



**UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

Facultad de Ciencias  
Escuela de Biología Marina

**PROFESOR PATROCINANTE: DR. HUMBERTO GONZÁLEZ E.  
INSTITUTO DE BIOLOGIA MARINA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

**FLUJOS DE MATERIAL PARTICULADO A TRAVÉS DE ESTRATOS ÓXICOS –  
HIPÓXICOS EN LA ZONA NORTE DE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT**

Tesis de grado presentada como  
parte de los requisitos para optar  
al Título de **BIOLOGO MARINO**

**LISETTE MABEL ZENTENO DEVAUD**

**VALDIVIA-CHILE**

**2004**

*El espacio de Einstein no está más próximo a la realidad que un cielo de Van Gogh. La gloria de la Ciencia no está en una verdad “más absoluta” que la verdad de Bach o Tolstoi, sino en el acto de la creación misma. Los descubrimientos de los científicos imponen su propio orden en el caos, como el compositor o el pintor impone el suyo; un orden que se refiere siempre a aspectos limitados de la realidad, influido por el marco de referencia del observador, que difiere de un periodo a otro, de la misma forma que un desnudo de Rembrandt difiere de un desnudo de Monet.*

*Arthur Koestler*

*(El acto de la creación)*

*A mis padres, hermanas y mi preciosa sobrina Kay*

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres, por todo el esfuerzo, amor y confianza que me han entregado durante todos estos años.

A mi Profesor Guía Dr. Humberto González por su agradable disposición de enseñanza y observaciones dedicadas a mi tesis, las que fueron muy importantes para el desarrollo y término de ésta.

Al Dr. Silvio Pantoja de la Universidad de Concepción por permitirme participar en el proyecto Fondecyt 1000366, además de la revisión y comentarios críticos para enriquecer el escrito.

Al Dr. Jorge Toro por su ayuda en las correcciones.

A Oriana, Alex y Sra. Rosita por el apoyo y amistad entregada durante mis años de estudio.

A mis amigas de siempre Pao; Marcia; Sandra; Caro; Soraya; Fabio; Lily; Loreto y María Inés, por estar siempre atentas a mi corazón cuando me he encontrado sumida en el silencio.

A mis amigas/os (Roberto, Ceci, Yirleska, Anita, Pablo, Gabriel, Amanda, Mauro, Claudio, Vivi) por entregarme una verdadera amistad.

A mis niñas del Hogar Villa Huidif que durante gran parte de mi vida universitaria, me han enseñado a valorar que lo pequeño es hermoso.

Finalmente agradezco a Roberto, Carolina, Ceci, Pablo, Eduardo y en especial a mi Madre por el apoyo y colaboración prestada en la realización de esta tesis.

## INDICE

### Agradecimientos

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Índice de tablas.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>Índice de figuras.....</b>   | <b>5</b>  |
| <b>I. Resumen.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>II. Abstract.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>III. Introducción.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>IV. Metodología.....</b>   | <b>14</b> |
| 1. <i>Diseño de muestreo.....</i>   | <b>14</b> |
| 2. <i>Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna<br/>        de agua.....</i>  | <b>15</b> |
| 3. <i>Composición, abundancia y distribución de zooplancton.....</i>  | <b>15</b> |
| 4. <i>Flujo vertical de material particulado.....</i>   | <b>16</b> |
| 5. <i>Estimación del carbono orgánico en el fitoplancton, microzooplancton, material<br/>        fecal y bacterias colectado en la columna de agua y en las trampas de sedimento.....</i> | <b>17</b> |
| 6. <i>Análisis de los datos obtenidos.....</i>  | <b>18</b> |
| <b>V. Resultados.....</b>   | <b>19</b> |
| 1. <i>Condiciones bioceanográficas en la columna de agua.....</i>   | <b>19</b> |
| 2. <i>Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua.....</i>  | <b>21</b> |
| 4. <i>Composición, abundancia y distribución de zooplancton.....</i>  | <b>22</b> |
| 5. <i>Flujo vertical de proteínas mediado por la degradación bacteriana.....</i>  | <b>23</b> |
| 6. <i>Flujo vertical de carbono orgánico particulado.....</i>   | <b>24</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>VI. Discusión.....</b>  |           |
| 1. <i>Condiciones bioceanográficas y distribución de las comunidades planctónicas en la columna de agua.....</i> | <b>26</b> |
| 2. <i>Flujo vertical de proteínas mediado por la degradación bacteriana.....</i>                                 | <b>29</b> |
| 3. <i>Flujo vertical de carbono orgánico particulado.. ..</i>  | <b>30</b> |
| 4. <i>Exportación de carbono biogénico.....</i>  | <b>31</b> |
| <b>VII. Conclusiones.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>VIII. Literatura Citada.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>Anexos.....</b>   | <b>44</b> |
| 1. <i>Tablas.....</i>  | <b>45</b> |
| 2. <i>Figuras.....</i>   | <b>52</b> |

## Índice de tablas

| <b>Tablas</b>  | <b>Páginas</b> |
|--|----------------|
| 1. Resumen de las condiciones oceanográficas generales para el sector costero y oceánico, durante el período de estudio.   | 45             |
| 2. Producción primaria promedio integrada y respiración comunitaria integrada estimada a 25 y 75 m de profundidad (1% de luz) para el sector costero y oceánico, durante el período de estudio.                                    | 45             |
| 3. Correlación entre respiración comunitaria y las variables temperatura y oxígeno para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.   | 46             |
| 4. Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para la biomasa de pellet fecales y microplancton de la columna de agua durante el período de estudio (DN: Estadístico total de Kolmogorov). | 46             |
| 5. Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para el zooplancton durante el período de estudio.   | 46             |
| 6. Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para el flujo vertical de material fecal y microplancton durante el período de estudio.  | 47             |
| 7. Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.   | 48             |
| 8. Abundancia promedio día y noche del zooplancton ( $\text{ind m}^{-3}$ ) en diferentes   |                |

- estadios, presente en las profundidades de 0 - 50 m; 100 - 50 m; y 300 - 100 m, para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta. **49**
- 9.** Flujo vertical día-noche de material fecal ( $\text{mgC m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), fitoplancton ( $\text{cél m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) y microzooplancton ( $\text{ind m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta. **50**
- 10.** Flujo vertical día-noche de Proteínas ( $\text{mg AATH m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) y Carbono Orgánico Bacteriano ( $\text{mgC l}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta (c/p: con preservante; s/p: sin preservante). **51**

## Índice de figuras

| <b>Figuras</b>   | <b>Páginas</b> |
|--|----------------|
| 1. Área de estudio frente a Antofagasta ( $23^{\circ}10'$ - $24^{\circ}00'S$ ), mostrando la posición de las estaciones de muestreo (C: costa y O: océano).  | <b>52</b>      |
| 2. Botella oceanográfica de 30 l utilizada para el muestreo de biomasa de pellet fecales y microplancton en la columna de agua.  | <b>53</b>      |
| 3. Red Tucker Trawl utilizada para el muestreo del zooplancton.  | <b>53</b>      |
| 4. Trampas de sedimento utilizadas para medir el flujo vertical de COP.  | <b>54</b>      |
| 5. Boyas superficiales y destellador, instaladas en las trampas de sedimento.  | <b>54</b>      |
| 6. Contraste de Kolmogorov – Smirnov (DN: estadístico total del Kolmogorov) para una muestra aplicado a los datos colectados con: botellas oceanográficas de 30 l (A), red de zooplancton Tucker Trawl (B) y trampas de sedimento (C) durante el período de estudio.                               | <b>55</b>      |
| 7. A): Perfiles verticales de Temperatura (I); Salinidad (II) y Oxígeno disuelto (III). B): Perfiles verticales de Clorofila-a (IV); $\mu M NO_3^- l^{-1}$ (V), Carbono orgánico disuelto (VI) y Bacterias (VII), presentes en las estaciones costeras y oceánicas durante el período de muestreo. | <b>56-57</b>   |
| 8. Abundancia de fitoplancton y microzooplancton ( $cél l^{-1}$ ) a distintas profundidades (20 m; 50 m; 300 m) de la columna de agua colectado con botellas oceanográficas de 30 l durante Abril 2001 para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.                                     | <b>58</b>      |
| 9. Abundancia día-noche de copépodos pequeños ( $<1.500 \mu m$ ) y eufáusidos ( $ind m^{-3}$ ) colectados con la red Tucker (muestras integradas) durante Abril  | <b>59</b>      |



2001 para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

**10.** Biomasa de zooplancton total ( $\text{mgC m}^{-3}$ ) para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta durante Abril 2001. **60**

**11.** Flujo vertical de Proteínas ( $\text{mg AATH m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) y Carbono Orgánico Bacteriano ( $\text{mgC l}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico durante Abril 2001, frente a Antofagasta. **61**

**12.** Flujo vertical (%) de Carbono Orgánico Particulado ( $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero durante Abril 2001, frente a Antofagasta. **62**

**13.** Flujo vertical (%) de Carbono Orgánico Particulado ( $\text{mgC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector oceánico durante Abril 2001, frente a Antofagasta. **63**

**14.** Marco Conceptual de la degradación óxica y subóxica de las proteínas en sedimentación a 100 y 300 m para la estación costera y oceánica durante Abril 2001, frente a Antofagasta (TDS ( $\text{mg AATH m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) = Tasa de degradación subóxica; TDO ( $\text{mg AATH m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) = Tasa de degradación óxica) **64**

**15.** Marco Conceptual del porcentaje de Producción Primaria exportada mediante el fitoplancton, microzooplancton y material fecal a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico durante Abril 2001, frente a Antofagasta. **65**

## I. Resumen

Diferencias en las condiciones redox en la columna de agua podrían promover un cambio en la estructura de la cadena alimenticia pelágica y por lo tanto alterar la magnitud del flujo vertical de partículas. Los objetivos de este trabajo son caracterizar los flujos de carbono orgánico particulado (COP) y microplancton en función de factores biológicos y químicos para el área costera y oceánica frente a Antofagasta (23°S, 70°W).

Las muestras fueron obtenidas durante el crucero FLUMO en el Norte de Chile (Antofagasta, 18-26 de abril 2001). En ellas se determinó abundancia y distribución de zooplancton, biomasa de pellet fecales junto con abundancia de microzooplancton en la columna de agua y flujos de material particulado. Para el muestreo, se usó una red Tucker Trawl, botellas oceanográficas de 30 l y trampas de sedimento, respectivamente.

El área de estudio se caracterizó por presentar en la estación costera una Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) aproximadamente entre los 30 y 800 m de profundidad, mientras que en el océano esta descende, presentándose entre los 130 y 1000 m de profundidad. En el estrato 0-50 m se concentró la mayoría del zooplancton, principalmente copépodos de pequeño tamaño (< 1500  $\mu\text{m}$ ) con un promedio de 3772 ind  $\text{m}^{-3}$  en la estación costera y de 317 ind  $\text{m}^{-3}$  en la estación oceánica. En general, el zooplancton evidenció un descenso en las abundancias hacia el océano y estratos inferiores (50-100 y 100-300 m). Se observó una marcada migración vertical de eufáusidos adultos con valores promedio de 7 ind  $\text{m}^{-3}$  (diurno) y de 14 ind  $\text{m}^{-3}$  (nocturno) en el estrato 0-50 m en la estación costera, así como también una dominancia de fitoplancton, principalmente diatomeas que sobrepasan el 90% del fitoplancton total. El porcentaje de la producción primaria que sedimentó como carbono de origen fecal durante el período de muestreo no superó el 0.2%  $\text{día}^{-1}$  en ambas estaciones. Se observó que en el sector costero, el flujo vertical

de material fecal de copépodos ( $2.4 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) fue dominante a 100 m y decreció notablemente hacia estratos más profundos ( $0.6 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  a 300 m), sugiriendo un rápido reciclamiento. Dada las bajas concentraciones de zooplancton en la ZMO y debido a que la degradación microbiana no parece ser afectada bajo condiciones hipóxicas, se sugiere que la hidrólisis enzimática celular mediada por bacterias constituye el principal mecanismo de descomposición de materia orgánica en la ZMO.

## II. Abstract

Differences in redox conditions in the water column could promote a change in the structure of the pelagic food chain and therefore alter the magnitude of vertical particle flux. The objectives of this study are to characterize the POC and microplankton vertical fluxes in relation to of biological and chemical factors in the coastal and oceanic area in off of Antofagasta (23°S, 70°W).

The samples were obtained during the FLUMO cruise in northern Chile (Antofagasta, between April 18 and April 26, 2001). Abundance and distribution of zooplankton, biomass of faecal pellets, as well as the abundance of microzooplankton in the water column and the flux of POC, were determined from these samples. In order to do so, a Tucker Trawl net, 30 l oceanographic bottles and sediment traps were used, respectively.

The study area present an Oxygen Minimum Zone (OMZ) whose upper border in the coastal area was located at a depth of approximately 30 m, whilst in the ocean, it descended up to 130 m depths. Most of the zooplankton was concentrated between 0 and 50 m depths, these were mainly small copepods ( $< 1500 \mu\text{m}$ ) with an average abundance of  $3772 \text{ ind m}^{-3}$  near the coast, and  $317 \text{ ind m}^{-3}$  in oceanic waters. A decrease in the abundance of zooplankton was observed towards the ocean and at inferior strata (50 – 100 and 100 – 300 m depths). A marked vertical migration of euphausiids was observed in the coastal station, with an average abundance of  $7 \text{ ind m}^{-3}$  (day) and  $14 \text{ ind m}^{-3}$  (night) in the 0 – 50 m stratum. Phytoplankton was dominant in the coastal station, being composed mainly of diatoms which exceeded 90% of the total phytoplankton. The percentage of PP which sedimented as carbon of faecal origin during the sampling period, did not surpass  $0.2\% \text{ day}^{-1}$  in both stations. In the coast, the vertical flux of faecal material produced by copepods ( $2.4 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) was dominant at a depth of 100 m and decreased notably towards

deeper strata ( $0.6 \text{ mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  a 300 m), suggesting a rapid recyclement. The low concentrations of zooplankton in the OMZ and the fact that because the microbial degradation does not seem to be affected under hipóxic conditions, suggest that enzymatic hydrolysis by bacteria constitutes the main mechanism of decomposition of organic matter in the OMZ.

### III. Introducción

El Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH), se caracteriza por una surgencia costera que fertiliza la capa eufótica, induciendo altas tasas de producción primaria (PP) en aguas costeras del Norte de Chile (Rodríguez *et al.*, 1991; Marín *et al.*, 1993). Los centros de surgencia juegan un rol fundamental en los ciclos geoquímicos y biológicos, por ejemplo la PP ayuda a controlar la repartición de carbono entre el gran reservorio oceánico y el pequeño reservorio atmosférico (Langue *et al.*, 1990) mientras que, desde el punto de vista de los recursos naturales estos sistemas son los sustentadores de la mayor actividad pesquera desarrollada en el océano (González *et al.*, 1998). Otra característica particular del área es la presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) caracterizada por aguas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto y alta concentración de nutrientes, más somera hacia el sector costero. La presencia del núcleo del máximo salino sub - superficial característico de esta masa de agua, en general coincide con la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO), cuyo límite superior se localiza alrededor de los 200 m en el océano y cerca de los 30-50 m en la costa, influenciando la distribución del zooplancton (Alheit & Bernal, 1983; Morales *et al.*, 1996 a, b; Escribano *et al.*, 2000a).

Las ZMO se han definido como sectores de condiciones hipóxicas permanentes, presentes en la mayoría de los océanos del mundo, pero solo en pocas regiones, incluyendo el Océano Pacífico Oriental, alcanzan valores bajo los 0,5 ml l<sup>-1</sup> (Anderson *et al.*, 1982; Kamykowski & Zentara, 1990). Estas condiciones hipóxicas afectan la distribución de los organismos pelágicos, constituyendo una barrera para la intrusión de la mayoría del zooplancton, excepto los eufáusidos capaces de realizar migraciones verticales (González *et al.*, 2000). Por otro lado, los límites de la ZMO se caracterizan por una fuerte actividad biológica y biogeoquímica donde existe una alta nitrificación y desnitrificación, dando como resultado variaciones en el intercambio de carbono y

nitrógeno entre el océano y la atmósfera, e influenciando significativamente el cambio climático global (Anderson *et al.*, 1982; Codispoti & Christensen, 1985; Codispoti, 1995). A pesar de su importancia, existe escasa información sobre el impacto de la ZMO del norte de Chile sobre los ciclos biogeoquímicos y el sistema pelágico.

