

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Composición, estructura comunitaria y variabilidad estacional del
componente fitoplanctónico en el canal Martínez.

Trabajo de Titulación para optar al Título de Oceanógrafo

Pía Consuelo Navarrete Vargas

Valparaíso, 2018

Comisión de Titulación:

Profesor Guía: Dr. Eduardo Quiroga

Profesor CoGuía: Dr. Italo Masotti

Profesor: Ms.C. Nelson Silva

AUTORIZACIÓN DE USO

Autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente del Trabajo de Titulación. Además, autorizo la reproducción parcial o total de este documento sólo con fines académicos.

Pía Navarrete Vargas

DEDICATORIA

A mis padres por confiar siempre
en mí.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores de la comisión, Eduardo Quiroga, Italo Masotti y Nelson Silva, por sus tiempos, apoyo y correcciones (a mi pésima redacción), para que este proyecto de título tuviese un buen final.

A los proyectos, FONDECYT Regular N°1130691 y CIMAR-20 (C20F 14-01); Caracterización y área de influencia de la pluma estuarina del sistema Baker-Martínez y los nutrientes del mismo crucero, al Laboratorio de Biogeoquímica Isotópica (responsable Dra. Laura Farias), Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, por la disponibilidad de la información.

Al Laboratorio de Oceanografía biológica y Biogeoquímica de la Universidad de Valparaíso por acogerme en mis casi 8 meses de estadía allí. Pilar, Juan y Anto, muchas gracias por cada break que venía acompañado si o si de muchas risas. Definitivamente fue muy grato conocerlos.

A mis compañeros de seminario, Coni, Josue, Pablo y Anto. Agradezco el constante apoyo que nos brindamos, antes, durante y después de cada entrega. Al menos para mí fueron un pilar fundamental en este proceso, y vivir el estrés de la noche anterior juntos lo hacía más llevadero.

A mis amigas, que aunque nos unimos más este segundo semestre, fueron absolutamente necesarias en este proceso. Los carretes, las tardes en la salita tratando de avanzar y los almuerzos, hicieron que este último año haya sido genial. Paulita y Nicol, no puedo no hacerles una mención especial en este año tan distinto para mí, gracias por cada vez que estuvieron ahí para escucharme y contenerme.

A mi familia, por siempre creer en mí (incluso mucho más de lo que yo misma creo en mí), por estar ahí siempre y contenerme cada vez que quería llorar de puro estrés, por cada palabra de aliento, por cada corrección o por quedarse conmigo hasta tarde ayudándome. Infinitas gracias por todo lo que han hecho por mí en mis 23 años.

TABLA DE CONTENIDO

Comisión de Titulación:.....	i
AUTORIZACIÓN DE USO	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
TABLA DE CONTENIDO	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Base de datos de invierno 2014 y verano 2015	10
Base de datos de primavera 2014	11
Caracterización oceanográfica e hidrográfica	12
Análisis de la base de datos	12
RESULTADOS	15
Condiciones oceanográficas	15
Nutrientes	22
Fitoplancton	25
DISCUSIÓN	35
CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caudales medios mensuales en la estación hidrometeorológica “Río Colonia” (www.dga.cl)(Elaboración propia)	2
Figura 2. Modelo conceptual de los procesos físicos que ocurren en un fiordo (Tomado de Inall & Gillibrand, 2010).	3
Figura 3. Modelo conceptual de escalas jerárquicas para el análisis de conjuntos de microfitoplancton en fiordos y canales patagónicos. Las flechas representan las conexiones medias entre hábitats adyacentes y donde el intercambio de materia (entradas/salidas) entre componentes del ecosistema debería afectar de manera diferente la composición de fitoplancton. (Imagen tomada de Paredes et al., 2014).	7
Figura 4. Área de estudio, Canal Martínez, Patagonia Chilena. En color azul (M3, J3, J2, M2, J1, M1), se muestran las estaciones pertenecientes a invierno 2014 y verano 2015. En rojo (96, 97, 98, 11, 14, 12), se muestran las estaciones pertenecientes a primavera 2014. .	10
Figura 5. Distribución de salinidad para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)	16
Figura 6. Distribución de temperatura (°C) para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)	17
Figura 7. Frecuencia Brunt-Vaisala para los 3 periodos estudiados, a) invierno, b) primavera, c) verano, en ciclos/	18
Figura 8. Distribución de turbidez (NTU) para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)	20
Figura 9. Distribución de clorofila (μgL^{-1}) para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)	21
Figura 10. Distribución de nutrientes en el periodo de invierno 2014.	22
Figura 11. Distribución de nutrientes en el periodo de primavera 2014.	23
Figura 12. Distribución de nutrientes en el periodo de verano 2015.	24
Figura 13. Distribución de diatomeas y dinoflagelados para el periodo de invierno.	26
Figura 14. Distribución de diatomeas y dinoflagelados para el periodo de primavera.	28
Figura 15. Análisis de componentes principales para los 3 periodos y los 3 sitios (ZD,ZI,ZE). Las variables ambientales seleccionadas fueron, temperatura, salinidad, caudal, nutrientes (nitrito+nitrato, fosfato, ácido silícico), turbidez y clorofila.	33
Figura 16. Análisis de componentes principales para invierno y los 3 sitios (ZD,ZI,ZE). Las variables ambientales seleccionadas fueron, temperatura, salinidad, caudal, nutrientes (nitrito+nitrato, fosfato, ácido silícico), turbidez y clorofila. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 17. Análisis de componentes principales para primavera y los 3 sitios (ZD,ZI,ZE). Las variables ambientales seleccionadas fueron, temperatura, salinidad, caudal, nutrientes (nitrito+nitrato, fosfato, ácido silícico), turbidez y clorofila. ¡Error! Marcador no definido.	

