una tendencia a la disminución de los valores del coeficiente de extinción de la luz, lo que indica una menor cantidad de partículas suspendidas y por lo tanto una mayor cantidad de luz penetrando a través de la columna de agua. Pizarro *et al.* (2005) presentaron valores para el coeficientes de extinción de PAR ( $k_{PAR}$ ) que oscilaron entre 0.10 - 0.48 m<sup>-1</sup> para fiordos de la zona sur-austral, estos valores coinciden con los obtenidos en Bahía Ilque. Además indicaron que en términos de la profundidad fótica (1% de PAR), la radiación estimada necesaria para realizar fotosíntesis por el fitoplancton, fluctuó entre 10 - 27 m de profundidad. La relación entre la clorofila *a* y el coeficiente de extinción de la luz en Bahía Ilque es significativa durante primavera y verano, donde las altas

concentraciones de biomasa fitoplanctónica (medida como clorofila *a*) están asociadas a altos coeficiente de extinción de la luz.

La abundancia fitoplanctónica señaló variabilidad estacional (primavera – verano) marcada, fluctuando entre  $6.9 \cdot 10^3$  -  $13 \cdot 10^7$  cel l<sup>-1</sup>, siendo la abundancia mayor en primavera que durante verano. Avaria (1971) indica que el ciclo característico del fitoplancton de los mares templados corresponde a un ciclo con dos períodos de riqueza, correspondientes a los florecimientos de primavera y otoño, alternados con dos períodos de pobreza (verano e invierno). El incremento en el número de células de fitoplancton alcanza una duración de una o dos semanas, Alvial y Avaria (1981) indican que esto es consecuencia del rápido agotamiento de los nutrientes derivado del consumo ejercido por el fitoplancton, y en Bahía Ilque, principalmente del grupo de las diatomeas céntricas, y a un proceso de herbivoría cuya acción se relaciona con la disminución de las células fitoplanctónicas (Avaria *et al.*, 1999). Bahía Ilque se encuentra principalmente dominada por el grupo de las diatomeas (Céntricas y Pennadas) por sobre los dinoflagelados durante el periodo de estudio. Los dinoflagelados presentaron un aumento durante el verano, lo que se puede deber principalmente al aumento de la temperatura (Avaria, 1971; Alvial y Avaria, 1981) y a la eficiencia de los dinoflagelados para captar las bajas concentraciones de nutrientes. Iriarte *et al.* (2005) observaron una alta concentración de clorofila *a* atribuible a *Gymnodinium* cf. *Chlorophorum* en aguas superficiales donde las concentraciones de nutrientes inorgánicos disueltos se encuentran cerca del límite de detección, con valores de < 1 μM para el fosfato, < 0.5 μM para el nitrato y < 0.5 μM para el amonio. La composición porcentual de los géneros fitoplanctónicos, indicó que el área de estudio estuvo principalmente dominada por el género *Eucampia* sp, seguida por *Skeletonema* sp, *Chaetoceros* sp y *Leptocylindrus* sp. Estas taxas podrían estar adaptadas a amplios rangos de temperatura y salinidad, ya que se encuentran