Estudios multidisciplinarios se han centrado en los flujos de carbono (C) y nitrógeno (N) en diferentes regiones oceánicas del mundo, dando énfasis a la magnitud de los flujos exportados desde la zona fótica (Joint Global Ocean Flux Study). Rivkin *et al.* (1996), sugieren que entre el 30 al 50% del CO<sub>2</sub> liberado de combustibles fósiles es removido desde la atmósfera y exportado desde la superficie oceánica a estratos más profundos en forma de carbono orgánico disuelto (COD) y carbono biogénico (CB) proveniente de la PP. Este último se puede estimar a través del COP acumulado en trampas de sedimento. Sólo una pequeña fracción de la PP se exporta al océano profundo, principalmente como pellet fecales de crustáceos y agregados de fitodetritus (Henrichs & Reeburgh, 1987). El flujo de COP está sujeto a la utilización de bacterias heterotróficas y zooplancton. Procesos biológicos tales como pastoreo, excreción, lisis celular e hidrólisis enzimática del material celular transfiere el COP a COD (Azam, 1998).

La descomposición biológica de la materia orgánica se da tanto en la presencia o ausencia de oxígeno disuelto (O<sub>2</sub>) en la columna de agua, sin embargo el efecto del O<sub>2</sub> sobre las tasas de degradación de la materia orgánica es complejo por la diversidad de substratos, comunidades microbianas y metazoarias y el hecho de que la mayoría de la materia orgánica aún no es identificada (Wakeham *et al.*, 1997; Hedges *et al.*, 2000). Esto ha dificultado el diseño de experimentos para evaluar la importancia del O<sub>2</sub> y otros factores. Algunos estudios han mostrado que la tasa de respiración bacteriana no es afectada por las condiciones de oxigenación (Westrich & Berner, 1984; Henrichs & Doyle, 1986; Lee, 1992a), mientras que otros estudios sugieren lo

contrario (Smith *et al.*, 1992). Junto con el rol de las bacterias como agentes modificadores de los flujos de material fecal, el metazooplancton también puede aumentar o disminuir los flujos de material particulado a través de la producción de material fecal o a través de la utilización y/o transformación de las partículas (Peinert *et al.*, 1987; Noji., 1991). Por lo tanto, la estructura química de la columna de agua, por ejemplo la disponibilidad de O<sub>2</sub>, puede generar cambios en la estructura de la cadena alimenticia pelágica y alterar la magnitud del flujo de partículas hacia el océano interior.

Estudios previos en el área han mostrado que la PP promedio varía desde 0.5 a 3 g C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Daneri *et al.*, 2000), y el flujo de carbono vertical varía entre 40 y 123 mg C m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> en aguas oceánicas y costeras respectivamente, donde aproximadamente el 95% de la materia orgánica producida por fotosíntesis es remineralizada dentro de los 300 m de la columna de agua (González *et al.*, 1998). En este trabajo contrastaremos la hipótesis que no existe un efecto significativo de la ZMO sobre los flujos de carbono mediados por actividad microbiana y de metazoos.

Sobre la base de los antecedentes mencionados, los objetivos de esta tesis son:

- I. Determinar la abundancia y distribución vertical de fitoplancton, microzooplancton y mesozooplancton influenciado por la ZMO de la zona costera y oceánica.
- II. Estimar el flujo de COP total mediado por la degradación bacteriana y el zooplancton en la zona costera y oceánica.
- III. Establecer un modelo conceptual de flujo de carbono influenciado por la ZMO en la zona costera y oceánica.



## **IV. Metodología**

### ***1. Diseño de muestreo***

El área de estudio comprendió la zona costera y oceánica frente a Antofagasta entre los paralelos 22° 40' y 24° 00'S y el meridiano 72° 00'W y la costa (Figura 1) donde se realizó un crucero de investigación a bordo del B/I "Abate Molina" durante 18-26 abril del 2001, de acuerdo a los objetivos del proyecto FLUMO (Fondecyt 1000366).

Se utilizó la concentración de 1ml l<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto como indicador de los límites de la ZMO, sobre la base que esta concentración caracteriza el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y define la base de la oxiclina (Morales *et al.*, 1996 a, b)

Para examinar las diferencias espaciales en el área de estudio, se clasificó la primera estación como oceánica (23° 20'S y 72° 80'W; 18-21 abril, 2001) y como costera a la segunda estación (23° 16'S y 70° 40' W; 22-26 abril, 2001). En donde se llevaron a cabo mediciones periódicas (día-noche) siguiendo la deriva de un fondeo con dos trampas de sedimento instaladas a profundidades de 100 y 300 m. Se realizaron mediciones de biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua, abundancia y distribución del zooplancton y flujo vertical de material particulado. Además, en cada estación se determinaron parámetros físicos, químicos y biológicos adicionales. Estos datos aún no han sido publicados y fueron proporcionados por los siguientes investigadores: Silvio Pantoja (Salinidad; Temperatura; Oxígeno disuelto; Nitratos; Bacterias; Proteínas y COD) y Giovanni Daneri (Producción Primaria, Respiración Comunitaria y Clorofila-a).

## ***2. Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua***

Se colectaron muestras de material fecal, microzooplancton y fitoplancton de red (>23  $\mu\text{m}$ ), mediante botellas oceanográficas de 30 l a profundidades de 20, 50 y 300 m (Figura 2). El contenido total de las botellas fue filtrado a través de un tamiz de 23  $\mu\text{m}$ , para luego fijar en formalina (4%) las partículas contenidas en la muestra.

La cuantificación de fitoplancton y microzooplancton se realizó usando un microscopio invertido Olympus provisto de contraste de fase siguiendo la metodología propuesta por Utermöhl (1958), y la abundancia se expresó en número de células (fitoplancton) o número de individuos (microzooplancton) por litro.

La determinación taxonómica del fitoplancton se realizó a nivel de género o clase. Los dinoflagelados fueron separados en autótrofos (dino-a), los que fueron incluidos en el fitoplancton y heterótrofos (dino-h), incluidos en el microzooplancton mediante literatura especializada. Este último, fue tratado a nivel de grupos como tintínidos, crustáceos nauplii y dino-h (Alder, 1999 en Boltovskoy, 1999; Hermosilla, 1973; Rivera, 1968; Tomas, 1997).

Los resultados de material fecal fueron estandarizados a mg de carbono por litro.

## ***3. Composición, abundancia y distribución de zooplancton***

El zooplancton fue recolectado usando una red Tucker Trawl de  $1\text{m}^2$  de tamaño de boca, equipada con tres redes de 200  $\mu\text{m}$  y un medidor de flujo de agua (Figura 3). Se colectaron muestras integradas (0-300 m) y muestras en estratos definidos (50-0; 100-50 y 300-100 m de profundidad), las que fueron preservadas en formalina al 5% para su posterior separación, cuantificación y determinación taxonómica.

La cuantificación del zooplancton se realizó usando una lupa estereoscópica, y la abundancia se expresó en número de individuos por metro cúbico ( $\text{ind. m}^{-3}$ ), además se determinó la biomasa

mediante gravimetría (peso seco) la cual se expresó en miligramos de carbono por metro cúbico ( $\text{mgC m}^{-3}$ ).

La determinación taxonómica del zooplankton se realizó a nivel de género o clase mediante literatura especializada (Gasca & Suárez, 1996).

#### ***4. Flujo vertical de material particulado***

Las trampas de sedimento utilizadas consistían de ocho tubos de PVC de 8 cm de diámetro, 1m de alto y un área de colecta de  $0,005 \text{ m}^2$  cada uno (Figura 4). Las trampas fueron instaladas a 100 y 300 m de profundidad, por períodos de aproximadamente 10 horas, mediante una cuerda de perlón provista de boyas superficiales y un destellador (Figura 5). Antes de posicionar las trampas, se adicionó a cuatro de las ocho réplicas 4 ml de  $\text{HgCL}_2$  saturado (preservante), con el fin de detener en estas muestras la actividad de degradación bacteriana (Lee *et al.*, 1992). Al término de cada período de recolecta, se le agregó 4 ml de formalina.

En el laboratorio se realizó la cuantificación de fitoplancton, microzooplankton y material fecal usando un microscopio invertido según el método de Utermöhl (1958).

Los flujos verticales de carbono ( $\text{mgC m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) fueron estimados de acuerdo a procedimientos estándar (mg de carbono por metro cuadrado de área y por día) descritos por Bodungen *et al.* (1991).

Los flujos verticales de proteínas (mg Amino Ácidos Totales Hidrolizables (AATH)  $\text{m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) fueron estimados en base a la cantidad de material capturado en las trampas con preservante (c/p), así como también la degradación subóxica sobre la diferencia de flujos entre las proteínas que sedimentaron a 100 y 300 m de profundidad. Junto con esto, se evaluó la degradación *in situ* de material proteico capturado en las trampas c/p y sin preservante (s/p), asumiendo que las trampas c/p representan el flujo total colectado a la profundidad de fondeo, mientras que el

material colectado en las trampas sin preservante (s/p) es el resultado del flujo vertical del material y degradación microbiana *in situ*.

##### ***5. Estimación del carbono orgánico en el fitoplancton, microzooplancton, material fecal y bacterias colectadas en la columna de agua y en las trampas de sedimento.***

***Fitoplancton:*** El volumen del plasma se determinó igualándolo al volumen celular, para todo el fitoplancton, excepto diatomeas, en donde se resta el volumen vacuolar (Edler, 1979). El contenido de carbono se obtuvo multiplicando el volumen del plasma por los factores de 0.11; 0.3; 0.19 y 0.148 pgC  $\mu\text{m}^3$  para diatomeas, dinoflagelados tecados, dinoflagelados atecados (Gifford & Caron, 2000) y ciliados (Ohman & Snyder, 1991), respectivamente.

***Microzooplancton:*** El contenido de carbono de tintínidos fue estimado, después de medir el volumen de la lórica de las taxas identificadas y suponiendo que 1  $\mu\text{m}^3$  de lórica contiene 0.08 pg de carbono (Garrison & Buck, 1989).

***Material fecal:*** El carbono orgánico se determinó mediante la identificación de los pellets fecales de copépodos, eufáusidos, larváceos y material fecal no determinado. Usualmente estos pellet se encuentran fragmentados por lo que es necesario medir cada fragmento. En las trampas de sedimento junto con los pellet ya mencionados, también se identificaron los minipellet. Los volúmenes totales de los pellet fecales fueron calculados midiendo el largo y ancho promedio de los pellets (intactos y rotos). Se asumió que los pellet de eufáusidos y copépodos presentaban una morfología geoméricamente cilíndrica, mientras que los pellet de larváceos una forma elipsoidal. El carbono fecal fue determinado suponiendo que 1  $\text{mm}^3$  de material fecal contiene 0.07617 mg de carbono (González *et al*, 2000).

***Bacterias:*** El carbono orgánico bacteriano (COB) se obtuvo multiplicando la abundancia bacteriana por 20 fg C  $\text{cél}^{-1}$  (Lee & Fuhrman, 1987).

## ***6. Análisis de los datos obtenidos***

Para comprobar si los datos pueden considerarse pertenecientes a una población con una distribución de probabilidad determinada, se utilizó el contraste de Kolmogorov-Smirnov para una muestra (Figura 6). Por otra parte, para evaluar las diferencias significativas en las abundancias entre ambas estaciones y a distintas profundidades se utilizó el contraste de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras, el cual se basa en el grado de ajuste entre las frecuencias acumuladas entre ambas muestras.

Además se determinó el coeficiente de correlación de Pearson, para establecer la relación entre respiración comunitaria integrada con las variables temperatura y concentración de oxígeno disuelto durante el período de estudio, mediante el software Statgraphics 4.0.

## V. Resultados

### 1. Condiciones bioceanográficas en la columna de agua

Las condiciones oceanográficas durante el período de estudio presentaron diferencias entre ambas estaciones. La distribución vertical de la temperatura en la estación costera muestra la termoclina a 20 m con valores entre los 15 y 13°C, extendiéndose la capa de mezcla entre los 5-10 m de profundidad. En la estación oceánica la termoclina se profundiza a 80 m de profundidad con valores de 14°C y una capa de mezcla entre los 20 y 30 m de profundidad (Figura 7 A-I)

Los valores de temperatura superficial del mar en el sector costero, sugieren un proceso de surgencia caracterizado por aguas de baja temperatura, sin embargo a nivel superficial se observó una masa de agua con temperaturas mayores a 13°C, bajas salinidades ( $< 34,6$  psu) y alto contenido de oxígeno disuelto ( $> 2.4$  ml l<sup>-1</sup>), lo que podría corresponder a la presencia de Aguas Subantárticas (ASA). Alrededor de los 25 m de profundidad se observa un predominio de AESS con temperaturas de 13°C (Figura 7 A-I) y valores de oxígeno disuelto  $< 1$  ml l<sup>-1</sup> (Figura 7 A-III).

En el presente estudio la oxiclina se encontró alrededor de los 30 m en el sector costero, profundizándose a 130 m de profundidad hacia el sector oceánico, indicando condiciones hipóxicas (0,1-1 ml l<sup>-1</sup>) bajo estas profundidades (Figura 7 A-III).

El análisis de los datos indica que en la estación costera, las concentraciones de oxígeno disuelto decrecen desde 2.4 a 0.26 ml l<sup>-1</sup>, detectándose las más bajas concentraciones ( $\leq 0.3$  ml l<sup>-1</sup>) entre los 75 y 400 m de profundidad. En el océano los valores decrecen desde 2.2 a 0.3 ml l<sup>-1</sup> y las más bajas concentraciones, se detectaron entre los 200 y 400 m de profundidad, incrementando el O<sub>2</sub> bajo los 400m hasta 0.9 ml l<sup>-1</sup> a 1000 m de profundidad en ambas estaciones de muestreo (Figura 7 A-III).

Se observaron marcados gradientes costa-océano en relación a PP diaria, RC y Clorofila-a (cl-a).

En la estación costera el valor integrado de PP en la zona fótica (hasta 1% de luz, 25 m) correspondió a 1940 ( $\pm 1170$ ) mgC m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, mientras que en la estación oceánica (75m) el valor estimado fue de 285 ( $\pm 21$ ) mgC m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>. La RC hasta 67 m de profundidad, presentó un promedio de 573 ( $\pm 315$ ) y 204 ( $\pm 221$ ) mgC m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> para costa y océano respectivamente (Tabla 2). Por otra parte en ambas estaciones se observó una correlación positiva entre la respiración y las variables temperatura y oxígeno disuelto (Tabla 3).

Durante el crucero, la distribución horizontal de chl-a indica que la mayoría se concentra en el sector costero con un valor promedio entre la superficie y 400 m de profundidad de 1.2 ( $\pm 1.7$ )  $\mu\text{g l}^{-1}$ , mientras que en el sector oceánico fue de 0.1 ( $\pm 0.1$ )  $\mu\text{g l}^{-1}$ . La distribución vertical muestra una disminución hacia estratos más profundos en ambas estaciones con valores máximos y mínimos en el sector costero a 20 m (4.30  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) y 400 m (0.03  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) de profundidad, mientras que en el sector oceánico se presentaron a 75 m (0.30  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) y 400 m (0.00  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) de profundidad, respectivamente (Figura 7 B-IV). Las concentraciones de chl-a y PP siguen el mismo patrón de distribución costa-océano que las abundancias de fitoplancton.

La distribución horizontal de la concentración de nitratos indica que en el sector costero fue baja con un valor promedio de 7.5 ( $\pm 11.2$ )  $\mu\text{M NO}_3^- \text{l}^{-1}$ , mientras que en el sector oceánico el valor promedio fue de 13.8 ( $\pm 12.5$ )  $\mu\text{M NO}_3^- \text{l}^{-1}$  hasta los 400 m de profundidad. Por otro lado la distribución vertical muestra un aumento hacia estratos más profundos (Figura 7 B-V).

Las concentraciones de COD (Figura 7 B-VI) son similares en ambas estaciones, sin embargo en la costa se observa un máximo subsuperficial a 50 m de 2.8 mg C. l<sup>-1</sup>.

La abundancia bacteriana (cél l<sup>-1</sup>), en la columna de agua fue relativamente mayor en la estación costera con un valor promedio de 4.1 ( $\pm 1.7$ ) \* 10<sup>8</sup> cél l<sup>-1</sup>, mientras que en la estación oceánica fue de 1.0 ( $\pm 7.5$ ) \* 10<sup>7</sup> cél l<sup>-1</sup> (Figura 7 B-VII).

La Figura 7 B-VII, muestra que en el sector costero la abundancia bacteriana es similar entre los 25 m (óxico:  $4.2 * 10^8$  cél l<sup>-1</sup>) y 100 m (hipóxico:  $5.1 * 10^8$  cél l<sup>-1</sup>) de profundidad, lo que se repite en la estación oceánica con un valor de  $2.2 * 10^8$  cél l<sup>-1</sup> a 25 m (óxico) y de  $4.2 * 10^7$  cél l<sup>-1</sup> a 150 m (hipóxico).

Las condiciones bioceanográficas generales están resumidas en la Tabla 1.

## **2. Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua**

Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se encontraron para la biomasa de pellet fecales y fitoplancton entre costa y océano, disminuyendo considerablemente hacia el océano (Tabla 4).