Figura 18. Análisis de componentes principales para verano y los 3 sitios (ZD,ZI,ZE). Las variables ambientales seleccionadas fueron, temperatura, salinidad, caudal, nutrientes (nitrito+nitrato, fosfato, ácido silícico), turbidez y clorofila.**¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las zonas para el trabajo de métodos multivariados y univariados.	14
Tabla 2. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en invierno	25
Tabla 3. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para dinoflagelados en invierno.	25
Tabla 4. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en primavera.	27
Tabla 5. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las dinoflagelados en primavera.	27
Tabla 6. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en verano	29
Tabla 7. Resultado test de Kruskal-Wallis.....	30
Tabla 8. Resultados prueba PERMANOVA 2-vías, para evaluar las diferencias temporales y espaciales en las abundancias de la comunidad.....	32
Tabla 9. Coeficientes de correlación para el análisis de componentes principales hasta los 5 metros de profundidad.	34

RESUMEN

En el análisis de la composición y estructura comunitaria del fitoplancton se ven involucradas variados factores, ambientales como concentración de nutrientes, disponibilidad de luz, turbulencia, precipitaciones, descarga de ríos, influencia glacial, y biológicos como las interacciones entre organismos, que afectan ya sea de manera positiva o negativa a la estructura de la comunidad en la zona de fiordos.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Patagonia central de Chile, en la desembocadura del río Baker. El canal Martínez recibe descargas provenientes del Baker del orden entre 500 y 2000 m^3s^{-1} , siendo la época de verano en la cual las descargas del río aumentan. La cuenca del río Baker es considerada la más grande del sur de Chile con una área de 27000 Km^2 , además se encuentra ubicado entre Campo de Hielo Norte y Campo de Hielo Sur, lo que potencia las descargas glaciofluviales.

Los períodos de estudios fueron invierno de 2014 (agosto), primavera de 2014 (octubre) y verano de 2015 (enero). Cada período se dividió en tres estaciones, zona de desembocadura (ZD), zona intermedia (ZI), zona exterior (ZE), para así evaluar diferencias espaciales y temporales. La caracterización hidrográfica del canal Martínez se realizó a través de las variables: salinidad, temperatura ($^{\circ}C$), turbidez (NTU), clorofila-a (μgL^{-1}), caudal (m^3s^{-1}) y concentraciones de nutrientes (Nitrito+Nitrato, Fosfato, Ácido Silícico μM). Se estimaron las abundancias y biomásas en carbono para las diatomeas.

Las descargas del río presentaron una marcada estacionalidad, que moduló la variabilidad del canal Martínez. Las abundancias, biomásas y riquezas de especies en superficie registraron mayores concentraciones en la ZE, mientras que en ZD presentaron baja riqueza de especie, bajas abundancias y biomasa. Cabe destacar que en la época de primavera se registró una intensa floración de diatomeas con altas concentraciones de clorofila-a asociadas a condiciones óptimas de la columna de agua.

ABSTRACT

The composition and community structure of phytoplankton many of environmental factors are involved, such as concentration of nutrients, light availability, turbulence, precipitation, discharge of rivers, glacial influence, and biological interactions, which affect either in a positive or negative way the phytoplankton distribution in an fjord ecosystem.

The study area is located in the central Patagonia of Chile, at the mouth of the Baker River. The Martínez channel receives discharges from the Baker between 500 and 2000 $m^3 s^{-1}$, but is in the summer when the discharges of the river increase. The Baker river basin is considered the largest in southern Chile with an area of 27000 Km^2 , it is also located between Campo de Hielo Norte and Campo de Hielo Sur, which enhance glaciofluvial discharges.

The sampling period varied between winter 2014 (August), spring 2014 (October) and summer 2015 (January). In each period, sampling area was divided into three stations along the fjord; zone of mouth (ZD), intermediate zone (ZI), outer zone (ZE), in order to evaluate spatial and temporal differences. The hydrographic characterization of the Martínez channel was carried out through the oceanographic variables: salinity, temperature ($^{\circ}C$), turbidity (NTU), chlorophyll-a (μgL^{-1}), caudal ($m^3 s^{-1}$), and nutrient concentrations (Nitrite + Nitrate, Phosphate, Silicic Acid μM). In addition, carbon abundances and biomasses were estimated for diatoms using literature.