presentes durante primavera y verano. Palma y Kaiser (1993) indican que los tamaños aproximados de estos géneros son: *Eucampia* sp (25  $\mu$ m), *Skeletonema* sp (10  $\mu$ m), *Chaetoceros* sp (25 - 50  $\mu$ m) y *Leptocylindrus* sp (9 - 50  $\mu$ m). En un estudio realizado por González (2003) en Bahía Yaldad, con el fin de conocer y comparar la capacidad de alimentación en especies filtradoras (20 - 60 mm aprox. de longitud), se hicieron determinaciones fisiológicas (tasa de aclaración y tasa de ingestión) con una dieta de *Isochrysis galbana* (5 - 6  $\mu$ m) y observaciones endoscópicas (velocidad de transporte de partículas) con dos dietas: *I. galbana* (5 - 6  $\mu$ m) y otra de microalgas mezclada con partículas plásticas (2 - 10  $\mu$ m), donde las mayor tasa de aclaración, tasa de ingestión y velocidades de transporte de partículas se obtuvieron con *Mytilus chilensis*. En otro estudio realizado por Navarro *et al.* (2008) en Bahía Yaldad, con individuos de *Mytilus chilensis* con una longitud promedio de  $5.38 \pm 0.16$  cm., la respuesta inicial del bivalvo *Mytilus chilensis* fue medida bajo cuatro dietas que contenían diferentes proporciones del dinoflagelado tóxico *Alexandrium catenella* (32 - 36  $\mu$ m) y una dieta control de *Isochrysis galbana* (4 - 5 $\mu$ m). No fue claro si el efecto negativo sobre la conducta de alimentación fue causado por la presencia de la toxina paralizante o debido al gran tamaño de las células del dinoflagelado, en comparación al tamaño de las células de *I. galbana*. Sin embargo, estudios paralelos con dietas conteniendo el dinoflagelado no tóxico *Alexandrium affine*, de similar tamaño y forma a *A. catenella*, sugieren que el tamaño de las células fue la causa principal que afectó la conducta de alimentación.

En bahía Ilque, las semillas que van desde escasos milímetros hasta 1 - 2 cm (talla más adecuada), podrían estar consumiendo *Skeletonema* sp y *Leptocylindrus* sp ( $\leq 10$   $\mu$ m), mientras que los choritos hasta 5.38 cm podrían estar consumiendo *Eucampia* sp, *Skeletonema* sp, *Chaetoceros* sp ( $< 32$   $\mu$ m) y *Leptocylindrus* sp ( $< 32$   $\mu$ m). Sin embargo, los géneros menos abundantes, pueden corresponder a los que están siendo consumidos por los organismos

filtradores, por este motivo los géneros que resultan ser los más abundantes sean aquellos menos consumidos.

En Bahía Ilque el ortofosfato y el silicato, presentaron una variabilidad estacional (primavera – verano) marcada. En el caso del nitrato, no se presentó una variabilidad estacional (primavera – verano). Silva *et al.* (1997) indican que la variabilidad estacional (primavera – verano) de los nutrientes inorgánicos disueltos son el resultado de la interacción de forzantes y procesos que extraen o suministran nutrientes a la columna de agua. Entre ellos se encuentra, el consumo de nutrientes por el fitoplancton que hace que estos disminuyan su concentración en la capa superficial. Por otro lado es importante el aporte de agua fluvial, con bajos contenidos de nitrato y fosfato, pero altos en silicato y del agua de origen oceánico, con altos contenidos de fosfato y nitrato, pero bajos en silicato. La remineralización de la materia orgánica biogénica marina o terrígena en la capa profunda, es otro proceso que provoca el aumento de los nutrientes en la columna de agua, principalmente a mayores profundidades. Finalmente, la advección en la zona profunda de cuerpos de agua de distinta concentración de nutrientes da origen a máximos y/o mínimos en la columna de agua, los que a su vez provocan la generación de diferentes estructuras verticales de nutrientes. En Bahía Ilque, el nitrato presentó en la superficie (0 m) un menor contenido respecto a los 15 m. Las bajas concentraciones de nitrato en la superficie, se puede deber primordialmente al consumo de este nutriente por el grupo de fitoplancton dominante. Otro factor que podría explicar, en parte, los bajos contenidos superficiales del nitrato es la mezcla de agua de mar de la zona oceánica adyacente, con una mayor concentración de nitrato ( $> 12 \mu\text{M}$ , Silva *et al.*, 1997) con agua dulce de origen fluvial y/o de lluvia, con un bajo contenido de nitrato. Con el fin de demostrar que el aporte fluvial también es un forzante importante en la explicación de los bajos contenidos de nitrato en Bahía Ilque, se relacionó la salinidad con el nitrato, donde

las mayores concentraciones de nitrato están asociadas con altos valores de salinidad (aguas profundas), mientras que las menores concentraciones de nitrato están asociados a bajos valores de salinidad (aguas superficiales).