Las abundancias promedio de fitoplancton, microzooplancton y biomasa de pellet fecales fue de  $44942 (\pm 8562)$  cél l<sup>-1</sup>;  $504 (\pm 101)$  cél l<sup>-1</sup> y  $0.06 (\pm 0.02)$  mgC l<sup>-1</sup> respectivamente, disminuyendo hacia el océano alcanzando valores promedio de  $29 (\pm 5)$  cél l<sup>-1</sup>;  $99 (\pm 13)$  cél l<sup>-1</sup> y  $0.0001 (\pm 0.00004)$  mgC l<sup>-1</sup> respectivamente (Tabla 7).

La marcada dominancia de fitoplancton en la estación costera, estuvo representada principalmente por diatomeas pertenecientes al género *Chaetoceros* y *Thalassiosira*, junto con dinoflagelados del género *Ceratium* (Tabla 7). Valores máximos para diatomeas, dino-a y silicoflagelados se presentaron a 20 m de profundidad ( $25602 (\pm 26700)$ ;  $1667 (\pm 1507)$ ;  $5 (\pm 5)$  cél l<sup>-1</sup> respectivamente) coincidiendo con el máximo subsuperficial del cl-a. Los taxa identificados dentro del microzooplancton fueron: tintínidos, dino-h y diversos nauplii de crustáceos. En ambas estaciones los dinoflagelados dominaron por sobre tintínidos y nauplii, alcanzando el 77% (20 m) y 67% (50 m) del microzooplancton total. No se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el microzooplancton entre ambas estaciones (Tabla 4).



Durante el período de estudio la mayoría del material fecal colectado en la columna de agua fueron pellet fecales de larváceos, seguido del ítem clasificado como “otros” y de copépodos. En la costa la concentración de fecas disminuye con la profundidad en cambio en el océano la baja concentración de pellet fecales en la columna de agua muestra una alta variabilidad espacial.

La Figura 8 muestra la distribución vertical del microplancton en función de la ZMO, en donde se evidencia que la mayoría se concentra alrededor de los 20 m de profundidad.

### ***3. Composición, abundancia y distribución de zooplancton***

La distribución horizontal del zooplancton mostró mayores abundancias hacia el sector costero, con diferencias significativas ( $p < 0.005$ ) entre ambas estaciones (Tabla 5).

Los copépodos fueron los organismos dominantes en la comunidad zooplanctónica (sobre el 60%), representados principalmente por pequeños copépodos calanoídeos y ciclopoídeos (*Paracalanus*, *Centropages*, *Oithona* y *Oncaea*). El macrozooplancton estuvo representado principalmente por eufáusidos y zooplancton gelatinoso. Dentro de la categoría “otros”, predominaron los huevos de crustáceos, principalmente en la estación costera (Tabla 8).

El análisis de la distribución vertical muestra que la mayoría del zooplancton se concentró en el estrato superficial de 0-50 m encontrándose diferencias significativas ( $p < 0.005$ ) con los estratos inferiores (Tabla 5) tanto en el sector costero como oceánico. En la figura 9 se observa la distribución vertical de copépodos pequeños ( $< 1500 \mu\text{m}$ ) y eufáusidos migradores (juveniles y adultos) en donde se aprecia una marcada concentración de copépodos de pequeño tamaño en el estrato superficial (0-50 m). Se evidenció una marcada migración vertical diurna - nocturna por parte de los eufáusidos, con valores de abundancia promedio de  $7 (\pm 8)$  y  $1 (\pm 1) \text{ ind. m}^{-3}$ , para los muestreos diurnos y de  $14 (\pm 0)$  y  $3 (\pm 5) \text{ ind. m}^{-3}$ , para los muestreos nocturnos en la costa y

océano, respectivamente. Los copépodos de pequeño tamaño no evidenciaron migración vertical y se mantuvieron preferentemente en el estrato 0-50 m (Figura 9), lo que indica que discontinuidades tales como la termoclina y oxiclina, estarían afectando fuertemente la distribución vertical de la mayoría del zooplancton excepto los eufáusidos. En cambio, en el océano, se observa una distribución más homogénea del zooplancton, principalmente entre los estratos 0-50 m y 100-50 m, presumiblemente debido a la profundización de la termoclina y oxiclina.

La biomasa de zooplancton total ( $\text{mg}$  Peso Seco (PS)  $\text{m}^{-3}$ ) se muestra en la Figura 10 donde el análisis de estos datos coincide con lo descrito anteriormente, es decir la mayoría de la biomasa zooplanctónica se distribuyó en los primeros 50 m de la columna de agua. Junto con esto también se evidenció cambios día-noche, probablemente como consecuencia de la migración de eufáusidos adultos. La biomasa promedio del zooplancton total en el estrato 0-50 m fue de 181 ( $\pm 83$ ) y 37 ( $\pm 27$ )  $\text{mg}$  PS  $\text{m}^{-3}$  durante los muestreos nocturnos, mientras que ésta sólo fue de 106 ( $\pm 66$ ) y 16 ( $\pm 27$ )  $\text{mg}$  PS  $\text{m}^{-3}$  durante los muestreos diurnos, para costa y océano respectivamente.

#### ***4. Flujo vertical de proteínas mediado por la degradación microbiana***

El flujo de proteínas colectado en las trampas con veneno de la estación costera a 100 m ( $0.62 \pm 0.49$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) fue dos veces mayor que el estimado en las trampas a 300 m de profundidad ( $0.28 \pm 0.02$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ). Por otro lado en la estación oceánica el flujo de proteínas en las trampas c/p a 100 m de profundidad ( $1.0 \pm 0.4$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) fue seis veces mayor que en el sector oceánico ( $0.15 \pm 0.10$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) (Tabla 10). La diferencia de flujos en la costa ( $0.34$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) y el océano ( $0.85$   $\text{mg}$  AATH  $\text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) se interpreta como la degradación subóxica de material proteico.

Las tasas microbianas de degradación óxica y subóxica estimadas sobre el flujo vertical de proteínas en la columna de agua son similares en ambas estaciones (Figura 14).

Cabe destacar que la diferencia de flujos en las distintas profundidades, es igual a la tasa de degradación de material colectado que previamente pasó por degradación óxica y subóxica, excepto la tasa de degradación estimada a 100 m en la estación oceánica, donde el material proteico ha sido expuesto sólo a degradación óxica (Figura 14).

La mayoría de los flujos verticales de proteínas fueron mayores durante la noche (sobre el 50% en ambas estaciones), excepto en océano a 300 m de profundidad donde el flujo vertical de proteínas fue mayor durante el día (Figura 12).

La biomasa bacteriana ( $\text{mgC l}^{-1}$ ) presente en las trampas de sedimento fue casi el doble (sobre 60%) en el estrato de 100 m, dominando la mayoría durante la noche (Figura 12).

### ***5. Flujo vertical de carbono orgánico particulado***

Diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) se observaron en el flujo vertical de COP a través del material fecal entre costa y océano (Tabla 6). El flujo de COP fue catorce veces mayor en la estación costera, en donde a 100 m de profundidad el material fecal que sedimentó fue mayor (60%) que a 300 m (40%), predominando en ambos estratos el flujo vertical de material fecal durante la noche ( $> 70\%$ ), así como también la contribución de los pellet fecales de copépodos al total del material fecal ( $> 80\%$ ). Por otra parte, a 300 m (noche) los pellet identificados como “otros” (probablemente de eufáusidos) fueron dominantes (70%) (Figura 12).

El análisis del flujo vertical de material particulado en la estación oceánica, indicó que el material fecal que sedimentó a 300 m fue relativamente mayor (55%) que a 100 m (45%), dominando los pellet fecales de larváceos en ambos estratos (entre 22-34%). El flujo vertical día-

noche indica que los copépodos dominan durante el día mientras que los pellet de eufáusidos y otros durante la noche (Figura 13).

La tasa de sedimentación del fitoplancton y/o microzooplancton fue alta en comparación con el material fecal con una abundancia relativa de 56% (100 m) y 34% (300 m) del COP en la estación costera y de 44% (100 m) y 56% (300 m) del COP en la estación oceánica (Figura 12).

## **VI. Discusión**

### ***1. Condiciones bioceanográficas y distribución de las comunidades planctónicas en la columna de agua.***

Entre ambas áreas de muestreo (costa-océano) se registraron notables diferencias en las condiciones bioceanográficas. Es así como en la estación costera la PP fue seis veces mayor que en la oceánica, con una marcada dominancia de cl-a a 20 m de profundidad, la cual coincide con las altas densidades de fitoplancton, microzooplancton y zooplancton. Esto estaría relacionado a una activa dinámica física en el sector debido principalmente al afloramiento de AESS y la posterior estabilización de la columna de agua que producen las condiciones óptimas para el desarrollo del crecimiento masivo del fito y microzooplancton. De hecho, los valores más altos de PP se han asociado a estas condiciones en la Bahía de Mejillones (Fonseca, 1989; Marín *et al.*, 1993).

En el sector costero, a 10 m de profundidad se detectó Aguas Sub-Antárticas (ASA), lo que estaría indicando la escasez de los vientos del suroeste, trayendo como resultado un débil bombeo de Ekman (González *et al.*, 1998).

La presencia de posibles ASA en la parte superficial de la columna de agua no estaría afectando el plancton que habitualmente se encuentra en las surgencias de esta zona por ser un área altamente productiva durante todo el año (Escribano *et al.*, 2000b). Rutllant (1990), indicó que el área de estudio se caracteriza por presentar una notable variabilidad física en cortos períodos de tiempo, situación que se debería al ciclo diario de eventos forzados por el contraste térmico entre el mar y la tierra.

Por otro lado, se observó un déficit en la concentración de nitratos, principalmente en la estación costera. Morales *et al.*, (1996a) estimaron en la zona norte de la Corriente de Humboldt

concentraciones dentro de un rango de 0 – 20  $\mu\text{M}$  sobre los 100 m de la columna de agua, incrementando sobre los 38  $\mu\text{M}$  a 400 m de profundidad. De acuerdo a lo anterior, nuestros resultados muestran valores promedios relativamente bajos principalmente en la estación costera [ $7.5 (\pm 11.2) \mu\text{M NO}_3^- \text{l}^{-1}$ ], lo que podría estar evidenciando dos posibles procesos en la columna de agua: i) disminución del pulso de surgencia durante el período de muestreo y por lo tanto las comunidades fitoplanctónicas estarían utilizando la mayoría del nitrato, ii) altas tasas de desnitrificación por parte de las comunidades bacterianas debido a una somera ZMO.

La correlación positiva observada entre respiración y temperatura indica que la tasa de respiración comunitaria aumenta con la temperatura del agua, efecto observado en otros ecosistemas (Hopkinson, 1985, Kemp *et al.*, 1992, Robinson & Williams 1993, Sampou & Kemp 1994) y la correlación positiva entre respiración y concentración de oxígeno en la columna de agua, estaría indicando que la oxiclina, juega un rol crítico como limitante de la respiración aeróbica en el SCH del norte de Chile. Debido a la presencia de una ZMO que se profundiza desde los 30 m en la estación costera hasta los 130 m de profundidad en la oceánica. Este estudio sugiere que el límite superior de la oxiclina es fundamental para definir las diferentes vías de utilización de materia orgánica particulada y disuelta en la columna de agua

Con respecto a la distribución vertical, las mayores abundancias de fitoplancton, microzooplancton y zooplancton, se registraron sobre la oxiclina, en la zona de mezcla de la columna de agua. Esto indica que la profundidad de la ZMO, afecta a la mayoría de las comunidades planctónicas presentes en ambas áreas de estudio, principalmente en la estación costera, sugiriendo una distribución vertical limitada para los organismos, debido a las bajas concentraciones de oxígeno. No obstante, en ambas estaciones se observó una marcada migración vertical de eufáusidos adultos y juveniles. En general el zooplancton puede restringir

su migración vertical o desarrollan algunas adaptaciones especiales para entrar a la ZMO, es así como varias especies del zooplancton son capaces de penetrar en esta capa hipóxica diariamente a través de la migración vertical diurna /nocturna, o incluso algunas especies habitan la ZMO, pudiendo constituir una estrategia de refugio para evadir la predación, o para “invernarse” en condiciones de bajo alimento (Escribano *et al.*, 2000a). González *et al.*, (2003) estudiaron los patrones verticales de *Euphausia mucronata* a través de características enzimáticas anaeróbicas (i.e., actividad de la deshidrogenasa láctica [Ldh] ) y observaron que la actividad de esta enzima aumenta con la temperatura, por lo tanto en medio ambientes fríos estos organismos pueden controlar sus tasas metabólicas anaeróbicas a nivel bioquímico, y es así como *E. mucronata* conduce su migración vertical bajo la termoclina sin reducir su poder metabólico anaeróbico a un mínimo potencial.

Debido a la importancia de la ZMO en los flujos biogeoquímicos y el sistema pelágico, nuevos estudios se están realizando con el objetivo de estudiar la degradación de la materia orgánica a través de estratos óxicos e hipóxicos, así como también identificar los procesos tróficos y metabólicos del sistema pelágico en los límites superiores e inferiores de la ZMO (ver: [www.copas.cl](http://www.copas.cl)).

## ***2. Flujo vertical de proteínas mediado por la degradación bacteriana***

Los resultados muestran que no existen diferencias entre las tasas de degradación sobre las proteínas en sedimentación bajo condiciones óxicas e hipóxicas (Tabla 10), lo que coincide con lo descrito por Pantoja *et al.*, (2004) para la zona de Iquique (Chile).

Los mayores flujos verticales de proteínas se registraron a 100 m de profundidad en ambas estaciones. Lee & Cronin (1982), sugieren que gran parte de los amino ácidos disminuyen en los estratos superficiales de la columna de agua, patrón que se debería a los altos niveles de actividad metazoaria y microbiana en estas zonas (Lee *et al.*, 2000)

Pantoja & Lee, 1999b indicaron que no se ha detectado inhibición de hidrólisis peptídica en la ZMO del norte de Chile. Por otra parte, la actividad bacteriana no parece ser drásticamente diferente bajo condiciones óxicas e hipóxicas (Cole & Pace, 1995), lo que se ve reflejado en las abundancias relativamente similares sobre y bajo la oxiclina, en ambas estaciones de muestreo. No obstante, la biomasa bacteriana disminuye hacia estratos más profundos (300 m), presumiblemente debido a la distribución vertical de sus fuentes potenciales de COD, entre las cuales la PP disminuye con la intensidad de la luz

La mayor disponibilidad de nutrientes orgánicos (biomasa fitoplanctónica como cl-a, amino ácidos libres disueltos y COP) en la estación costera, podría explicar las diferencias de biomasa bacteriana entre ambas estaciones (tres veces mayor en costa).

La mayoría de los flujos de proteínas fueron mayores durante la noche en ambas estaciones, esto podría ser resultado del efecto de la actividad alimenticia del zooplancton en la superficie (i.e fecas y detritus de la superficie oxigenada). Copépodos y otros zooplancteres son activos en la superficie oxigenada (González *et al.*, 2000). Pantoja *et al.* (2004) indican que además, esto podría deberse a que los swimmers entran preferentemente a las trampas sin veneno durante la noche, removiendo el material proteico.



### ***3. Flujo vertical de carbono orgánico particulado***

Legendre & Rassoulzadegan (1996), indican que la exportación de carbono biogénico hacia estratos más profundos se debe principalmente a los siguientes factores: fecas con altas tasas de sedimentación; hundimiento de fitoplancton no pastoreado; migración vertical y hundimiento de detrito orgánico.

Los resultados muestran una alta variación en los flujos verticales en una escala de tiempo de 10 horas, lo que sugiere que las partículas sedimentadas son formadas y destruidas por diferentes tipos de procesos biológicos al cruzar los estratos de la columna de agua (Peinert *et al.*, 1989). Mas allá de los cambios a gran escala en las condiciones hidrográficas, la variabilidad en el flujo de partículas puede ser debido a: i) Distribución en parche del fitoplancton y zooplancton; ii) Características del fitoplancton y zooplancton (abundancia, composición, tamaño y estadíos de desarrollo); iii) Características de los pellet fecales (tamaño, compactación, presencia o ausencia de membrana peritrófica, forma, etc). Otro factor que estaría influenciado el flujo vertical de material particulado es la extensa variabilidad espacial de factores de pequeña escala (cm a m) en el flujo de partículas debido a la advección lateral (González *et al.*, 1994).