The river discharges exhibited a marked seasonality variability, which modulated the oceanographic condition in the the Martínez channel. Abundances, biomasses and species richness were higher in the EZ in comparison to ZD. However, it is important to mention that in the spring season, there was an intense flowering of diatoms with high concentrations of chlorophyll-a associated to optimal oceanographic conditions.

INTRODUCCIÓN

En la Patagonia Chilena se encuentra uno de los sistemas estuarinos más grandes del mundo. Este se caracteriza por su compleja geografía, de aproximadamente 3.300 islas, una superficie de 240.000 Km² y 84.000 Km de línea de costa, incluyendo islas, penínsulas, canales y fiordos (Silva & Vargas, 2014). En esta región, los canales y fiordos reciben aportes de diversas masas de agua provenientes desde la zona oceánica adyacente al oeste y agua dulce proveniente de los ríos y deshielos de glaciares de la cordillera de los Andes ubicadas al este. Las masas de agua presentes corresponden a Agua Subantártica (ASAA) que se distribuye por la capa superficial, la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) fluye por la capa profunda y se desplaza hasta donde la batimetría de los golfos y canales lo permiten. La ASAA se va mezclando con Agua Dulce (AD) en distintas proporciones, registrando una masa de agua con salinidades de entre 31 y 33 gKg^{-1} , denominada Agua Subantártica Modificada (ASAAM). Las aguas con salinidades inferiores a las de ASAAM se denomina Agua Estuarina (AE). Estas aguas exhiben un patrón de estratificación en la columna de agua de dos capas (Sievers & Silva, 2008). En la región de Aysén, Sievers & Silva (2008) identificaron ASAA, ASAAM y AESS. El Agua Intermedia Antártica (AIAA) no ingresa al interior de los canales y fiordos Patagónicos por restricciones batimétricas.

El Canal Martínez (47°49'S -74°30'O y 47°48'S-73°39'O), se encuentra ubicado en la zona central de la Patagonia chilena, a partir de la desembocadura del río Baker, el cual fluye hacia el sudoeste en un sistema de fiordos conectado al Océano Pacífico. Los principales afluentes del río Baker corresponden a los ríos Nef, Colonia y Ventisqueros en el sector oeste de la cuenca hidrográfica del río Baker y los ríos Chacabuco, Cochrane, Del Salto y Ñadis en el este. Con un área de $\sim 27.000 Km^2$, la cuenca del río Baker es la más grande del sur de Chile abarcando la zona entre 46-48°S y 71-73°W (Dussailant *et al.*, 2012). El caudal del río Baker varía estacionalmente, con los máximos caudales en verano asociado a los deshielos, con caudales registrados en invierno (agosto) y primavera (octubre) del año 2014 entre $841 m^3s^{-1}$ y $668 m^3s^{-1}$ (www.dga.cl), respectivamente. Los máximos valores de caudales han sido registrados en el verano (enero) de 2015 con un caudal promedio de

$1.195 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en la estación hidrometeorológica del Río Colonia (www.dga.cl)(Figura. 1). Las condiciones físicas y químicas de la columna de agua a lo largo de la cuenca del Baker ($47^{\circ}47'S$; $73^{\circ}37'W$) están fuertemente influenciadas por materia alóctona, incluida materia orgánica descargada por los ríos Baker y Pascua. Además, esta cuenca está ubicada entre dos reservas de agua dulce, Campos de hielo norte ($46-47^{\circ}S$) y Campos de hielo sur ($48-52^{\circ}S$) (González *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2014).

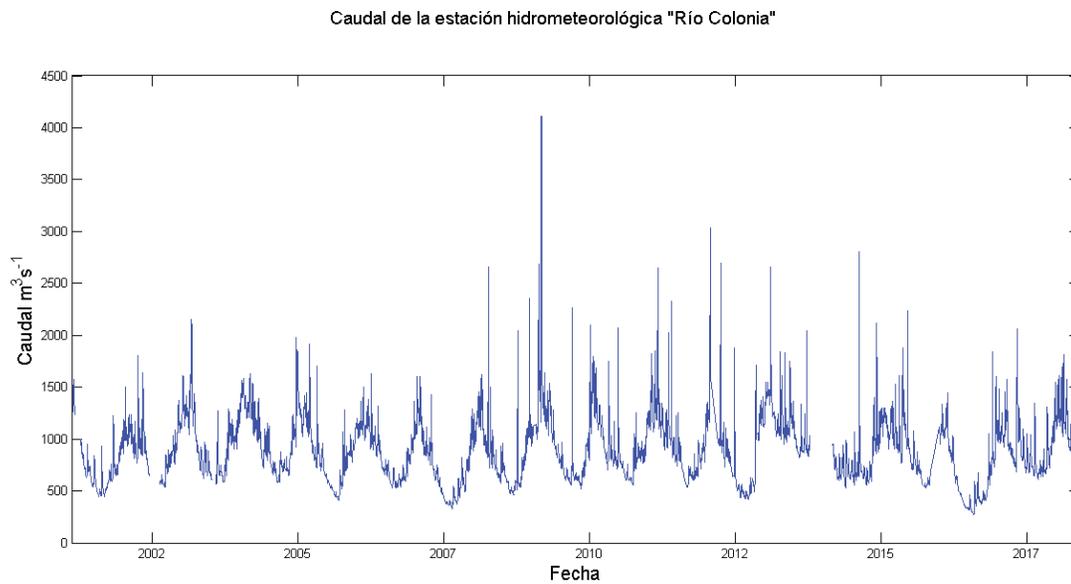


Figura 1. Caudales medios mensuales en la estación hidrometeorológica “Río Colonia” entre los años 2001-2018. (www.dga.cl)(Elaboración propia)