En verano el aumento de la capa superficial y la disminución del régimen de vientos, provoca una fuerte estratificación térmica, que limita la mezcla vertical y por tanto la entrada de nutrientes a la capa fótica (Corredor, 1977). Con el fin de demostrar que la temperatura es una forzante importante en la explicación de los contenidos de nitrato en Bahía Ilque por lo tanto, se relacionó la temperatura con el nitrato, donde las mayores concentraciones de nitrato están asociadas a menores temperaturas (aguas frías y profundas), mientras que las menores concentraciones de nitrato están asociadas a mayores temperaturas (aguas superficiales).

En el caso del ortofosfato, este presentó una estructura homogénea, y el silicato tendió a seguir el patrón general de distribución vertical del nitrato. Sin embargo, las diferencias entre 0 - 15 m no fueron significativas, por ende, la columna de agua para estos nutrientes es más homogénea. Las concentraciones de ortofosfato y silicato en la superficie, se pueden deber primordialmente al menor consumo de estos nutrientes por el grupo de fitoplancton dominante. Otro factor que podría explicar, en parte, los contenidos superficiales de estos nutrientes es la mezcla de agua de mar de la zona oceánica adyacente, con una concentración de fosfato  $> 1.2 \mu\text{M}$  y una concentración de silicato  $< 4 \mu\text{M}$  (Silva *et al.*, 1997), con agua dulce de origen fluvial y/o de lluvia de bajo contenido de fosfato y alto contenido de silicato. Con el fin de demostrar que el aporte fluvial también es un forzante importante en la explicación de los contenidos de ortofosfato y silicato en Bahía Ilque, se relacionó estos nutrientes con la salinidad, observándose que las altas concentraciones de ortofosfato tienden a estar asociados a altos valores de salinidad.

Sin embargo en ambos casos el aporte fluvial no es una forzante significativa ( $p > 0.05$ ). Silva *et al.* (1997) indicó que el fosfato es aportado, principalmente desde el mar, ya que las aguas provenientes de ríos y lluvias son pobres en este nutriente. Sin embargo las aguas provenientes de ríos son ricas en silicatos.

Otro proceso que genera el aumento de nutrientes es la mineralización de organismos planctónicos que caen desde la capa superficial, en la cual el sílice ( $\text{SiO}_2$ ) de los exoesqueletos de los organismos planctónicos se disuelven, como también lo hacen las arcillas en suspensión transportadas en las aguas de río, las que al encontrarse en un ambiente más salino y con un mayor contenidos de carbonatos que el agua dulce, podrían sufrir reacciones de halmirolisis, liberando la sílice en forma de ácido silícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) (Silva *et al.*, 1997).

Es importante tener en cuenta que el sílice actúa como un nutriente esencial para las diatomeas, ya que forma parte importante de su esqueleto externo.

Estudios realizados entre Octubre - Noviembre (período correspondiente a primavera) en el Seno Reloncaví (Silva *et al.*, 1997), presentaron en la superficie concentraciones de nutrientes que fluctuaron entre 0.2 y 1.6  $\mu\text{M}$  para el fosfato, entre 0 y 16  $\mu\text{M}$  para el nitrato y entre 3 y 13  $\mu\text{M}$  para el silicato. En Bahía Ilque las concentraciones de ortofosfato fluctuaron entre 0.4 y 0.6  $\mu\text{M}$ , estos valores concuerdan con los presentados por Silva *et al.* (1997), mientras que el nitrato fluctuó entre 0.9 y 1.7  $\mu\text{M}$  y el silicato entre  $< 0.1$  y 3  $\mu\text{M}$ , valores menor que los descritos en el Seno Reloncaví. Bajo la superficie (15 a 20 m) en el Seno Reloncaví, el fosfato y nitrato aumentaron rápidamente alcanzando concentraciones de 1.6  $\mu\text{M}$  para el fosfato y 16  $\mu\text{M}$  para el nitrato. El silicato también aumento con la profundidad aunque más lentamente que los otros dos nutrientes alcanzando valores de 16  $\mu\text{M}$ . En Bahía Ilque a los 15 m las concentraciones de