En la estación costera dominó el material fecal de copépodos a 100 m de profundidad decreciendo hacia estratos más profundos, los cuales a su vez fueron dominantes en el zooplancton, evidenciando un rápido reciclamiento en la columna de agua a través de diversos procesos tales como: coprofagia por pequeños copépodos ciclopoídeos (Smetacek, 1980); fragmentación (i.e coprorhexia, coprochalia) mecanismo por el cual las fecas de copépodos reducen la tasa de hundimiento (Lampitt *et al.*, 1990) y desintegración por bacterias y/o protistas (Noji *et al.*, 1991). Una importante consecuencia de estos fenómenos es la prolongación del tiempo de residencia de las fecas en aguas superficiales y de esta manera poder ser reciclados en la red microbiana (Smetacek *et al.*, 1990). Al igual que copépodos, otros grupos del zooplancton

como pterópodos (Gilmer & Harbison, 1991), radiolarios (Gowing, 1989), ciliados (Meunier, 1910) y tunicados (Pomeroy *et al.*, 1984) han sido mencionados como consumidores de material fecal desde la columna de agua. Sin embargo durante la noche en el estrato a 300 m los pellet identificados como “otros” fueron dominantes. Debido a su semejanza en tamaño y textura con los pellet de eufáusidos, se deduce que estos fueron los más importantes constituyentes de la categoría “otros”. Longhurst *et al.* (1989) señalaron que el transporte activo de carbono y nitrógeno a través de los migradores diarios contribuye significativamente al flujo vertical. Por otro lado el material fecal de eufáusidos debido a su gran tamaño y alta tasa de sedimentación tienen mas posibilidades que los pellet de copépodos de abandonar la zona fótica superior antes de que sean afectados por procesos físicos o biológicos (González *et al.*, 2000).

En la estación oceánica el flujo vertical de pellet fecales es muy bajo ( $< 0,2\%$  de la PP  $d^{-1}$ ) lo que esta evidenciando un rápido reciclamiento de este material en la columna de agua.

#### ***4. Exportación de Carbono Biogénico (CB)***

Debido a que la exportación de CB fue baja tanto en la estación costera como oceánica durante el período de estudio, ambas estaciones podrían ser clasificadas como sistemas de retención de COP por la relación de PP y flujo vertical. Sin embargo la tasa de sedimentación del fitoplancton y/o microzooplancton fue alta en comparación con la del material fecal, principalmente en el sector costero, lo que sugiere el desacoplamiento con el pastoreo del zooplancton sobre estos blooms (González *et al.*, 1994).

El entendimiento de las tramas tróficas marinas ha cambiado substancialmente durante la última década (Valiela, 1995). Durante los 70's, la cadena trófica “clásica” (Steele 1974) era concebida como lineal, donde el fitoplancton constituía el principal alimento de los consumidores, el mesozooplancton. Hoy en día se sabe que esto no es completamente cierto, y el zooplancton

puede ejercer una fuerte presión de predación sobre otros compartimentos del sistema, incluyendo, ciliados, dinoflagelados heterótrofos, lo que le otorga a la mayoría de los grupos del zooplancton, el carácter de omnívoros. Es así como el concepto tradicional de cadena trófica ha cambiado, pues un número de estudios en diferentes ecosistemas ha demostrado que un gran porcentaje de la PP está constituida por pequeñas células, y que en teoría no podrían ser eficientemente pastoreadas por el zooplancton. Por otra parte, se ha constatado que quizás casi la mitad de la biomasa planctónica está constituida por microorganismos, y que la producción de algunos de ellos puede exceder a la de diatomeas y dinoflagelados, y que estas bacterias son importantes consumidores del material disuelto generado fotosintéticamente. Esto lleva a la incorporación de un anillo microbiano Azam *et al.*, (1983), donde la materia orgánica es parcialmente reciclada a través de microbios, previo a entrar a la clásica trama trófica, representando una cadena trófica circular, más que lineal. Por lo tanto la trama trófica clásica y el anillo microbiano co - existen en estrecha relación y constituyen dos estados funcionales de los ecosistemas marinos (González *et al.*, 2000; Iriarte *et al.*, 2000; *fide* Vargas, 2002).

Los resultados obtenidos revelan que las bacterias podrían estar utilizando una importante fracción de la PP debido a que el COB fue relativamente alto en los distintos estratos estudiados. Fuhrman & Azam (1982), indicaron que las bacterias heterotróficas pueden consumir entre el 20 - 60 % de la PP total, lo que explicaría el bajo porcentaje de carbono exportado desde las capas superficiales. Por otro lado se observó una gran cantidad de agregados de nieve marina en las cámaras de sedimentación, lo que no fue posible cuantificar mediante el método de Utermöhl (1958). Esto también estaría influenciando la reducción del flujo vertical hacia estratos más profundos, debido a que la presencia de agregados marinos en los estratos superficiales intensifican la actividad hidrolítica y la producción de ectohidrolasas por parte de bacterias (Azam, 1998; Pantoja *et al.*, 2003).

## VII. Conclusiones

- La abundancia de fitoplancton de red ( $> 23 \mu\text{m}$ ), PP, cl-a, muestra una marcada disminución en abundancia desde la costa hacia el océano, sugiriendo la dominancia de la trama trófica clásica en la estación costera y el anillo microbiano en la estación oceánica.
- Las mayores abundancias verticales, principalmente de copépodos de pequeño tamaño (*Paracalanus*, *Oncaea* y *Oithona*) se asociaron al estrato superficial óxico, indicando la influencia de la ZMO como una barrera a la distribución de los organismos, excepto para los eufáusidos debido a que el patrón de migración vertical de eufáusidos adultos fue muy marcado en el estrato 0-50 m, con menores abundancias durante los muestreos diurnos que los nocturnos.
- El flujo de COP (como % de la PP) durante el período de estudio fue bajo, tanto en la estación costera como oceánica, lo que evidencia un rápido reciclamiento del material particulado en la zona superficial de la columna de agua, condicionado probablemente por mecanismos físicos (advección) y biológicos (remineralización y consumo).
- La ZMO constituye un factor determinante sobre los flujos de carbono mediado por la actividad microbiana y metazoaria.
- Dada las bajas concentraciones de zooplancton en la ZMO y debido a que la degradación microbiana no parece ser afectada bajo condiciones hipóxicas, se sugiere que la hidrólisis enzimática celular mediada por bacterias constituye el principal mecanismo de descomposición de materia orgánica en la ZMO.

- El déficit de nitratos y la ausencia de inhibición de la actividad bacteriana bajo condiciones hipóxicas, sugiere que la presencia conjunta de la surgencia asociada a la ZMO pone en evidencia una intensa nitrificación y desnitrificación por debajo de la zona eufótica. Ambos procesos producen  $N_2O$ , uno de los más potentes gases invernadero con fuertes efectos climáticos (e.g. cambios en el océano, agricultura, desertificación y deforestación).

## VIII. Literatura Citada

- Alheit, J. & Bernal, P. (1993)** Effects of physical and biological changes on the biomass yield of the Humboldt Current System. En: Large Marine Ecosystems, Sherman, K., Alexander, L., & Gold, B., (eds). Am. Assoc. Adv. Sci. Press, Washington DC. pp 53-68.
- Alder, V. (1999)** Tintinnoinea. En Boltovskoy, D. (eds). South Atlantic Zooplankton, volume 1. Backhuys Publishers, Leiden. pp 321 -385 .
- Anderson, J., Okubo, A., Robbins, A. & Richards, F. (1982)** A model for nitrite and nitrate distributions in oceanic oxygen minimum zones. *Deep- Sea Res.* 29: 1113-1140.
- Arnosti, C., Repeta, D. & Blough, N. (1994)** Rapid bacterial degradation of polysaccharides in anoxic marine systems. *Geochem Cosmoch. Acta.* 58: 2639–2652
- Azam, F. (1998)** Microbial control of oceanic carbon flux: The plot thickens. *Science.* 280: 694-606.
- Bodungen, B., Wunsch, M. & Fürderer, H. (1991)** Sampling and analysis of suspended and sinking particles in the northern North Atlantic. En: Hurd, D., Spencer, D., (eds). Marine Particles: Analysis and Characterization. Am Geophys Union, *Geophys. Monogr.* 63: 47-56.
- Boltovskoy, D. (1999)** South Atlantic Zooplankton, volume 1. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Codispoti, L. & Christensen, J. (1985)** Nitrification, denitrification and nitrous oxide cycling in the eastern tropical South Pacific. *Ocean. Mar. Chem.* 16: 277-300.
- Codispoti, L (1995)** Is the ocean losing nitrate? *Nature* 376-724.

- Cole, J. & Pace, M. (1995)** Bacterial secondary production in oxic and anoxic freshwaters. *Limnol. Oceanogr.* 34: 703-724.
- Daneri, G. Dellarossa, V. Quiñones, R. Jacob, B. Montero, P. & Ulloa, O. (2000)** Primary production and community respiration in the Humboldt Current system off Chile and associated oceanic areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 197: 41 - 49.
- Edler, L. (1979).** Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. *Baltic Marine Biologist.* 293: 5-38.
- Escribano, R., Marín, V., & Iribarren, C. (2000a)** Distribution of *Euphausia mucronata* at the upwelling area of Peninsula Mejillones, northern Chile: the influence of the oxygen minimum layer. *Sci. Mar.* 64(1): 69-77.
- Escribano, R. & Hidalgo, P. (2000b)** Spatial distribution of copepods in the north of the Humboldt Current region off Chile during coastal upwelling. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 80: 283-290.
- Escribano, R., Hidalgo, P. (2001)** Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile (23° S). *Rev. Biol. Mar. Ocean.* 36(1):43-60.
- Fonseca, T. (1989)** An overview of the Poleward Undercurrent and upwelling along the Chilean coast. En: Poleward flows along Eastern Ocean Boundaries, Neshyba, S., Mooers, R., Smith, R. & Barber, R. (eds). Spring- Verlag, New York. 203-228.
- Fuhrman, J. & Azam, F. (1982)** Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters. Evaluation and field results. *Mar. Biol.* 66:109.
- Garrison, D. & Buck, K. (1998)** Protozooplankton in the Wedell Sea, Antarctica: abundance and distribution in the ice-edge zone. *Polar Biol.* 9: 341-351.

- Gasca, R. & Suárez. (1996)** Introducción al Estudio del Zooplancton Marino. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) / CONACYT. México. 711.
- Gifford, D. & Caron, D. (2000)** Sampling, preservation, enumeration and biomass of marine protozooplankton. En: Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal H., Huntley, M. (eds) ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press. pp 193-221.
- Gilmer, R. & Harbison, G. (1991)** Diet of *Limacina helicina* (Gastropoda: Thecosomata) in Arctic waters in midsummer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 77: 125-134.
- González, R., Quiñones, R., Veas, R. (2003)** Specific LDH activity in a community inhabiting in the oxygen minimum zone of the Humboldt Current System conforms a catabolic allometric cascade. *J. Plankton. Res.* 24(12):1349-1356.
- González, H., Daneri, G., Figueroa, D., Iriarte, J., Lefevre, N., Pizarro, G., Quiñones, R., Sobarzo, M., & Troncoso, A. (1998)** Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO<sub>2</sub> en la zona norte de la corriente de Humboldt (23°S): Posibles efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 71: 431-432.
- González, H., Ortiz, V., y Sobarzo, M. (2000)** The role of faecal material in the particulate organic carbon flux in the northern Humboldt Current, Chile (23°S), before and during the 1997-1998 El Niño. *J. Plankton. Res.* 22: 499-529.
- González, H. & Smetacek, V. (1994)** The possible role of the cyclopoid copepod *Oithona* in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 113: 233-246.
- Gowing, M. (1989)** Abundance and feeding ecology of Antarctic phaeodarian radiolarians. *Mar. Biol.* 103: 107-118.



- Hedges, J., Eglinton, G., Hatcher, P., Kirchman, D., Arnosti, C., Derenne, S., Evershed, R., Kögel-Knabner, I., de Leeuw, J., Littke, R., Michaelis, W. & Rullkötter, J. (2000)** The molecularly-uncharacterized component of nonliving organic matter in natural environments. *Organic Geoch.* 31: 945-958.
- Hermosilla, J. (1973)** Contribución al conocimiento sistemático de los dinoflagelados de la bahía de Concepción, Chile. *Gayana.* 24: 3-149.
- Henrichs, S. & Doyle, A. (1986)** Decomposition of <sup>14</sup>C-labeled organic substances in marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 31: 765-778.
- Henrichs, S. & Reeburgh, W. (1987)** Anaerobic mineralization of marine sediment organic matter: Rates and role of anaerobic processes in the ocean carbon economy. *J. Geomicrobiol.* 5: 191-237.
- Hopkinson, C. (1985)** Shallow-water benthic and pelagic metabolism: evidence of heterotrophy in the nearshore Georgia Bight. *Mar Biol.* 87: 19-32.
- Iriarte, J., Pizarro, V., Troncoso, V & Sobarzo, M. (2000)** Primary production and biomass of size- fractioned phytoplankton off Antofagasta, Chile (23 – 24°S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *J. Mar Sys.* 26:37-51.
- Kamykowski, D & Zentara, S. (1990)** Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep- Sea Res.* 37: 1861-1874.
- Kemp, W., Sampou, P., Garber, J., Tuttle, J. & Boynton, W. (1992)** Seasonal depletion of oxygen from bottom waters of Chesapeake Bay: roles of benthic and planktonic respiration and physical exchange processes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 85: 137-152.
- Langue, C., Burke, S. & Berger, W. (1990)** Biological production off southern California is linked to climatic change. *Climatic Change.* 16: 319-329.

- Lampitt, R., Noji, T. & Bondungen, B. (1990)** What happens to zooplankton faecal pellet? Implications for material flux. *Mar. Biol.* 104: 15-23.
- Legendre, L. & Rassoulzadegan, F. (1996)** Food- web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. *Mar Ecol Prog Ser.* 145: 179-193.
- Lee, C. (1992)** Controls on organic carbon preservation: The use of stratified water bodies to compare intrinsic rates of decomposition in oxic and anoxic systems. *Geochem. Cosmoch. Acta.* 56: 3323-3335.
- Lee, C. & Cronin, C. (1982)** The vertical flux of particulate organic nitrogen in the sea: decomposition of amino acids in the Peru upwelling area and the equatorial Atlantic. *J. Mar. Res.* 40: 227-251.
- Lee, C., Hedges, J., Wakeham, S. & Zhu, N. (1992)** Effectiveness of various treatments in retarding microbial activity in sediment trap material and their effects on the collection of swimmers. *Limnol. Oceanogr.* 37: 117-130.
- Lee, C., Wakeham, S. & Hedges, J. (2000)** Composition and flux of particulate amino acids chloropigments in equatorial pacific seawater and sediments. *Deep- Sea Res. I.* 47: 1535-1568.
- Lee, S. & Fhurman, J., (1987)** Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton. *App. Environm. Microbiol.* 3: 1298-1303.
- Longhurst, A. & Harrison, W. (1989)** The biological pump: profiles of plankton production and consumption in the upper ocean. *Prog. Ocenogr.* 22: 47-123.
- Marín, V., Rodríguez, L., Vallejo, L., Fuenteseca, J. & Oyarce, E. (1993)** Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile). *Rev. Chil. Hist. Nat.* 66: 479-491.

- Meunier, A. (1910)** Microplankton des mers de Barents et de Kara. In Duc d'Orléans, Campagne Arctique 1907.
- Morales, C., Blanco, J., Braun, M., Reyes, H. & N. Silva. (1996a)** Chlorophyll-a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile the winter and spring 1993. *Deep- Sea Res.* 43(3): 267-289.
- Morales, C., Braun, H., Reyes, J., Blanco, J. & Davies, A. (1996b)** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentration and of a cold- warm sequence 1990-95. *Invest. Mar.* Valparaíso. 24: 77-96.
- Morales, C. (1999)** Carbon and nitrogen fluxes in the oceans: the contribution by zooplankton migrants to active transport in the North Atlantic during the Joint Global Ocean Flux Study. *J. Plankton Res.* 21: 1799-1808.
- Noji, T., Estep, K., MacIntyre, F. & Norrbin, F. (1991)** Image analysis of faecal material grazed upon by three species of copepods: Evidence for coprorhexy, coprophagy and coprochaly. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 71: 465-480.
- Ohman, M. & Snyder, R. (1991)** Growth kinetics of the omnivorous oligotrich ciliate *Strombidium* sp. *Limnol. Oceanogr.* 36: 922-935.
- Pantoja, S., Sepúlveda, J. & González, H. (2004)** Descomposition of sinking proteinaceous material during fall in the oxygen minimum zone off northern Chile. *Deep-Sea Res.* I 51: 55-70.
- Pantoja, S., & Lee, C. (1999)** Peptide decomposition by extracellular hydrolysis in coastal seawater and salt marsh sediment. *Mar. Chem.* 63: 273-291.