Hetland (2005) describió en general dos procesos que ocurren a lo largo de un fiordo; uno en la desembocadura del río y otro en la boca del fiordo. Para ambos casos, se han descrito procesos muy distintos, en las zonas de desembocadura ocurre una alta estratificación, mientras que, hacia la boca del fiordo, el viento modula los procesos de mezcla con las aguas de origen oceánicas, con mayor salinidad y temperatura, generando un medio estuarino, con marcadas termohalina y nutriclina los que a su vez afectan la producción

biológica (Ramírez, 2006). El comportamiento de un fiordo se ve influenciado por forzantes como la marea, el viento, la entrada de agua dulce, la temperatura vertical y la estructura de salinidad en el océano adyacente (Inall & Gillibrand, 2010)(Figura. 2).

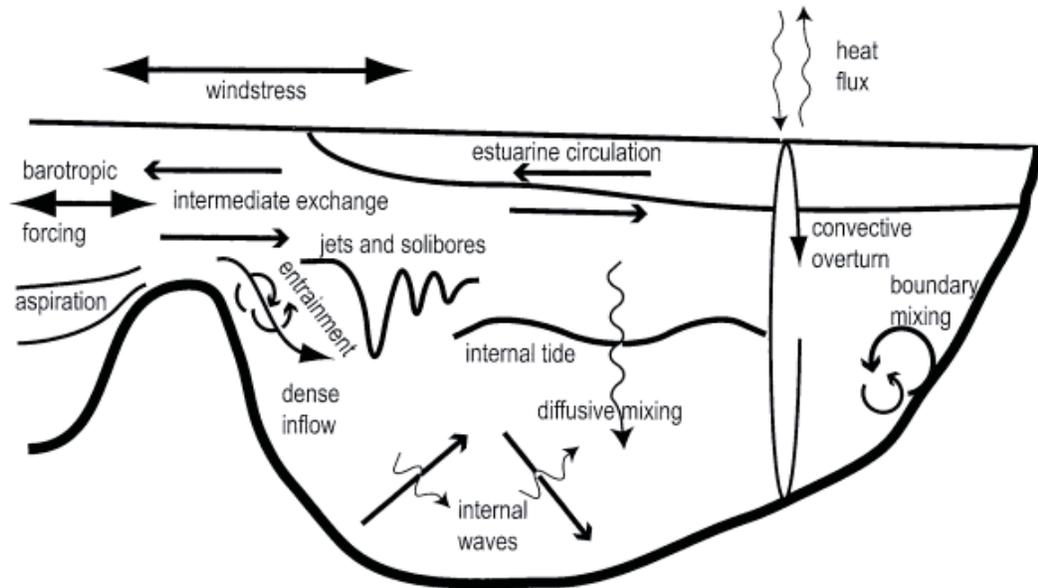


Figura 2. Modelo conceptual de los procesos físicos que ocurren en un fiordo (Tomado de Inall & Gillibrand, 2010).

El fitoplancton tiene un amplio espectro de tamaños y formas, dependiendo del tipo de ambiente marino-estuarino en el que se encuentre. Por ejemplo, en ecosistemas poco productivos u oligotróficos, los organismos de menor tamaño ($< 5 \mu\text{m}$) son más frecuentes y abundantes, mientras que los organismos de mayor tamaño ($> 20 \mu\text{m}$) o micro fitoplancton dominan en aguas eutróficas (Montecino & Pizarro, 2006). En general, las distribuciones de las comunidades de fitoplancton son producto de las interacciones entre los ciclos de vida de las especies y las propiedades selectivas del sistema (Alves de Souza *et al.*, 2008). Margalef (1978) concibió un modelo en el que las concentraciones de nutrientes y la turbulencia son los principales factores que determinan la composición de las especies del fitoplancton marino. Este modelo revela una secuencia de sucesiones de especies en asociaciones de fitoplancton, en donde las diatomeas dominan en períodos de mezcla y altas concentraciones de nutrientes (r-estrategas) y los dinoflagelados prevalecen en condiciones oligotróficas y