ortofosfato fluctuaron entre 0.7 y 1.4  $\mu\text{M}$ , valores que concuerdan con los presentados por Silva *et al.* (1997), mientras que el nitrato fluctuó entre 2.5 y 5.6  $\mu\text{M}$  y el silicato entre 1.2 y 5.4  $\mu\text{M}$ , valores menores que los descritos por Silva *et al.* (1997) en el Seno Reloncaví.

En Bahía Ilque, se relacionaron los nutrientes inorgánicos con la biomasa fitoplanctónica (medida como clorofila *a*), observándose que las bajas concentraciones de nutrientes tienden a estar asociados a altas concentraciones de biomasa fitoplanctónica. Ramírez *et al.* (1997), pudieron observar algunas situaciones bien definidas en que las bajas concentraciones de nutrientes estuvieron asociadas a altas concentraciones de clorofila *a*. Bajas concentraciones superficiales de fosfato ( $< 0.6 \mu\text{M}$ ) y nitrato ( $< 4 \mu\text{M}$ ) estuvieron asociadas a concentraciones de clorofila *a* moderadas a muy altas de 3 a 15  $\text{mg m}^{-3}$ , explicando que las bajas concentraciones de fosfato y nitrato son consecuencia, en gran medida, de procesos fotosintéticos activos. Pizarro *et al.* (2000) proponen que las altas concentraciones de clorofila *a* dependen de las concentraciones de nutrientes, de bajas temperaturas y capas de mezcla profunda, donde la biomasa fitoplanctónica entre 3.0 – 7.0  $\text{mg Cl } a \text{ m}^{-3}$ , se encuentran principalmente asociadas a una mayor profundidad de la capa de mezcla (caso de estaciones de fiordos y canales interiores), mientras que biomasa fitoplanctónicas mayores a 8.0  $\text{mg Cl } a \text{ m}^{-3}$ , están asociadas a bajas temperaturas y a una baja disponibilidad de nutrientes (nitratos y fosfatos) en el agua por consumo de los mismos.

Con respecto a la abundancia fitoplanctónica, al igual que la biomasa fitoplanctónica, se relacionó con los nutrientes, observándose que las bajas concentraciones de nutrientes tienden a estar asociados a altas concentraciones de fitoplancton. Sin embargo, en todos los casos, los nutrientes no son una forzante significativa ( $p > 0.05$ ), implicando que los nutrientes inorgánicos en conjunto con la disponibilidad de luz están participando en el proceso fotosintético del

fitoplancton. Ramírez (2006) propone que a un nivel subsuperficial (0 - 20 m), si bien existen los nutrientes que pueden participar en la fotosíntesis, el fitoplancton tiene el factor luz como limitante de la actividad fotosintética.

En el trabajo realizado por Iriarte *et al.* (2007), la dinámica observada en el cambio de las variables de los ensambles de fitoplancton (asociado con periodos estacionales) puede estar explicado por el siguiente modelo conceptual: (1) La alta irradiación repentina durante fines de invierno y principios de primavera combinado con altas concentraciones iniciales de nutrientes y una baja estabilidad de la columna de agua, crean condiciones óptimas para un alto crecimiento del fitoplancton, principalmente para ensambles dominados por la formación de cadenas de diatomeas céntricas. Una porción significativa de la producción primaria puede ser exportado hacia fuera de la capa fótica. (2) La alta estratificación térmica en los períodos cálidos (los meses de verano), y por lo tanto una fuerte estabilidad de la columna de agua, da como resultado la disminución de los nutrientes y por lo tanto una mayor contribución del grupo de dinoflagelados que predominan en condiciones estratificadas y una menor concentración de nutrientes.