- Peinert, R., Bathmann, U., Bodungen, B. & Noji, T. (1987)** The impact of grazing on spring phytoplankton growth and sedimentation in the Norwegian Current. En: Particle Flux in the Ocean. Degens, E., Izdar, E., Honjo, S. (eds.). Mitteilung des Geologischen und Paläontologischen Institut, University of Hamburg. SCOPE/UNEP Sonderband. 62: 149-164.
- Peinert, R., Bodungen, B. von. & Smetacek, V. (1989)** Food web structure and loss rate. En: Berger, W., Smetacek, V., Wefer, G. (eds). Productivity of the ocean: present and past. John Wiley & Sons, New York. pp. 35-48.
- Pomeroy, L., Hanson, R., McGillivray, P., Sherr, B., Kirchman, L & Deibel, D. (1984)** Microbiology and chemistry of fecal products of pelagic tunicates: rates and fates. *Bull. Mar. Sci.* 35: 426-439.
- Rivera, P. (1968)** Sinopsis de las diatomeas de la bahía de Concepción, Chile. *Gayana.* 18: 3-11.
- Rivkin, R., Legendre, L., Deibel, D., Tremblay, J., Klein, B., Crocker, K., Roy, S., Silverberg, N., Lovejoy, C., Mesplé, F., Romero, N., Anderson, M., Matthews, P., Savenkoff, C., Vézina, A., Therriault, J., Wesson, J., Bérubé, C. & Ingram, R. (1996)** Vertical fluxes of biogenic carbon in oceans: is there food web control? *Science.* 272: 1163-1166.
- Robinson, C. & Williams, P. (1993)** Temperature and Antarctic plankton community respiration. *J. Plankton Res.* 15: 1035-1051.
- Rodríguez, L., Marín, V., Farías, M. & Oyarce, E. (1991)** Identification of an upwelling zone by remote sensing and in situ measurements. Mejillones del Sur Bay (Antofagasta, Chile). *Sci. Mar.* 55: 467-473

- Rutllant, J., Fuenzalida, H., Torres, R. & Figueroa, D. (1998)** Interacción Océano-Atmosfera-Tierra en la región de Antofagasta (Chile 23(S): Experimento DICLIMA. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 71: 406- 427.
- Sampou, P. & Kemp, W. (1994)** Factors regulating plankton community respiration in Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 110: 249-258.
- Sievers, H. & Silva, N. (1982)** Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile, latitudes 18°S y 33°S. *Cienc. Tecnol. Mar.* 6: 61-99.
- Smetacek, V. (1980)** Zooplankton standing stock, copepod faecal pellets and particulate detritus in Kiel Bight. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 11:477-490.
- Smetacek, V., Scharek, R. & Nothig, E. (1990)** Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. En: Antarctic Ecosystems: Ecological change and conservation. Kerry, K., & Helpel, G. (eds). pp. 103-114. Springer, Berlin Heidelberg.
- Smith, D., Simon, M., Alldredge, A. & Azam, F. (1992)** Intense hydrolytic enzyme activity on marine aggregates and implications for rapid particle dissolution. *Nature.* 359: 139-142.
- Steele, J. (1974)** The structure of marine ecosystems. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Thomas, A, Carr, M. & Strub, P (2001).** Chlorophyll variability in eastern boundary currents. *Geophy. Res. Lett.* .28(18): 3421 – 3424.
- Tomas, C. (1997)** Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press. Florida Marine Research Institute, St. Petersburg. 858.
- Utermöhl, H.,(1958)** Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. Int. ver. Theor. Angew Limnol.* 9:1-39.

- Valiela, I. (1995)** Marine ecological processes. 2<sup>nd</sup> ed., Springer-Verlag, New York, Berlín.
- Vargas, C. (2002)** Influencia de apendicularias y copépodos en el reciclaje de carbono en sistemas boreales y de surgencia costera. Tesis Doctorado en Oceanografía, Universidad de Concepción, 226.
- Viitasalo, M., Rosenberg, M., Heiskanen, A. & Kosi, M. (1999)** Sedimentation of copepod fecal material in the coastal northern Baltic Sea: Where did all pellets go ?. *Limnol. Oceanogr.* 44(6):1388-1399.
- Wakeham, S., Lee, C., Hedges, J., Hernes, P. & Peterson, M. (1997)** Molecular indicators of diagenetic status in marine organic matter. *Geochem. Cosmoch. Acta.* 61: 5363-5369.
- Westrich, J. & Berner, R. (1984)** The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: The G model tested. *Limnol. Oceanogr.* 29: 236-249.

## **ANEXOS**

**Tabla 1:** Resumen de las condiciones bioceanográficas generales para la estación costera y oceánica durante el período de estudio.

| Variable   | Estación | Promedio              | DS                    | Mínimo                | Máximo                | n  |
|--|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----|
| Temperatura (°C)   | Costa    | 13,8                  | 1,3                   | 11,5                  | 16,1                  | 31 |
|  | Océano   | 17,8                  | 3,1                   | 10,7                  | 20,4                  | 31 |
| Salinidad (psu)  | Costa    | 34,7                  | 0,1                   | 34,5                  | 34,9                  | 31 |
|  | Océano   | 34,7                  | 0,1                   | 34,4                  | 34,8                  | 31 |
| Oxígeno (ml l <sup>-1</sup> )                                  | Costa    | 1,2                   | 0,9                   | 0,3                   | 2,4                   | 31 |
|  | Océano   | 1,9                   | 0,6                   | 0,3                   | 2,3                   | 31 |
| Clorofila (µg l <sup>-1</sup> )                                | Costa    | 1,2                   | 1,7                   | 0,0                   | 4,3                   | 11 |
|  | Océano   | 0,1                   | 0,1                   | 0,0                   | 0,2                   | 11 |
| Nitrato (umoles NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> l <sup>-1</sup> ) | Costa    | 7,5                   | 11,2                  | 0,1                   | 34,6                  | 14 |
|  | Océano   | 13,8                  | 12,5                  | 0,3                   | 34,8                  | 14 |
| COD (mg C l <sup>-1</sup> )                                    | Costa    | 0,9                   | 0,8                   | 0,5                   | 2,8                   | 8  |
|  | Océano   | 0,7                   | 0,2                   | 0,5                   | 1,12                  | 8  |
| Bacterias (cél l <sup>-1</sup> )                               | Costa    | 4,1 * 10 <sup>8</sup> | 1,7 * 10 <sup>8</sup> | 7,3 * 10 <sup>7</sup> | 6,7 * 10 <sup>8</sup> | 14 |
|  | Océano   | 1,0 * 10 <sup>8</sup> | 7,5 * 10 <sup>7</sup> | 1,9 * 10 <sup>7</sup> | 2,1 * 10 <sup>8</sup> | 10 |

**Tabla 2:** Producción Primaria Promedio integrada y Respiración Comunitaria integrada estimada a 75 y 25 m de profundidad (1% de luz) en la estación oceánica y costera respectivamente.

|           |      | Costa                                  | Océano |
|-----------|------|--|--------|
|           |      | <i>mgCm<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup></i> |        |
| <b>PP</b> | Prom | 1940                                   | 285    |
|           | DS   | 1170                                   | 21     |
| <b>RC</b> | Prom | 573                                    | 204    |
|           | DS   | 315                                    | 221    |



**Tabla 3:** Correlación entre Respiración Comunitaria (RC) y las variables temperatura y oxígeno disuelto para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

|                       | Costa | Océano |
|-----------------------|-------|--------|
| <b>RC/Temperatura</b> | 0.73  | 0.84   |
| <b>RC/Oxígeno</b>     | 0.62  | 0.81   |

**Tabla 4:** Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para la biomasa de pellet fecales y microplancton de la columna de agua durante el período de estudio (DN: Estadístico total de Kolmogorov).

|                         | Estratos   | Costa |         | Océano |         | Entre estaciones (costa-oceano) |         |
|-------------------------|------------|-------|---------|--------|---------|---------------------------------|---------|
|                         |            | DN    | p-valor | DN     | p-valor | DN                              | p-valor |
| <b>Fitoplancton</b>     | 20m y 50m  | 0,563 | 0,013   | 0,813  | 0,000   |                                 |         |
|                         | 20m y 300m | 0,563 | 0,013   | 0,813  | 0,000   | 0,896                           | 0,000   |
|                         | 50m y 300m | 0,188 | 0,941   | 0,688  | 0,001   |                                 |         |
| <b>Microzooplancton</b> | 20m y 50m  | 0,444 | 0,339   | 0,333  | 0,699   |                                 |         |
|                         | 20m y 300m | 0,667 | 0,037   | 0,667  | 0,037   | 0,296                           | 0,187   |
|                         | 50m y 300m | 0,556 | 0,124   | 0,667  | 0,037   |                                 |         |
| <b>Material Fecal</b>   | 20m y 50m  | 0,750 | 0,211   | 0,500  | 0,699   |                                 |         |
|                         | 20m y 300m | 0,556 | 0,124   | 0,667  | 0,037   | 0,750                           | 0,002   |
|                         | 50m y 300m | 0,556 | 0,124   | 0,667  | 0,037   |                                 |         |

**Tabla 5:** Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para el zooplancton durante el período de estudio.

|                    | Estratos           | Costa |         | Océano |         | Entre estaciones (costa-oceano) |         |  |  |
|--------------------|--------------------|-------|---------|--------|---------|---------------------------------|---------|--|--|
|                    |                    | DN    | p-valor | DN     | p-valor | DN                              | p-valor |  |  |
| <b>Zooplancton</b> | 0-50m y 100-50m    | 0,378 | 0,010   | 0,324  | 0,041   |                                 |         |  |  |
|                    | 0-50m y 300-100m   | 0,541 | 0,000   | 0,541  | 0,000   | 0,432                           | 0,002   |  |  |
|                    | 100-50m y 300-100m | 0,432 | 0,002   | 0,351  | 0,021   |                                 |         |  |  |

**Tabla 6:** Contraste de Kolmogorov-Smirnov entre las estaciones y las distintas profundidades para el flujo vertical de material fecal y microplancton durante el período de estudio.

|                         | Estrato    | Costa |         | Océano |         | Entre estaciones (costa-océano) |         |  |  |
|-------------------------|------------|-------|---------|--------|---------|---------------------------------|---------|--|--|
|                         |            | DN    | p-valor | DN     | p-valor | DN                              | p-valor |  |  |
| <b>Fitoplancton</b>     | 100 y 300m | 0,333 | 0,996   | 0,667  | 0,532   | 0,667                           | 0,139   |  |  |
| <b>Microzooplancton</b> | 100 y 300m | 0,333 | 0,996   | 0,333  | 0,996   | 0,667                           | 0,139   |  |  |
| <b>Material Fecal</b>   | 100 y 300m | 0,600 | 0,331   | 0,400  | 0,819   | 0,700                           | 0,015   |  |  |

**Tabla 7:** Biomasa de pellet fecales y abundancia de microplancton en la columna de agua para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

| Prof (m)                | COSTA                     |         |        |        |        |        | OCEANO |      |       |       |       |       |
|-------------------------|---------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 20m                       |         | 50m    |        | 300m   |        | 20m    |      | 50m   |       | 300m  |       |
|                         | Prom                      | DS      | Prom   | DS     | Prom   | DS     | Prom   | DS   | Prom  | DS    | Prom  | DS    |
| <b>PELLET FECAL</b>     |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
|                         | <i>mgC l<sup>-1</sup></i> |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Copépodos               | 0.013                     | 0.017   | 0.002  | 0.003  | 0.001  | 0.001  | ..     | ..   | ..    | ..    | ..    | ..    |
| Larváceos               | 0.014                     | 0.031   | 0.011  | 0.020  | 0.000  | 0.000  | ..     | ..   | ..    | ..    | ..    | ..    |
| Eufáusidos              | 0.006                     | 0.015   | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | ..     | ..   | ..    | ..    | ..    | ..    |
| Otros                   | 0.010                     | 0.021   | 0.004  | 0.006  | 0.002  | 0.005  | ..     | ..   | ..    | ..    | ..    | ..    |
| <b>FITOPLANCTON</b>     |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
|                         | <i>cél l<sup>-1</sup></i> |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| <i>Diatomeas</i>        |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Chaetoceros             | 15869.3                   | 13326.9 | 7341.5 | 8061.2 | 5609.9 | 2498.5 | 0.22   | 0.26 | 0.70  | 1.01  | 12.07 | 29.28 |
| Thalassiosira           | 8752.2                    | 11892.9 | 2962.5 | 1416.1 | 409.1  | 234.7  | 0.51   | 0.36 | 0.81  | 1.07  | 0.37  | 0.43  |
| Rhizosolenia            | 75.4                      | 96.8    | 36.7   | 36.6   | 86.4   | 49.0   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.94  | 2.19  |
| Actinophycus            | 43.2                      | 63.4    | 44.3   | 61.6   | 9.2    | 11.7   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Planktoniella           | 162.0                     | 187.3   | 26.2   | 32.4   | 30.9   | 60.0   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Pseudonitzschia         | 51.5                      | 131.3   | 6.1    | 14.5   | 10.7   | 17.9   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Thalassiotrix           | 50.4                      | 131.5   | 0.0    | 0.0    | 7.9    | 11.0   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Eucampia                | 171.9                     | 146.2   | 16.1   | 25.6   | 42.2   | 40.9   | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Coscinodiscus           | 79.7                      | 214.1   | 43.2   | 105.1  | 33.3   | 26.7   | 0.10   | 0.24 | 0.00  | 0.00  | 2.10  | 5.15  |
| Pennada<20              | 261.4                     | 393.5   | 118.9  | 108.5  | 53.0   | 56.5   | 0.83   | 1.47 | 0.63  | 0.75  | 0.78  | 1.17  |
| Centrica>20             | 84.9                      | 116.4   | 13.9   | 19.6   | 7.1    | 6.0    | 0.22   | 0.53 | 0.80  | 1.95  | 0.10  | 0.25  |
| <i>Dino-a</i>           |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Ceratium                | 1429.1                    | 1180.5  | 616.2  | 1445.7 | 92.4   | 84.0   | 2.34   | 1.50 | 3.06  | 4.49  | 0.29  | 0.45  |
| Prorocentrum            | 81.2                      | 139.1   | 9.9    | 20.3   | 0.6    | 0.8    | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Dinophysis              | 157.2                     | 187.5   | 29.3   | 72.8   | 5.0    | 11.5   | 0.14   | 0.22 | 0.07  | 0.17  | 0.28  | 0.69  |
| <i>Silicoflagelados</i> |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Dyctioica               | 2.8                       | 3.2     | 1.8    | 2.9    | 1.0    | 0.7    | 0.00   | 0.00 | 0.57  | 0.93  | 0.72  | 1.14  |
| Distephanus             | 2.4                       | 2.4     | 1.0    | 1.5    | 1.1    | 1.3    | 0.22   | 0.26 | 0.29  | 0.49  | 0.15  | 0.37  |
| <b>MICROZOOPLANCTON</b> |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
|                         | <i>ind l<sup>-1</sup></i> |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| <i>Tintinidos</i>       |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Dictyocysta             | 0.0                       | 0.0     | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.0    | 0.49   | 0.30 | 0.48  | 0.93  | 0.04  | 0.10  |
| Helicostomella          | 16.6                      | 13.9    | 4.2    | 4.2    | 1.2    | 1.1    | 0.00   | 0.00 | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |
| Steenstrupiella         | 21.7                      | 42.0    | 0.4    | 0.4    | 0.2    | 0.2    | 3.70   | 3.09 | 3.37  | 2.17  | 0.31  | 0.40  |
| Dadayiella              | 2.5                       | 2.8     | 0.7    | 1.6    | 0.3    | 0.4    | 2.83   | 3.04 | 2.21  | 1.23  | 0.55  | 0.44  |
| Eutintinnus             | 1.5                       | 2.2     | 3.2    | 4.3    | 0.9    | 0.9    | 2.01   | 1.62 | 1.72  | 3.44  | 0.11  | 0.28  |
| Otros                   | 14.5                      | 20.6    | 1.8    | 1.3    | 1.3    | 1.3    | 4.10   | 2.38 | 8.31  | 7.85  | 0.97  | 0.85  |
| <i>Dino-h</i>           |                           |         |        |        |        |        |        |      |       |       |       |       |
| Desnudo                 | 133.6                     | 150.7   | 33.2   | 45.9   | 2.8    | 6.2    | 3.67   | 3.41 | 6.64  | 9.89  | 0.77  | 0.66  |
| Protoperidinium         | 184.8                     | 137.7   | 28.7   | 67.0   | 2.7    | 4.1    | 6.71   | 5.70 | 35.85 | 74.02 | 4.29  | 7.17  |
| Crust.Naupli            | 41.5                      | 84.6    | 5.1    | 7.0    | 0.8    | 0.9    | 4.37   | 3.48 | 4.87  | 3.62  | 1.24  | 0.82  |

**Tabla 8:** Abundancia promedio día y noche del zooplancton (ind m<sup>-3</sup>) en diferentes estadios presente en las profundidades de 0-50 m; 100-50 m; y 300-100 m, para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