estratificadas (k-estrategas) (Alves de Souza *et al.*, 2008). La variabilidad ambiental de los factores que afectan directamente el crecimiento celular y poblacional del fitoplancton, es decir, la temperatura del agua, la luz y la disponibilidad de nutrientes, sumado a los patrones de circulación y las diferencias geográficas de los ecosistemas marinos, conforman la estructura espacial del fitoplancton, que además depende de la escala de observación y el tipo de perturbación, ya sea por actividades humanas o cambios en el clima (Cloern & Jassby, 2010; Paredes *et al.*, 2014). En consecuencia, la dinámica espacial y temporal del fitoplancton, que se relaciona con el ambiente y con otros organismos, a través de las relaciones predador-presa, es de particular relevancia para estimar la productividad biológica del ecosistema (Montecino & Pizarro, 2006). Es más, la productividad primaria en los ecosistemas de la Patagonia tiende a disminuir de norte a sur, asociado a la influencia glaciaria y las altas concentraciones de sólidos suspendidos en estas zonas (Jacob *et al.*, 2014). En Patagonia y Tierra del Fuego, la interacción aire-mar y los intercambios de sedimentos en la columna de agua afectan la estructura del fitoplancton a gran escala. A menor escala, las comunidades de fitoplancton también se ven fuertemente afectadas por los aportes terrestres de las descargas de los ríos y el derretimiento de los glaciares (Paredes *et al.*, 2014). En este contexto, el fitoplancton exhibe patrones distintivos de distribución como respuesta a la influencia de agua dulce y marina a lo largo de un fiordo. En el interior de los fiordos se entremezclan diatomeas marinas con morfotipos de aguas de baja salinidad y diatomeas de aguas continentales. En el área de los canales exteriores se aprecia mayor diversidad de diatomeas y dinoflagelados, incluyendo las especies tóxicas y el área oceánica se caracteriza por pobreza fitoplanctónica con mayor frecuencia de dinoflagelados y dominancia de diatomeas típicamente marinas (Avaria, 2006). Excepto en algunos sitios, el fitoplancton en esta área tiene un patrón heterogéneo de distribución espacial y temporal generalmente dominado por diatomeas, que constituyen el principal grupo durante todo el año (Iriarte, *et al.* 1993).

La estructura comunitaria es un término general utilizado para describir la diversidad y dominancias de las diferentes especies que componen una comunidad. Sin embargo, la coexistencia de las especies se encuentra controlada por las interacciones predador-presa.

Para describir la composición de una comunidad, se usan dos medidas importantes; i) *La riqueza de especies*, que corresponde al número de especies diferentes en una comunidad particular, en donde habrá mayor riqueza de especies en un área donde haya una alta productividad primaria (sistemas más productivos), que en un área donde la productividad primaria sea más baja (sistema menos productivos) y ii) *la diversidad de especies*, que es una medida de la complejidad de una comunidad (Roxburgh, 2011). En general, la proporción de la riqueza de especies y las abundancias relativas de las especies explican diversidad de especies.

Avaria (2006) señaló que el fitoplancton desde la zona de Puerto Montt hasta el estrecho de Magallanes está caracterizado por una dominancia de diatomeas r-estrategas y cuantitativamente las zonas de mayor concentración de células se encuentran en las bocas de los canales interiores. De acuerdo a Montencino & Pizarro (2006), las especies con mayor abundancia superficial y más recurrentes (> 45%) fueron *Thalassiosira minúscula* (91%) en invierno y *Chaetoceros cinctus* (36%) en primavera. Jacob *et al.*, en 2014 encontraron que el fitoplancton de primavera está dominado por grandes células en el sector más al norte de la Patagonia y en el sector sur dominado por pequeños flagelados. El dominio de fitoplancton de gran tamaño ha sido asociado con condiciones de crecimiento óptimas, es decir disponibilidad de luz y concentración de nutrientes.

La luz (radiación solar) es uno de los dos factores físicos más importantes que controlan la producción de fitoplancton en el océano. En tanto, el aporte de nutrientes de aguas más profundas hacia la capa superficial es el segundo factor relevante que controla la productividad en la zona eufótica. Lalli & Parsons (1997), indicaron que la cantidad de luz varía con la latitud y la cantidad de nutrientes está determinada por los procesos físicos que controlan la mezcla vertical del agua. Estas dos características determinan qué tipo de fitoplancton y cuánta producción primaria puede desarrollarse en el océano (Lalli & Parsons, 1997).

El derretimiento de glaciares aporta materia inorgánica conocida como “glacial silt” que provoca una menor penetración de la luz en la columna de agua, afectando los límites de

la zona eufótica y consecuentemente los límites de producción primaria (Montecino & Pizarro, 2008). La zona Patagónica chilena, posee grandes reservas de agua dulce y a su vez recibe importantes aportes de estos provenientes de derretimiento de nieve, glaciares, ríos, escorrentía superficial y fuertes lluvias que reducen la salinidad y generan una haloclina intensa que separa la columna de agua en dos capas características (Pickard, 1971). Estas características determinan zonas de menor tamaño con diferentes condiciones ambientales para poblaciones de fitoplancton (Paredes *et al.*, 2014). En esta zona se han descrito patrones latitudinales de producción primaria, radiación fotosintética activa (PAR) y silicatos (Jacob *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2014) con marcados gradientes de disminución de norte a sur de producción primaria y radiación (PAR). Estos cambios están asociados a las propiedades ópticas de la columna de agua, actividad volcánica, aporte de silicatos (flujos terrestres), que también participan en el control de la productividad y estructura del fitoplancton (Torres *et al.*, 2014).