## 9. CONCLUSIÓN

- ✓ La temperatura y la salinidad en Bahía Ilque, presentaron una estructura general de dos capas: la capa superficial (0 - 2 m) se caracteriza por poseer mayores temperaturas y menores salinidades que la capa profunda (10 - 15 m).
- ✓ La variabilidad estacional (primavera – verano) de la temperatura y la salinidad, son principalmente el resultado de la acción, individual o en conjunto, de distintas variables (calentamiento superficial producto del intercambio de calor desde la atmósfera, y aporte de agua dulce por ríos, y advección de aguas profundas, más salinas y frías al interior de la bahía, que provienen desde la zona oceánicas adyacente).
- ✓ La dinámica de la biomasa y abundancia fitoplanctónica, presentaron una floración durante primavera y una tendencia a la disminución hacia los meses de verano. Con respecto a la profundidad, la biomasa y la abundancia fitoplanctónica presentaron una distribución vertical homogénea.
- ✓ La comunidad fitoplanctónica, durante el período de estudio, estuvo dominada por el grupo de las diatomeas por sobre los dinoflagelados. Los dinoflagelados presentaron una mayor abundancia durante el verano en comparación con primavera, debido al aumento de la temperatura y la eficiencia de estos para captar nutrientes.
- ✓ La composición porcentual de los géneros fitoplanctónicos, indicó que el área de estudio, estuvo principalmente dominada por *Eucampia* sp, *Skeletonema* sp, *Chaetoceros* sp y *Leptocylindrus* sp.

- ✓ Las concentraciones de nutrientes son el resultado de la interacción de forzantes y procesos que extraen o suministran nutrientes a la columna de agua (aporte de agua superficial de origen fluvial y/o lluvia con bajas concentraciones de nutrientes, mineralización, halmirolisis, y advección de aguas profundas ricas en nutrientes al interior de la bahía desde la zona oceánicas adyacente).

## 10. BIBLIOGRAFÍA

**Acha, E.M., Mianzan, H.W., Guerrero, R.A., Favero, M., Bava, J., 2004.** Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. *Journal of Marine Systems* 44: 83-105 pp.

**Ahumada, R., Matrai, P., Silva, N., 1991.** Phytoplankton biomass distribution and relationship to nutrient enrichment during an upwelling event off Concepcion Bay Chile. *Boletín Sociedad Biológica Concepción Chile* 62: 7-19 pp.

**Ahumada, R., 1996.** Concentración de metales traza en sedimentos y organismos recolectados en la región norte de los fiordos y canales del sur de Chile. Resultados del Crucero CIMAR 1 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso. Libro de Resúmenes, 49-52 pp.

**Alvial, A., Avaria, S., 1981.** Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. II. Dinámica de las comunidades. *Revista de Biología Marina* 17(2): 197-227 pp.

**Antezana, T., Guglielmo, L., Ghirardelli, E., 1992.** Microbasins within the Strait of Magellan affecting zooplankton distribution. In: V.A. Gallardo, O. Ferretti & H. Moyano (eds.) *Oceanografía in Antartide*. ENEA-PNRA, Rome, 453-458 pp.

**Atkins, W.R.G., Poole, H.W., 1929.** Methods for the photoelectric and photochemical measurement of daylight. *Conf. Empire Meteorol.*

**Avaria, S., 1971.** Variaciones mensuales cualitativas del fitoplancton de la bahía de Valparaíso de julio 1963 a julio 1966. *Revista de Biología Marina* 14(3): 15-43 pp.

**Avaria, S., Jorquera, L., Muñoz, P., Vera, P., 1999.** Distribución del microfitoplancton marino en la zona de aguas interiores comprendidas entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes, Chile, en la primavera de 1996. Crucero CIMAR-Fiordo 2. *Ciencia y Tecnología del Mar* 22: 81-110 pp.