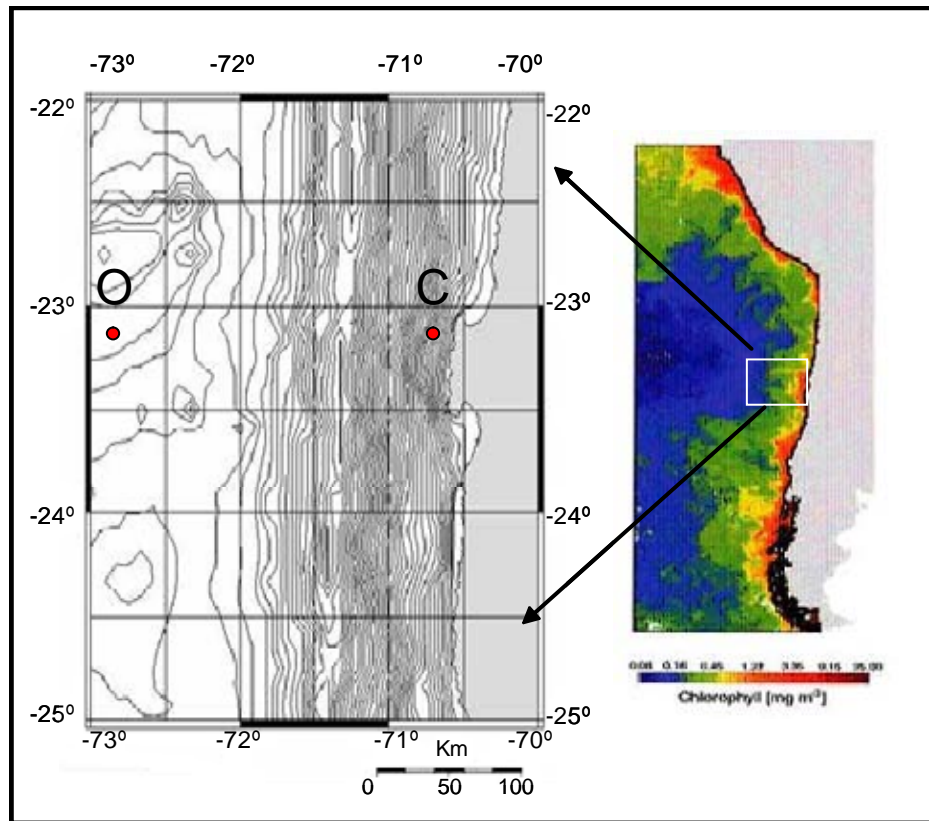
| Prof (m)            | COSTA |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    | OCEANO |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
|---------------------|-------|-----|-------|-----|---------|-----|-------|----|----------|----|-------|----|--------|----|-------|-----|---------|----|-------|----|----------|----|-------|----|
|                     | 0-50m |     |       |     | 100-50m |     |       |    | 300-100m |    |       |    | 0-50m  |    |       |     | 100-50m |    |       |    | 300-100m |    |       |    |
|                     | Día   |     | Noche |     | Día     |     | Noche |    | Día      |    | Noche |    | Día    |    | Noche |     | Día     |    | Noche |    | Día      |    | Noche |    |
|                     | Prom. | DS  | Prom. | DS  | Prom.   | DS  | Prom. | DS | Prom.    | DS | Prom. | DS | Prom.  | DS | Prom. | DS  | Prom.   | DS | Prom. | DS | Prom.    | DS | Prom. | DS |
| <b>COPEPODOS</b>    |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Ind m <sup>-3</sup> |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| <b>Cop.Grandes</b>  |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Calanus             | 3     | 4   | 3     | 2   | 2       | 3   | 0     | 0  | 0        | 1  | 0     | 0  | 1      | 2  | 4     | 6   | 2       | 3  | 0     | 0  | 1        | 0  | 0     | 0  |
| Eucalanus           | 46    | 53  | 33    | 13  | 38      | 17  | 1     | 1  | 2        | 2  | 1     | 2  | 28     | 9  | 25    | 28  | 62      | 58 | 13    | 5  | 12       | 9  | 7     | 5  |
| <b>Cop Chicos</b>   |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Paracalanus         | 1127  | 563 | 470   | 54  | 56      | 9   | 16    | 9  | 11       | 7  | 27    | 44 | 205    | 6  | 340   | 115 | 61      | 63 | 21    | 6  | 13       | 13 | 7     | 2  |
| Acrocalanus         | 423   | 558 | 0     | 0   | 7       | 11  | 1     | 2  | 0        | 0  | 0     | 0  | 3      | 1  | 67    | 96  | 6       | 8  | 3     | 4  | 1        | 1  | 1     | 2  |
| Centropages         | 394   | 227 | 180   | 119 | 127     | 176 | 4     | 2  | 7        | 9  | 9     | 14 | 0      | 0  | 6     | 9   | 1       | 1  | 1     | 1  | 4        | 5  | 0     | 0  |
| Acartia             | 122   | 65  | 109   | 30  | 9       | 2   | 2     | 2  | 2        | 2  | 2     | 1  | 27     | 6  | 30    | 2   | 27      | 37 | 2     | 1  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Candacia            | 22    | 24  | 11    | 10  | 5       | 9   | 0     | 1  | 0        | 0  | 2     | 4  | 0      | 0  | 0     | 0   | 0       | 0  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Metridia            | 36    | 31  | 9     | 9   | 4       | 3   | 0     | 0  | 0        | 0  | 2     | 4  | 17     | 3  | 9     | 6   | 42      | 53 | 3     | 2  | 2        | 3  | 1     | 1  |
| Pleuromamma         | 4     | 7   | 1     | 2   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 0      | 0  | 5     | 4   | 0       | 0  | 1     | 1  | 1        | 1  | 1     | 1  |
| Oithona             | 186   | 231 | 37    | 25  | 5       | 4   | 0     | 1  | 1        | 0  | 3     | 5  | 26     | 1  | 26    | 8   | 33      | 8  | 13    | 6  | 8        | 3  | 4     | 2  |
| Oncaea              | 241   | 232 | 81    | 6   | 30      | 28  | 2     | 2  | 1        | 1  | 2     | 3  | 29     | 17 | 40    | 13  | 60      | 74 | 23    | 13 | 10       | 13 | 4     | 3  |
| Corycaeus           | 77    | 100 | 20    | 17  | 3       | 3   | 1     | 1  | 0        | 0  | 0     | 0  | 4      | 5  | 22    | 8   | 9       | 7  | 6     | 6  | 7        | 8  | 1     | 1  |
| Cop.0-500           | 17    | 6   | 27    | 27  | 2       | 3   | 1     | 2  | 1        | 1  | 0     | 0  | 0      | 0  | 5     | 3   | 3       | 4  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Cop.500-1000        | 112   | 102 | 68    | 64  | 6       | 6   | 1     | 1  | 3        | 5  | 5     | 7  | 3      | 1  | 21    | 9   | 6       | 5  | 2     | 2  | 1        | 1  | 1     | 1  |
| Cop.1000-1500       | 0     | 0   | 0     | 0   | 1       | 1   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 2      | 3  | 1     | 2   | 0       | 0  | 0     | 0  | 1        | 0  | 0     | 0  |
| <b>GELATINOSOS</b>  |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Chaetognatos        | 96    | 123 | 11    | 11  | 51      | 80  | 0     | 0  | 1        | 1  | 2     | 4  | 46     | 8  | 82    | 12  | 28      | 15 | 17    | 9  | 7        | 5  | 4     | 2  |
| Sifonóforos         | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 11     | 5  | 20    | 10  | 4       | 5  | 1     | 1  | 1        | 1  | 0     | 0  |
| Doliolidos          | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 1  | 2     | 5  | 7      | 3  | 0     | 2   | 3       | 1  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Appendicularias     | 41    | 7   | 28    | 17  | 9       | 5   | 0     | 0  | 0        | 1  | 2     | 26 | 24     | 33 | 11    | 13  | 18      | 5  | 3     | 0  | 0        | 1  | 0     | 0  |
| Salpas              | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 0      | 0  | 0     | 0   | 0       | 0  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| <b>EUFUSIDOS</b>    |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Adulto              | 1     | 0   | 25    | 7   | 0       | 0   | 2     | 2  | 12       | 5  | 1     | 0  | 0      | 0  | 9     | 7   | 0       | 0  | 0     | 0  | 3        | 1  | 1     | 1  |
| Juvenil             | 1     | 0   | 12    | 19  | 1       | 0   | 0     | 0  | 4        | 1  | 1     | 1  | 0      | 1  | 3     | 3   | 0       | 0  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Caliptopis          | 2     | 1   | 8     | 9   | 3       | 4   | 0     | 0  | 1        | 1  | 0     | 0  | 2      | 2  | 1     | 1   | 1       | 0  | 1     | 1  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Furcilia            | 1     | 1   | 6     | 4   | 0       | 1   | 0     | 0  | 1        | 1  | 0     | 0  | 2      | 1  | 4     | 5   | 3       | 0  | 1     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| <b>OTROS</b>        |       |     |       |     |         |     |       |    |          |    |       |    |        |    |       |     |         |    |       |    |          |    |       |    |
| Anfipodos           | 0     | 0   | 0     | 0   | 2       | 3   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 1      | 2  | 1     | 2   | 0       | 0  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Pterópodos          | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 11     | 1  | 6     | 6   | 6       | 8  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Larva Cyfonausta    | 67    | 43  | 19    | 25  | 4       | 3   | 0     | 0  | 2        | 2  | 2     | 4  | 1      | 1  | 0     | 0   | 0       | 1  | 1     | 0  | 0        | 0  | 1     | 0  |
| Larva Polichetto    | 29    | 18  | 40    | 11  | 13      | 6   | 3     | 5  | 3        | 1  | 11    | 18 | 1      | 1  | 2     | 2   | 8       | 10 | 2     | 1  | 0        | 0  | 1     | 1  |
| Larva Pecees        | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  | 1      | 1  | 0     | 0   | 0       | 0  | 0     | 0  | 0        | 0  | 0     | 0  |
| Zoea.Crust.         | 26    | 30  | 30    | 22  | 2       | 2   | 1     | 0  | 0        | 1  | 2     | 6  | 8      | 5  | 2     | 6   | 5       | 1  | 1     | 0  | 0        | 0  | 0     | 1  |
| Nauplii Crust.      | 0     | 0   | 0     | 0   | 0       | 0   | 0     | 0  | 1        | 0  | 0     | 0  | 2      | 3  | 5     | 8   | 0       | 0  | 1     | 0  | 0        | 0  | 0     | 1  |
| Huevos Crust.       | 257   | 252 | 25    | 28  | 47      | 49  | 3     | 4  | 3        | 2  | 2     | 2  | 7      | 4  | 23    | 8   | 5       | 1  | 3     | 3  | 1        | 1  | 1     | 1  |
| Ostrácodos          | 11    | 19  | 9     | 16  | 11      | 8   | 0     | 0  | 0        | 1  | 0     | 0  | 3      | 4  | 5     | 2   | 8       | 8  | 4     | 6  | 2        | 1  | 3     | 2  |

**Tabla 9:** Flujo vertical día-noche de material fecal ( $\text{mgC m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), fitoplancton ( $\text{cél m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) y microzooplancton ( $\text{ind m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

| <b>COSTA</b>            |  |          |         |         |          |          |         |         |    |
|-------------------------|--|----------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|----|
| Prof (m)                | 100 m                                    |          |         |         | 300 m    |          |         |         |    |
|                         | Día                                      |          | Noche   |         | Día      |          | Noche   |         |    |
|                         | Prom                                     | DS       | Prom    | DS      | Prom     | DS       | Prom    | DS      | DS |
| <b>M. FECAL</b>         | <i>mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Copépodos               | 0.346                                    | ..       | 2.054   | 0.002   | 0.498    | 0.001    | 0.105   | ..      | .. |
| Larváceos               | 0.182                                    | ..       | 0.014   | ..      | 0.337    | ..       | 0.198   | ..      | .. |
| Eufáusidos              | 0.011                                    | ..       | 0.119   | ..      | 0.071    | ..       | 0.463   | 0.001   | .. |
| Otros                   | 0.133                                    | ..       | 0.000   | ..      | 0.236    | ..       | 2.788   | 0.003   | .. |
| Minipellet              | 0.219                                    | ..       | 0.408   | ..      | 0.322    | ..       | 0.414   | 0.000   | .. |
| <b>FITOPLANCTON</b>     | <i>cél m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Diatomeas               | 17603488                                 | 11803388 | 5170255 | 3068364 | 13325717 | 13784509 | 3462224 | 3003079 | .. |
| Dino-a                  | 3385286                                  | 1943578  | 3369898 | 4765756 | 4431647  | 5918852  | 5331826 | 7540340 | .. |
| Silicoflagelados        | 23448                                    | 22815    | 10345   | 14630   | 20690    | 18055    | 6207    | 8778    | .. |
| <b>MICROZOOPLANCTON</b> | <i>ind m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Tintínidos              | 430855                                   | 390342   | 276978  | 391706  | 353916   | 440049   | 253896  | 359064  | .. |
| Dino-h                  | 2308150                                  | 1257875  | 300059  | 424348  | 2200436  | 2356196  | 484711  | 685485  | .. |
| Crust. Naupli           | 11035                                    | 15666    | 6207    | 8778    | 16552    | 10948    | 10345   | 14630   | .. |
| <b>OCEANO</b>           |  |          |         |         |          |          |         |         |    |
| <b>M. FECAL</b>         | <i>mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Copépodos               | 0.077                                    | ..       | 0.021   | ..      | 0.005    | ..       | 0.029   | ..      | .. |
| Larváceos               | 0.099                                    | ..       | 0.111   | ..      | 0.004    | ..       | 0.109   | ..      | .. |
| Eufáusidos              | 0.075                                    | ..       | 0.000   | ..      | 0.000    | ..       | 0.183   | ..      | .. |
| Otros                   | 0.051                                    | ..       | 0.178   | ..      | 0.000    | ..       | 0.001   | ..      | .. |
| Minipellet              | 0.042                                    | ..       | 0.019   | ..      | 0.008    | ..       | 0.064   | ..      | .. |
| <b>FITOPLANCTON</b>     | <i>cél m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Diatomeas               | 43448                                    | 30723    | 16711   | 23633   | 43448    | 47266    | 49297   | 41358   | .. |
| Dino-a                  | 0  | 0        | 2507    | 1182    | 8355     | 11816    | 3342    | 2363    | .. |
| Silicoflagelados        | 1194                                     | 1688     | 0       | 0       | 597      | 844      | 2387    | 3376    | .. |
| <b>MICROZOOPLANCTON</b> | <i>ind m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup></i> |          |         |         |          |          |         |         |    |
| Tintínidos              | 836                                      | 1182     | 5013    | 7090    | 1671     | 2363     | 3342    | 0       | .. |
| Dino-h                  | 63502                                    | 66172    | 5013    | 7090    | 30080    | 30723    | 20053   | 11816   | .. |
| Crust. Naupli           | 6565                                     | 2532     | 2984    | 4220    | 8952     | 4220     | 3581    | 0       | .. |

**Tabla 10:** Flujo vertical día-noche de proteínas (mg AATH m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) y COB (mgC l<sup>-1</sup>) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta. ( ): Desviación estándar; c/p: con preservante; s/p: sin preservante.

|               | Día          |             | Noche        |              |
|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|               | 100 m        | 300 m       | 100 m        | 300 m        |
| <b>Costa</b>  | c/p          |             | s/p          |              |
| Proteínas     | 0,62 (0,49)  | 0,28 (0,02) | 0,86 (0,47)  | 0,47 (0,08)  |
| COB           | 16,74 (1,31) | 6,90 (0,36) | 18,21 (3,40) | 10,98 (3,45) |
| <b>Océano</b> | s/p          |             | c/p          |              |
| Proteínas     | 0,69 (0,09)  | 0,42 (0,19) | 1,00 (0,40)  | 0,15 (0,10)  |
| COB           | 3,42 (0,00)  | 4,18 (1,53) | 5,97 (3,09)  | 1,28 (0,00)  |



**Figura 1:** Área de estudio frente a Antofagasta ( $23^{\circ}10' - 24^{\circ}00'S$ ), mostrando la posición de las estaciones de muestreo (C: costa y O: océano). La imagen satelital con la distribución de cl-a fue tomada de Thomas *et al.*, 2001.



**Figura 2:** Botella oceanográfica de 30 l utilizada para el muestreo de biomasa de pellet fecales y microplancton en la columna de agua.



**Figura 3:** Red Tucker Trawl utilizada para el muestreo del zooplancton.





**Figura 4:** Trampas de sedimento utilizadas para medir el flujo vertical de COP.



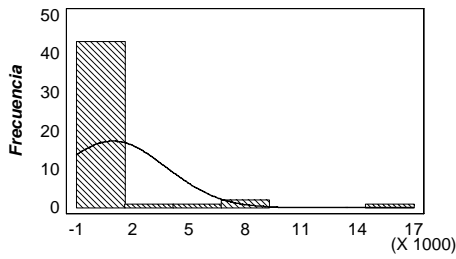
**Figura 5:** Boyas superficiales y destellador, instaladas en las trampas de sedimento.