La interacción entre la columna de agua y los sedimentos determina la concentración de nutrientes a diferentes escalas, mientras que la disponibilidad de nutrientes varía según su origen. Los silicatos son aportados por la escorrentía y los deshielos de glaciares, mientras que los nitratos y fosfatos son aportados por el Agua Subantártica (Silva *et al.*, 1997). Los principales elementos que modifican la columna de agua y a su vez al fitoplancton, se indican esquemáticamente en la figura 3.

Cada especie de fitoplancton tiene una respuesta particular a diferentes concentraciones de nutrientes limitantes, y cada una tiene una tasa diferencial de crecimiento máximo. Estas diferencias en las respuestas específicas de cada especie a las intensidades de luz, temperatura, salinidad y otros parámetros determinan condiciones ambientales heterogéneas y fluctuantes, las cuales favorecen las distintas especies y permiten que muchas especies coexistan en el mismo cuerpo de agua (Lalli & Parsons, 1997). Dada las condiciones oceanográficas fluctuantes y altamente heterogéneas en esta zona, se espera que las diferentes especies de diatomeas que dominan un sitio específico, utilicen distintas estrategias para adaptarse a las diversas condiciones y a los niveles de mezcla de la columna de agua (Alves de Souza, 2008)

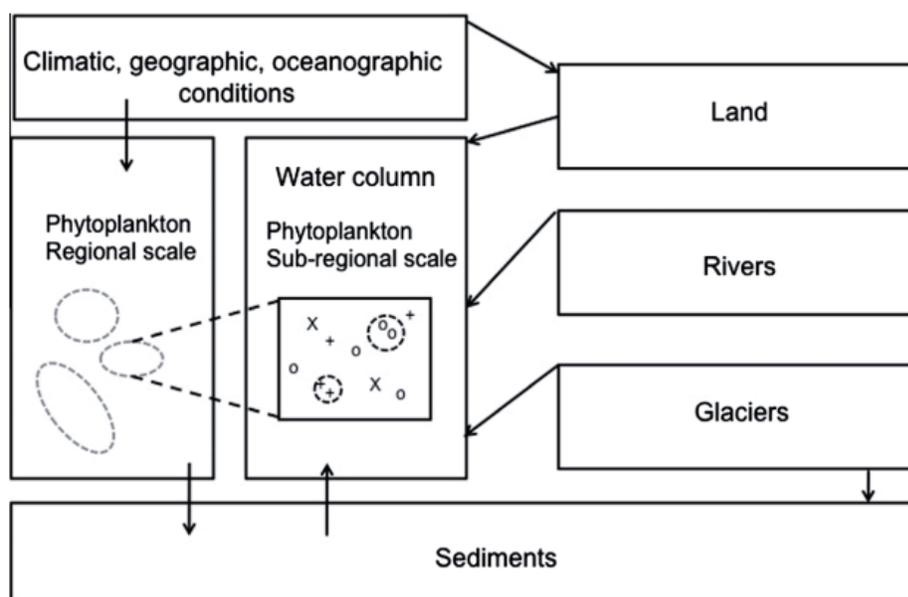


Figura 3. Modelo conceptual de escalas jerárquicas para el análisis de conjuntos de microfitoplancton en fiordos y canales patagónicos. Las flechas representan las conexiones medias entre hábitats adyacentes y donde el intercambio de materia (entradas/salidas) entre componentes del ecosistema debería afectar de manera diferente la composición de fitoplancton. (Imagen tomada de Paredes et al., 2014).

HIPÓTESIS

En el canal Martínez, la composición y estructura comunitaria del fitoplancton en la zona de desembocadura del río Baker, presenta bajas abundancias, biomásas y riqueza de especie, mientras que en la zona oceánica, las abundancias, biomásas y riqueza de especie son mayores. Esta diferencia se debe a la variabilidad estacional en el aporte de agua dulce del río, lo que influye en la disponibilidad de nutrientes y estabilidad (estratificación) de la columna de agua.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la influencia de las condiciones hidrometeorológicas y oceanográficas en la variabilidad estacional del fitoplancton en el canal Martínez.

Objetivos específicos

- Describir la biomasa, composición y estructura comunitaria (riqueza y diversidad de especies) del fitoplancton en el canal Martínez.
- Comparar las condiciones de la columna de agua de la zona oceánica respecto a la zona de desembocadura.
- Determinar la influencia de las descargas de agua dulce del río Baker sobre las propiedades físicas y químicas de la columna de agua.
- Determinar las relaciones estacionales entre las variables oceanográficas, biomasa y composición del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se encuentra ubicado en la Patagonia chilena central (47°49'S - 74°30'O). En la figura 4, se señalan las estaciones ubicadas en el canal Martínez en las cuales se realizaron los muestreos en invierno, primavera de 2014 y verano de 2015.