**Corredor, J.E., 1977.** Aspects of Phytoplankton dynamics in the Caribbean sea and adjacent regions. Symposium on Progress in marine research in the Caribbean and adjacent regions. FAO, Fish rep 200: 101-114 pp.

**Dávila, P.M., Figueroa, D., Muller, E., 2002.** Freshwater input into coastal ocean and its relation with the salinity distribution off austral Chile (35-55°S). *Continental Shelf Research* 22(3): 521-534 pp.

**Dellarossa, V., 1998.** Producción primaria anual en sistemas de alta producción biológica. Tesis, Escuela de Graduados, Universidad de Concepción. 149 pp.

**González, H.E., Pantoja, S., Iriarte, J.L., Bernal, P., 1989.** Winter-spring variability of size-fractionated autotrophic biomass in Concepcion Bay, Chile. *Journal of Plankton Research* 11: 1157-1167 pp.

**González, L., 2003.** “Capacidad de alimentación y análisis endoscópico en bivalvos filtradores de la infauna y epifauna de la Bahía de Yaldad, Chiloé, Chile”. Tesis, Esc. de Biología Marina, Universidad Austral de Chile.

**Huisman, J., Van Oostveen, P., Weissing, F.J., 1999.** Species dynamics in phytoplankton blooms: Incomplete mixing and competition for light. *The American Naturalist*. 154: 46-68 pp.

**Iriarte, J.L., Uribe, J.C., Valladares, C., 1993.** Biomass of size-fractionated phytoplankton during the spring-summer season in Southern Chile. *Botanica Marina* 36: 443-450 pp.

**Iriarte, J.L., Kusch, A., Ruiz, M., 2001.** Phytoplankton biomass in the sub-Antarctic area of the Straits of Magellan (53°S), Chile during spring-summer 1997-1998. *Polar Biology* 24: 154-162 pp.

**Iriarte, J.L., González, H.E., 2004.** Phytoplankton size structure during and after the 1997/98 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series* 269: 83-90 pp.

**Iriarte, J.L., Quiñones, R.A., González, R.R., 2005.** Relationship between biomass and enzymatic activity of a bloom-forming dinoflagellate (Dinophyceae) in Southern Chile (41°S): a field approach. *Journal of Plankton Research* 27: 1-20 pp.

**Iriarte, J.L., González, H.E., Liu, K.K., Rivas, C., Valenzuela, C., 2007.** Spatial and temporal variability of chlorophylla and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5 - 43° S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74: 471-480 pp.

**Kiorboe, T., 1993.** Turbulence, phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food webs. *Advances in Marine Biology*, 29 pp.

**Koblentz-Mishke, O.I., Vedernikov, V.I., 1977.** Producción primaria (en ruso) *Oceanología. Biología del Océano*. Nauka, Moscú. Tomo 2: 183-209 pp.

**Leiva, G., Santibañez, C., Bartheld, J., 2005.** Definición de criterios biológicos, ambientales, sanitarios y operativos para la instalación de colectores de moluscos bivalvos en la X región.

**Levin, L.A., Bridges, T.S., 1995.** Pattern and diversity in reproduction and development. En: Leiva, G., Santibañez, C., Bartheld, J., 2005. 38 pp.

**Navarro, J., Contreras, A., Chaparro, O., 2008.** Short-term feeding response of the mussel *Mytilus chilensis* exposed to diets containing the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella*. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 41-49 pp.

**Odate, T., Maita, Y., 1988.** Regional variation in the size composition of phytoplankton communities in the western North Pacific Ocean, spring 1985. *Biol. Oceanogr.*, 6: 65 pp.

**Palma, S., Kaiser, K., 1993.** Plancton Marino de Aguas Chilenas, ediciones universitarias de Valparaiso, Valparaiso. 30-34 pp.

**Parsons, T.R., Maita, Y., Lalli, C., 1984.** A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford.

**Pickard, G.L., 1971.** Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *Journal of Fisheries Research Board of Canadá*, 28: 1077-1106 pp.