**COSTA**

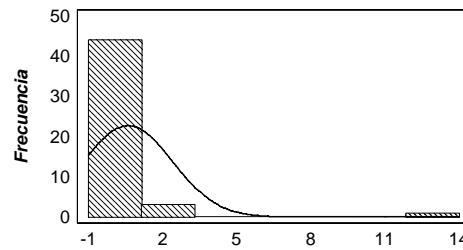
**OCEANO**

**A**

Kolmogorov - Smirnov DN = 0,391759, P-Value = 0,0

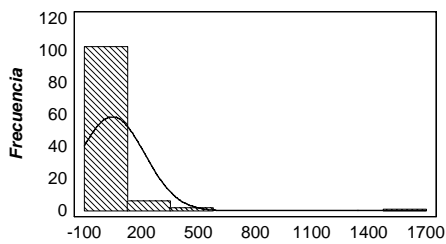


Kolmogorov - Smirnov DN = 0,369062, P-Value = 0,0

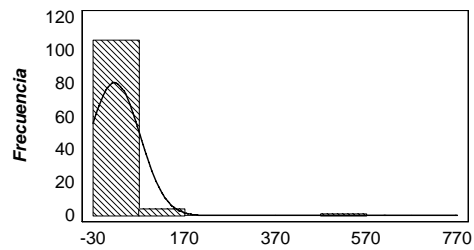


**B**

Kolmogorov - Smirnov DN = 0,391759, P-Value = 0,0

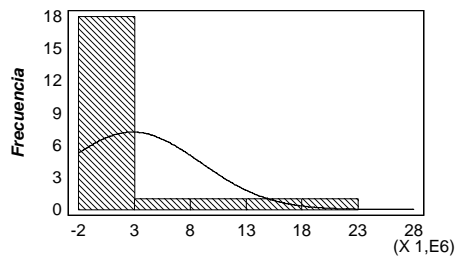


Kolmogorov - Smirnov DN = 0,377606, P-Value = 0,0

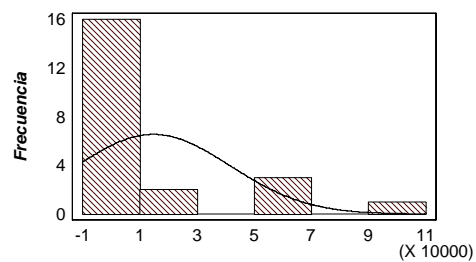


**C**

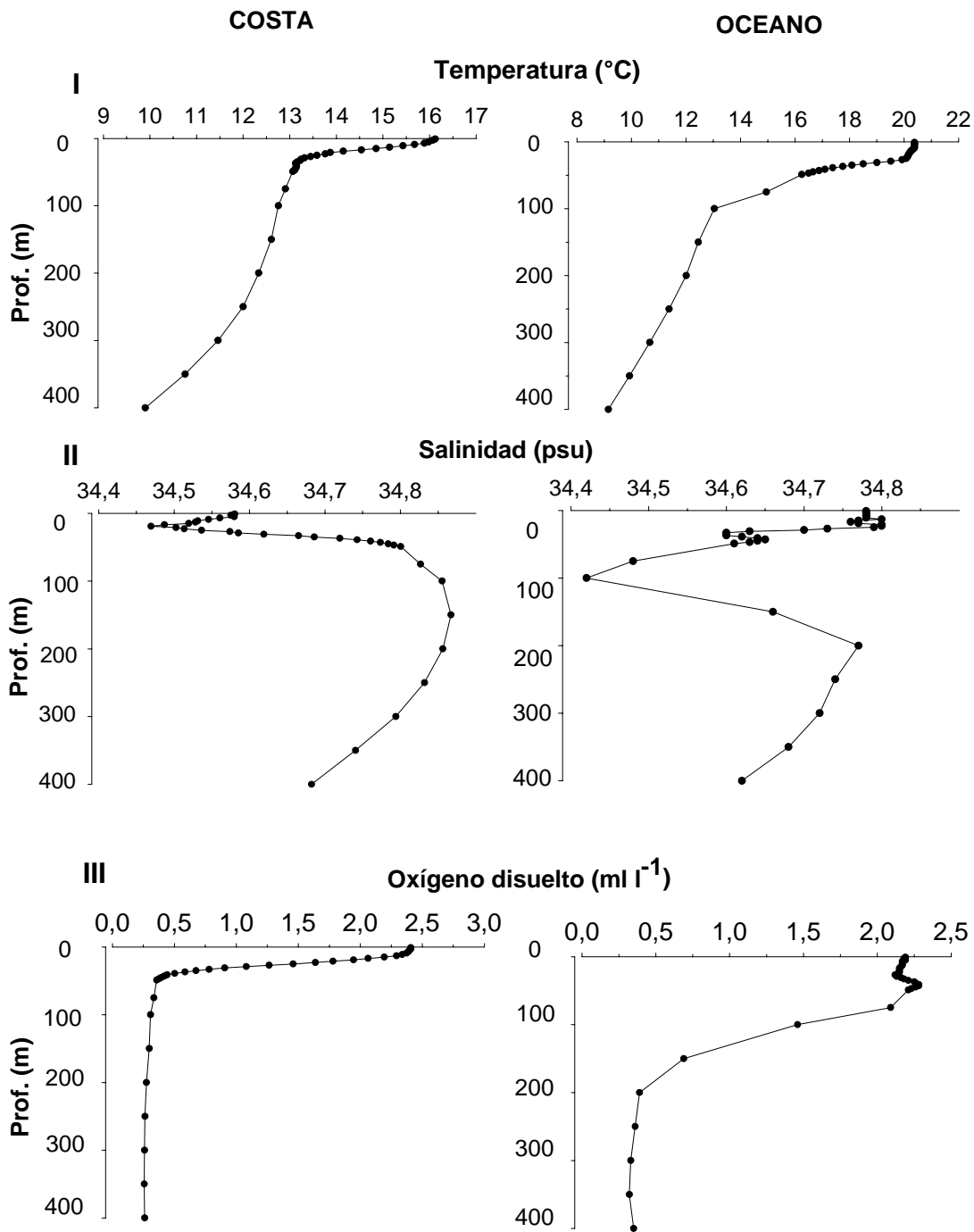
Kolmogorov - Smirnov DN = 0,365205, P-Value = 0,0



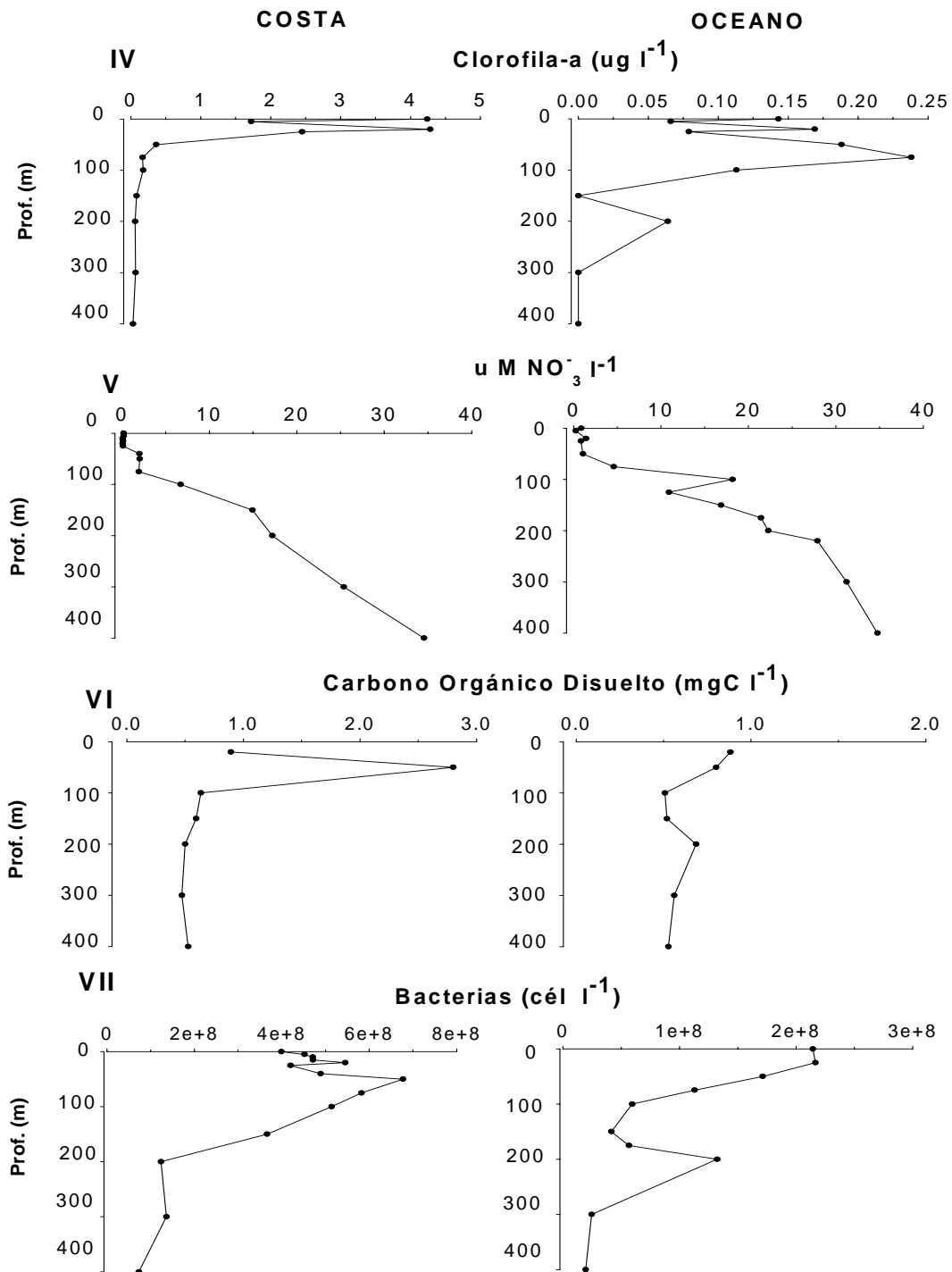
Kolmogorov - Smirnov DN = 0,350742, P-Value = 0,0



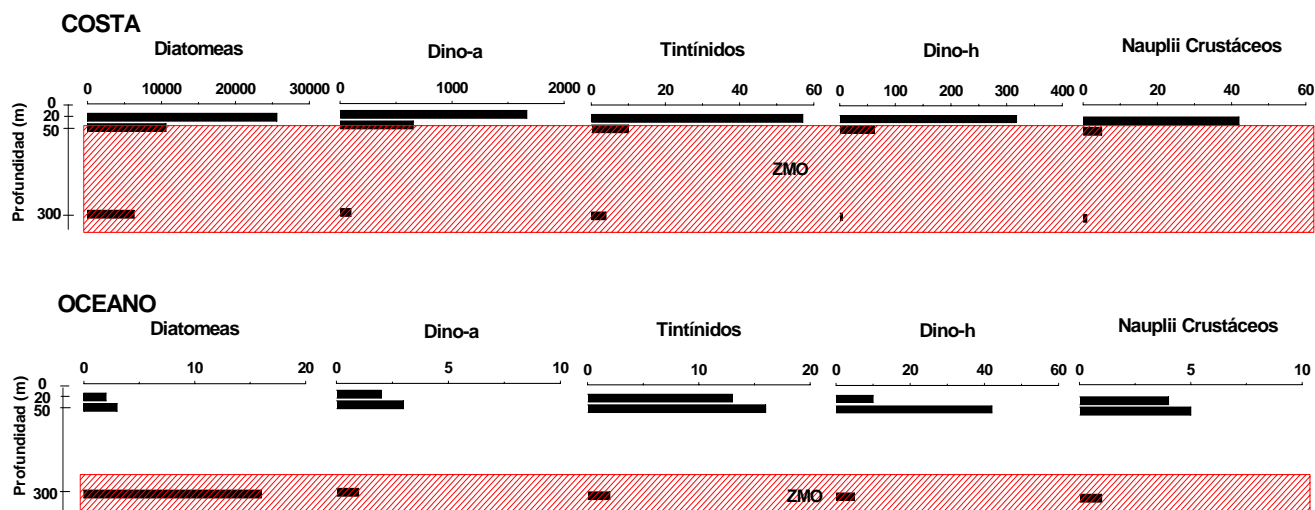
**Figura 6:** Contraste de Kolmogorov – Smirnov (DN: estadístico total del Kolmogorov) para una muestra aplicado a los datos colectados con: botellas oceanográficas de 30 l (A), red Tucker (B) y trampas de sedimento (C) durante el período de estudio.



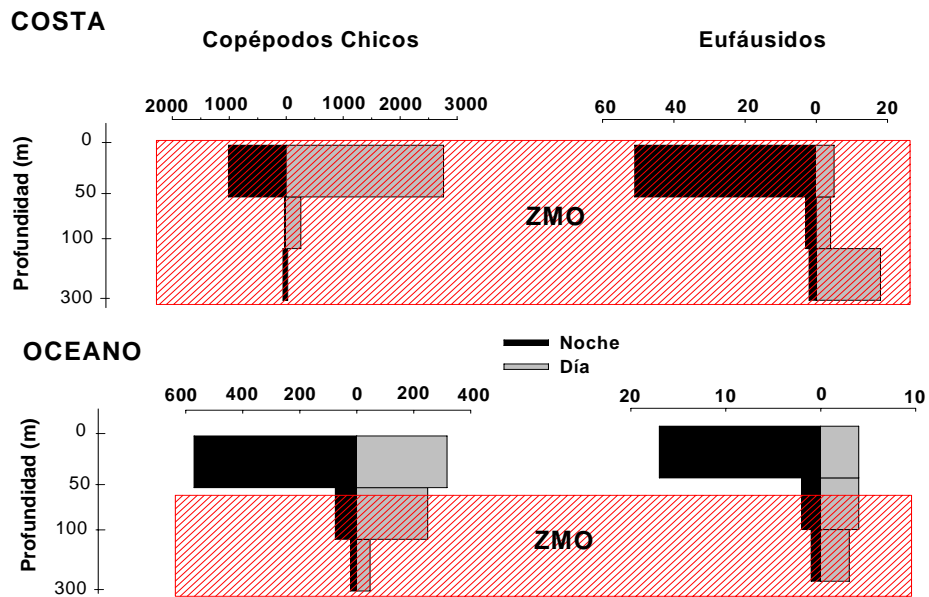
**Figura 7A:** Perfiles verticales de Temperatura (I), Salinidad (II) y Oxígeno disuelto (III), presentes en las estaciones costeras y oceánicas durante el período de estudio.



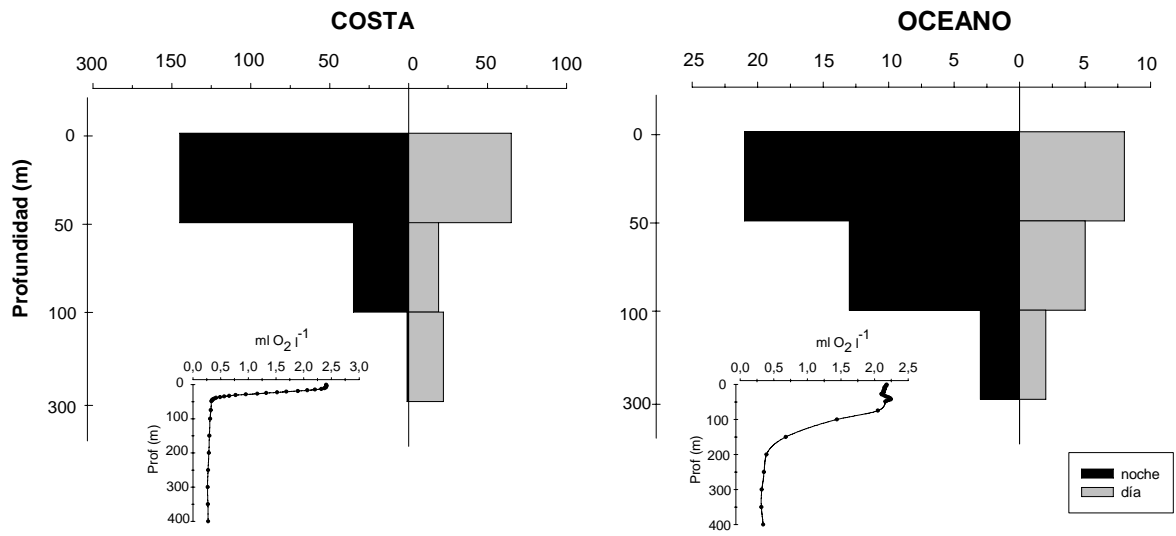
**Figura 7B:** Perfiles verticales de Clorofila-a (IV),  $\mu M NO_3^-$  (V), Carbono Orgánico Disuelto (VI) y Bacterias (VII) presentes en las estaciones costeras y oceánicas durante el período de estudio.