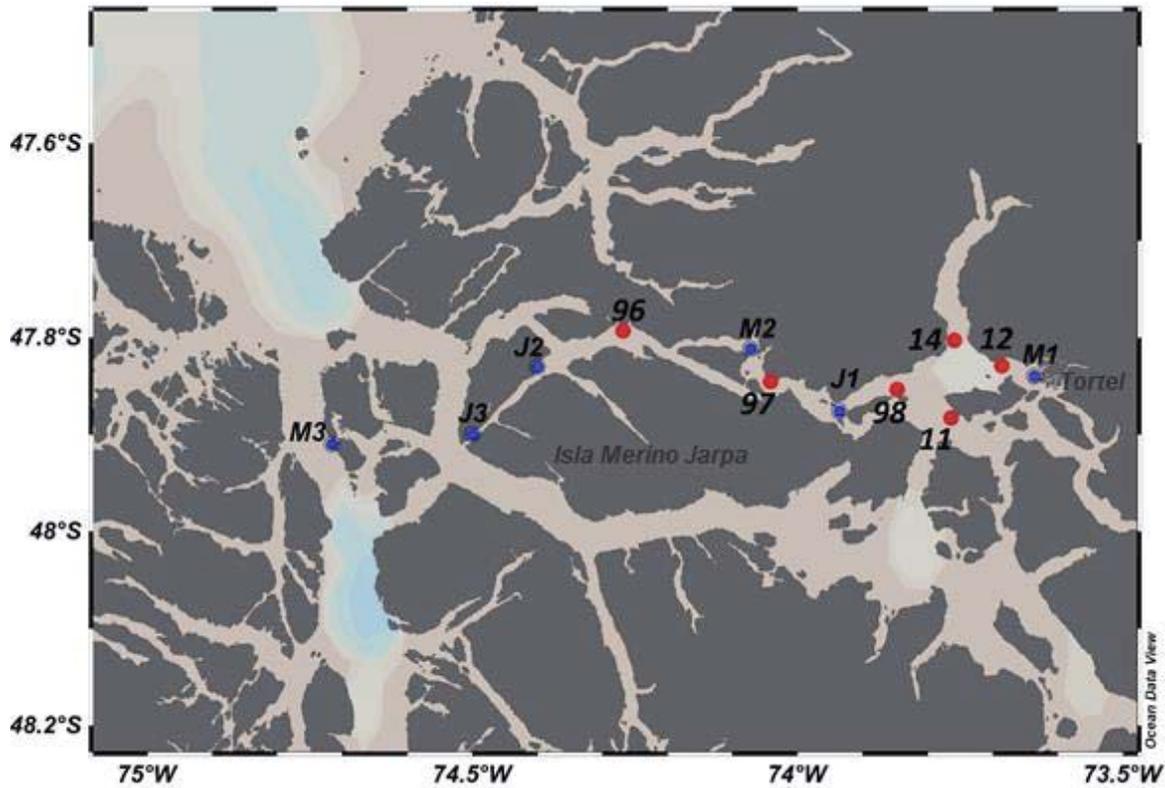


Figura 4. Área de estudio, Canal Martínez, Patagonia Chilena. En color azul (M3, J3, J2, M2, J1, M1), se muestran las estaciones pertenecientes a invierno 2014 y verano 2015. En rojo (96, 97, 98, 11, 14, 12), se muestran las estaciones pertenecientes a primavera 2014.

Base de datos de invierno 2014 y verano 2015

En cuanto a la información que se obtuvo para este estudio, se utilizó información oceanográfica y biológica obtenidas en las campañas oceanográficas realizadas en invierno

2014 (agosto) y verano 2015 (enero). En ellas se obtuvieron registros de temperatura (°C), salinidad y toma de muestras para la determinación de nutrientes (nitrito+nitrato, ácido silícico y fosfato (μM)), turbidez (NTU), clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) y fitoplancton, hasta una profundidad de 100 m.

Fitoplancton

Para el análisis cuantitativo de fitoplancton, se tomaron muestras a profundidades discretas (1, 5, 10, 20, 30 m y fondo) utilizando una botella Niskin de 5 L. Submuestras de 250 ml, se fijaron con una solución ácida de Lugol (1%), de las cuales se tomó una alícuota de 10, 20 o 50 mL dependiendo de la concentración de fitoplancton en las muestras. Las muestras se colocaron en una cámara de sedimentación para su posterior conteo en microscopio invertido (Utermöhl 1958). Para las estimaciones de biovolumen y carbono celular, se utilizaron los factores de conversión descritos por Edler (1979) y Sun & Liu (2003).

Base de datos de primavera 2014

La información oceanográfica y biológica fue obtenida en primavera de 2014, a mediados de octubre. Mediante un CTD se registró salinidad y temperatura (°C). Con una botella Niskin se tomaron muestras de agua de mar para la determinación de clorofila ($\mu\text{g/L}$), turbidez (NTU), nutrientes (nitrito+nitrato, ácido silícico y fosfato(μM)) a profundidades estándar de 0, 5, 10, 25, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400 m de profundidad.