**Pickard, G.L., 1973.** Water structures in Chilean fjords. In: *Oceanography of the Pacific 1972*. R. Fraser (Comp.) New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington 95-104 pp.

**Pickard, G.L., Stanton, B., 1980.** Pacific fjords – A review of their water characteristics. Conference on Fjord Oceanography, Victoria, 1979, Plenum Press, New York.

**Pinochet, P., Salinas, S., 1996.** “Estructuras Térmicas y Salina de Fjords y Canales Adyacentes a Campos de Hielo Sur, Chile.” *Ciencia y Tecnología del Mar* 19: 93-122 pp.

**Pizarro, G., Iriarte, J.L., Montecino, V., Blanco, J.L., Guzmán, L., 2000.** Distribución de la biomasa fitoplanctónica y productividad primaria máxima de fiordos y canales australes (47-50°S) en octubre 1996. *Ciencia y Tecnología del Mar* 23: 25-48 pp.

**Pizarro, G., Iriarte, J.L., Montecino, V., 2002.** Mesoscale primary production and bio-optical variability off Antofagasta (23-24°S) during the transition to El Niño 1997. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 201-215 pp.

**Pizarro, G.L., Astoreca, R., Montecino, V., Paredes, M.A., Alarcón, G., Uribe, P., Guzman, L., 2005.** Patrones espaciales de la abundancia de la clorofila, su relación con la productividad primaria y la estructura de tamaños del fitoplancton en julio y noviembre 2001 en la región de Aysén (43°- 46°S). *Ciencia y Tecnología del Mar* 28(2): 27-42 pp.

**Prandle, D., 1985.** On salinity regimes and the vertical structure of residual flows in narrow tidal estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 20: 615-635 pp.

**Ramirez, B., Butchard, H., Pizarro, M.E., 1997.** Distribución cuantitativa de la biomasa pigmentaria y su relación con algunos parámetros abióticos en los canales. Resultados Crucero Cimar-Fiordo 1. Valparaíso. En: Silva, N., Calvete, C., Sievers, H., 1997. *Ciencia y Tecnología del Mar* 20: 54 pp.

**Ramírez, B., 2006.** Distribución de la clorofila en algunos fiordos chilenos ubicados entre el Golfo de Penas y el estrecho de Magallanes. *Ciencia y Tecnología del Mar* 29: 27-63 pp.

**Reynolds, C.S., 1984.** The Ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press.

- Reynolds, C., Padisák, L., Sornmer, U., 1993.** Intermediate disturbance in the ecology of phytoplankton and the maintenance of species diversity: a synthesis. *Hidrobiología*. 249: 183-188 pp.
- Sievers, H., Prado, R., 1994.** Contraste de las características oceanográficas del seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (Lat. 45° 20` S). *Revista de Biología Marina* 29(2): 167-209 pp.
- Silva, N., Neshyba, S., 1977.** Corrientes superficiales frente a la costa austral de Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*, CONA, 3: 37-42 pp.
- Silva, N., Sievers, H., Prado, R., 1995.** Características oceanográficas y una proposición de circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41°20`S y 46° 40`S. *Revista de Biología Marina* 30(2): 207-254 pp.
- Silva, N., Calvete, C., Sievers, H., 1997.** Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo 1) *Ciencia y Tecnología del Mar* 20: 23-106 pp.
- Strub, P.T., Mesias, J., Montecino, V., Rutllant, J., Salinas, S., 1998.** Coastal Ocean circulation off western south America. En: Iriarte, J.L., González, H.E., Liu, K.K., Rivas, C., Valenzuela, C., 2007. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74: 472 pp.
- Vera, P., Avaria, S., Muñoz, P., 1996.** Composición y distribución del fitoplancton de los fiordos adyacentes a Campos de Hielo Sur y su relación con algunos parámetros oceanográficos. *Ciencia y Tecnología del Mar* 19: 73-92 pp.
- Zar, J.H., 1984.** Biostatistical Analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.