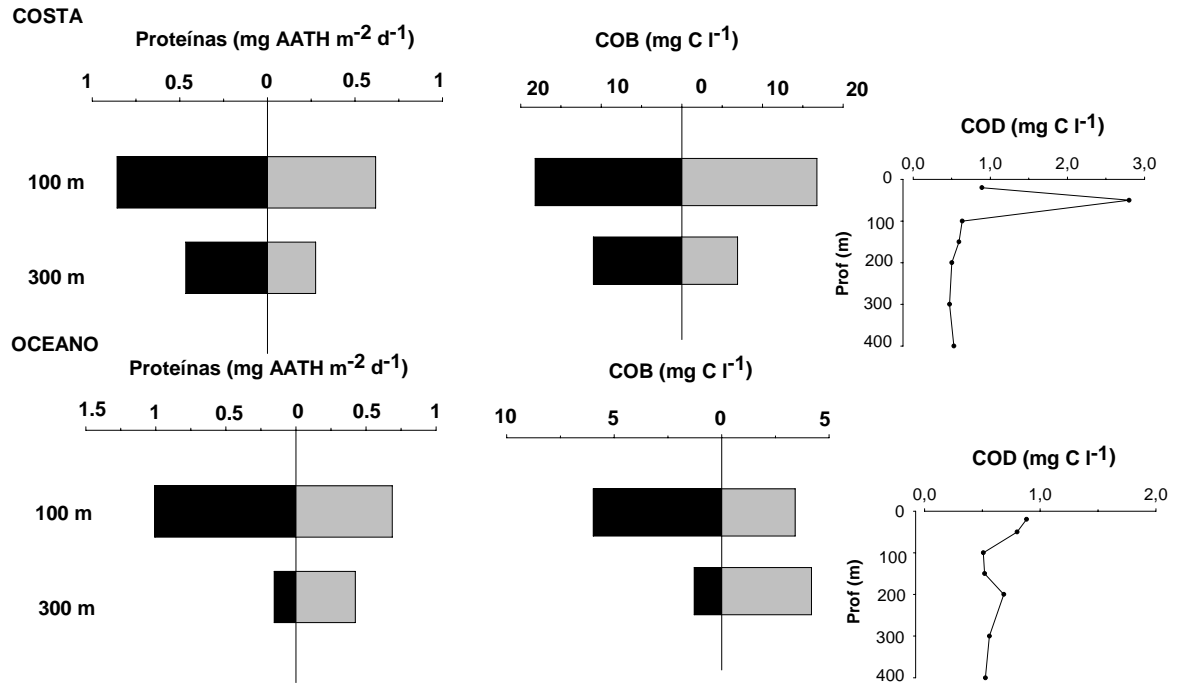
**Figura 8:** Abundancia de fitoplancton y microzooplancton ( $\text{cél l}^{-1}$ ) a distintas profundidades (20 m; 50 m; 300 m) de la columna de agua colectado con botellas oceanográficas de 30 l durante Abril 2001 para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta. El área en rojo denota la presencia de la ZMO.



**Figura 9:** Abundancia día-noche de copépodos chicos ( $<1.500 \mu\text{m}$ ) y eupáusidos ( $\text{ind m}^{-3}$ ) colectados con la red Tucker (muestras integradas) durante Abril 2001 para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta.

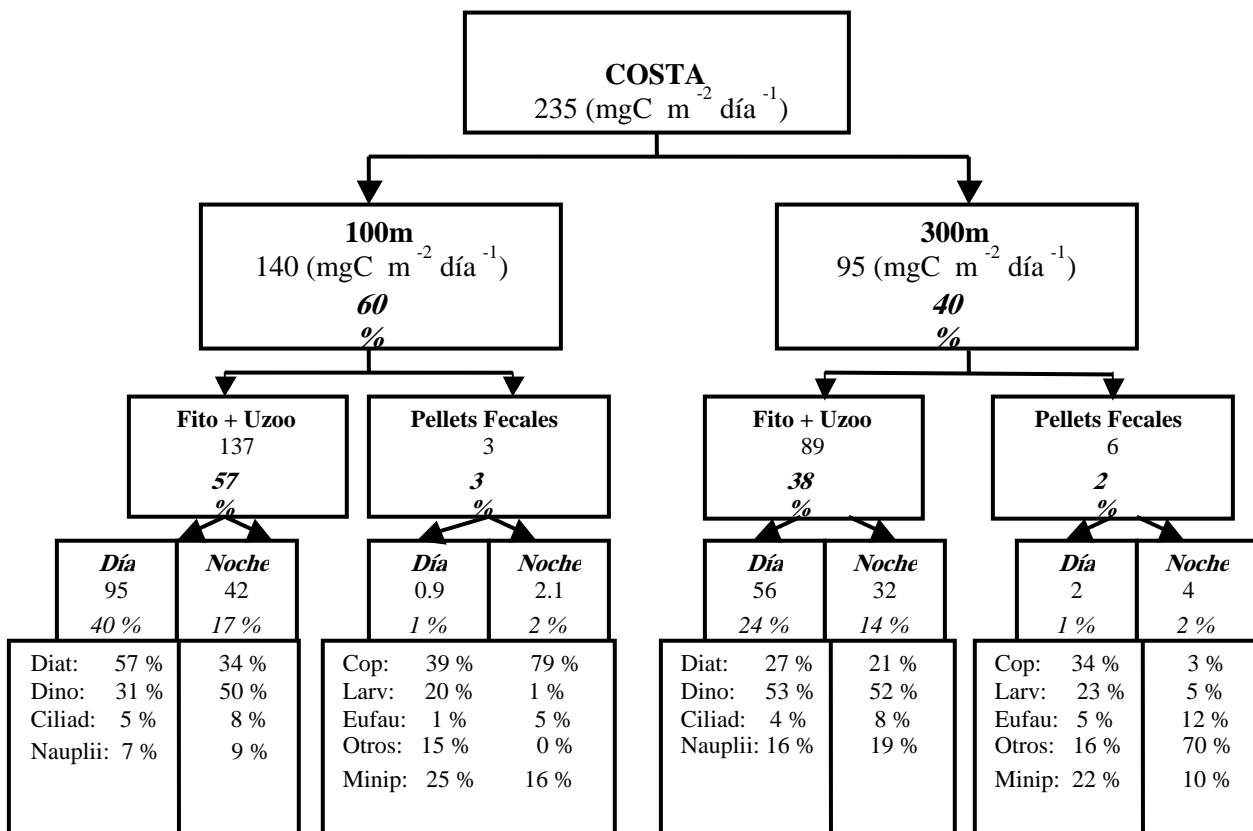


**Figura 10:** Biomasa de zooplancton total ( $\text{mgC m}^{-3}$ ) para el sector costero y oceánico frente a Antofagasta durante Abril 2001.

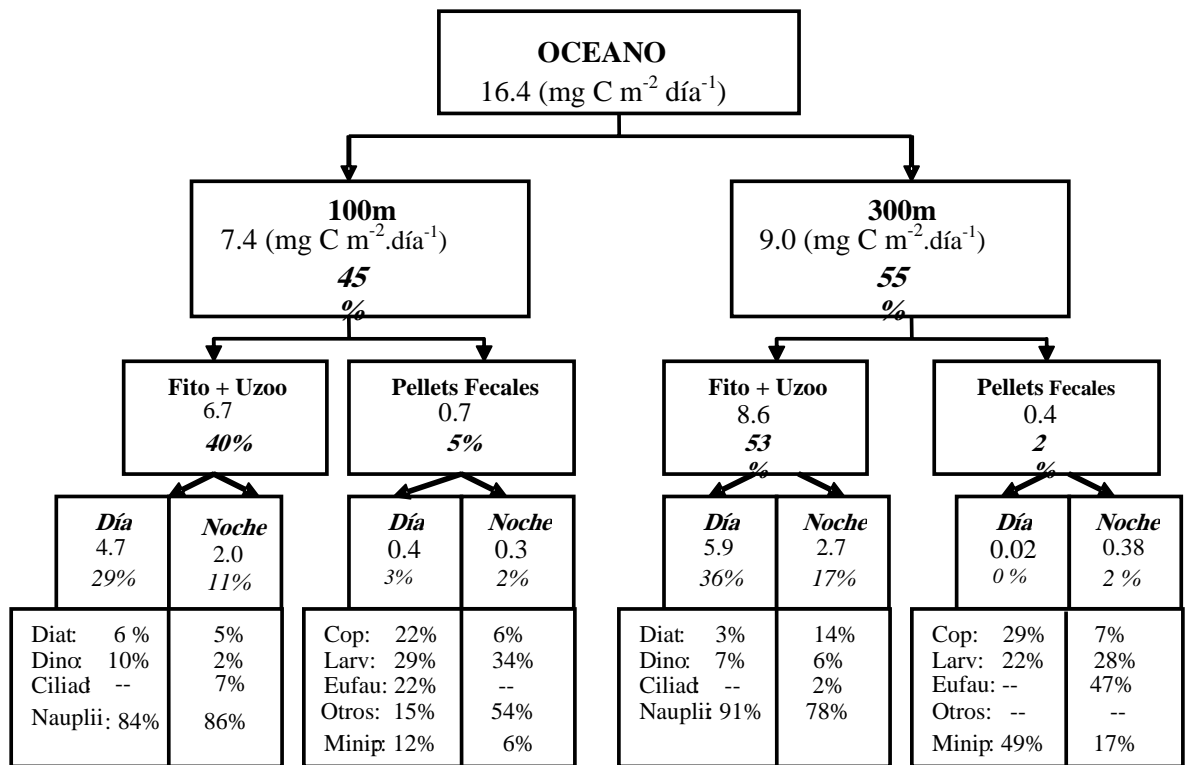


**Figura 11:** Flujo vertical de Proteínas (mg AATH m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>) y Carbono Orgánico Bacteriano (mgC l<sup>-1</sup>) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero y oceánico durante Abril 2001.

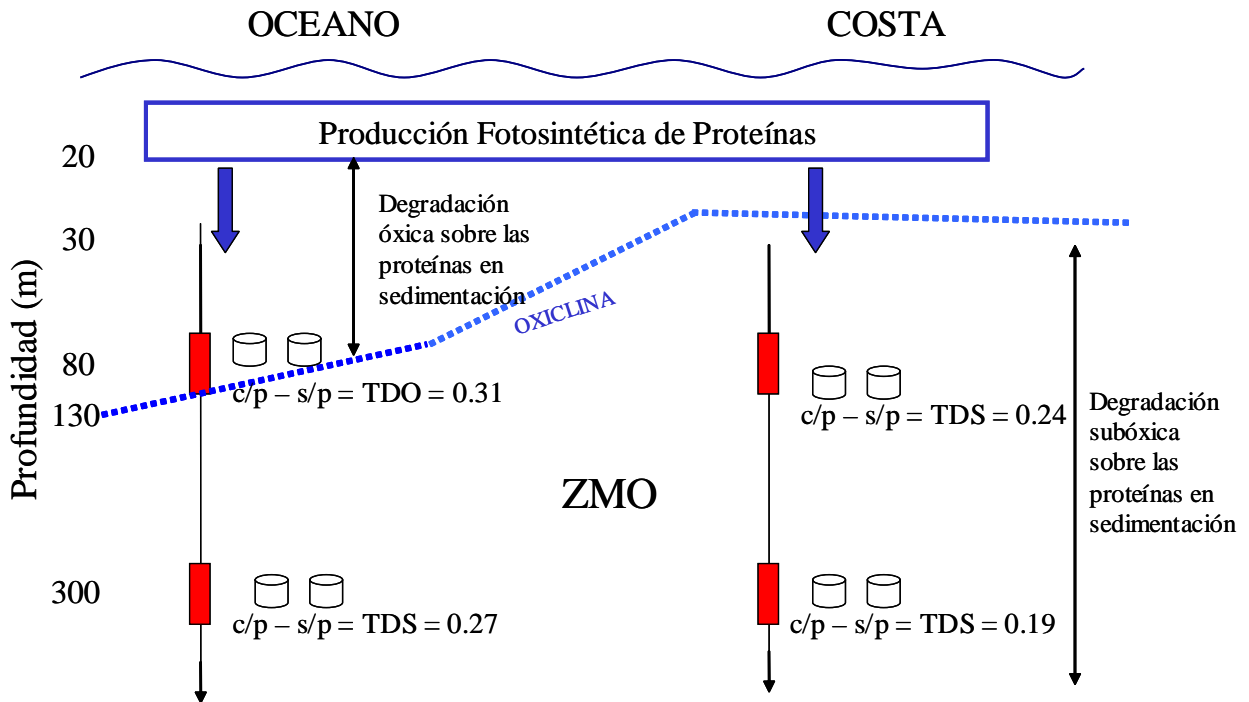




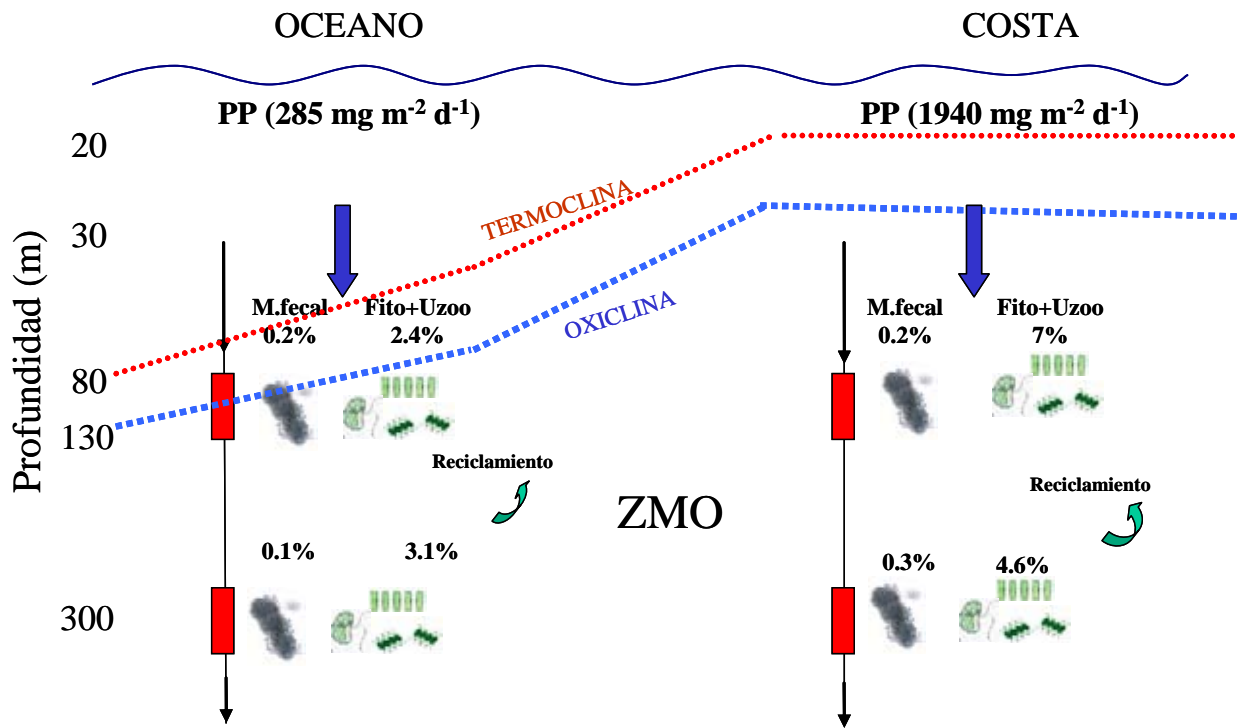
**Figura 12:** Flujo vertical (%) de Carbono Orgánico Particulado (mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) a 100 y 300 m de profundidad para el sector costero durante Abril 2001, frente a Antofagasta.



**Figura 13:** Flujo vertical (%) de Carbono Orgánico Particulado (mgC m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) a 100 y 300 m de profundidad para el sector oceánico durante Abril 2001, frente a Antofagasta.



**Figura 14:** Marco Conceptual de la degradación óxica y subóxica de las proteínas en sedimentación a 100 y 300m para la estación costera y oceánica durante Abril 2001, frente a Antofagasta (TDS = Tasa de degradación subóxica; TDO = Tasa de degradación óxica).



**Figura 15:** Marco Conceptual del porcentaje de Producción Primaria exportada mediante el fitoplancton, microzooplancton y material fecal a 100 y 300 m de profundidad para la estación costera y oceánica durante Abril 2001, frente a Antofagasta