Fitoplancton

En cada estación se tomaron muestras y se realizaron muestreos de biomasa y abundancia en la capa superficial. Estas fueron obtenidas mediante arrastre horizontal con una red de fitoplancton de 62 μm . Como método de conteo se usó el método Uthermöhl (1958).

Para obtener los valores aproximados de carbono en las muestras de fitoplancton de la época de primavera, se realizó una recopilación bibliográfica de biovolúmenes (μm^3) para cada especie presente en las estaciones de muestreo. Con esta información, se

calculó un promedio de biovolúmenes para cada especie según, Sun *et al.*, 2000, Olenina, *et al.*, 2006, Leblanc *et al.*, 2012, Elloumi *et al.*, 2014

Una vez calculados los biovolúmenes - promedio (μm^3)- por cada especie, estos se convirtieron a pgC x Cel, de acuerdo a la metodología de Menden-Deuer & Lessard (2000):

$$\text{Para algas diatomeas} = 0,288 * \text{Volumen}^{0,811}$$

$$\text{Para algas no diatomeas} = 0,216 * \text{Volumen}^{0,939}$$

Luego, se obtuvo el valor aproximado de la especie en carbono μgCL^{-1} .

Caracterización oceanográfica e hidrográfica

La caracterización de la descarga del río Baker en términos de variabilidad estacional se realizó mediante un análisis de la serie de tiempo de datos de caudal del río Baker, obtenida de la Dirección General de Aguas para la estación “Río Colonia”.

Análisis de la base de datos

La información oceanográfica de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes (ácido silícico, nitrato+nitrato y fosfato), turbidez y clorofila-a se analizó a través de imágenes generadas con el software ODV, a través de transectos longitudinales que incluyen las estaciones correspondientes a cada época del año (invierno, primavera y verano) en el canal Martínez.

Para el análisis de la estructura comunitaria del componente fitoplanctónico del canal Martínez se obtuvieron las abundancias, biomasa, dominancia, diversidad, uniformidad y riqueza específica para cada estación y época del año.

- a. El índice de diversidad de especies de Shannon-Wiener (H')

$$H' = - \sum (p_i \ln p_i)$$

Donde $p_i = \frac{N_i}{N}$, donde N_i es el número total de individuos de la especie i y N es el número total de individuos de todas las especies

- b. Riqueza específica (S), es el número total de especies.

- c. Índice de uniformidad o equidad de Pielou (1966)

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

Donde $H'_{max} = \ln(S)$

- d. Índice de dominancia

$$D = 1 - J'$$

Se realizaron análisis estadísticos univariados, paramétricos tales como análisis de varianza (ANOVA) y no paramétricos como la prueba de Kruskal-Wallis y correlación de Spearman. Análisis estadísticos multivariados como escalamiento métrico no dimensional (NMDS) y análisis de componentes principales (PCA).

- Se aplicó la prueba de Kruskal-wallis, para evaluar las diferencias en las abundancias, biomásas y riqueza de especies entre las estaciones de muestreo y periodo del año.
- Para relacionar las variables ambientales y las estaciones de muestreo se aplicó un análisis de componentes principales y así determinar las variables críticas del estudio. Luego para obtener una relación entre aquellos factores ambientales y las variables biológicas se realizó un análisis de correlación de Pearson.
- Además se realizó un escalamiento métrico no dimensional (NMDS) para describir la variabilidad espacial y temporal de los ensambles fitoplanctónicos, luego se aplicó la PRUEBA PERMANOVA-2 VÍAS.

Para la realización de los métodos anteriormente nombrados, las estaciones se agruparon por zona como lo indicó la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las zonas para el trabajo de métodos multivariados y univariados.

Zona	Período	Estación
Zona de desembocadura (ZD)	Invierno (ZD-I)	M1
	Primavera (ZD-P)	14- 12-11
	Verano (ZD-V)	M1
Zona intermedia (ZI)	Invierno (ZI-I)	J1- M2
	Primavera (ZI-P)	98- 97
	Verano (ZI-V)	J1- M2
Zona exterior (ZE)	Invierno (ZE-I)	J2-J3
	Primavera (ZE-P)	96
	Verano (ZE-V)	J2-J3

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas

La figura 5 muestra la distribución de la salinidad en los tres periodos de estudio, invierno (Figura 5a), primavera (Figura 5b) y verano (Figura 5c).

En general, la distribución de salinidad en la capa superficial varió entre 0 y 10 PSU en la zona de desembocadura y hasta 15 PSU en la zona intermedia y exterior del canal. Luego en la capa subsuperficial, las salinidades variaron entre 20 y 31 PSU, para luego en la capa profunda aumentar hasta 33 PSU.

La figura 6 muestra la distribución de temperatura en los tres periodos de estudio, invierno (Figura 6a), primavera (Figura 6b) y verano (Figura 6c). La columna de agua presentó valores entre 0 y 10 °C en invierno y primavera, mientras que, en verano, la temperatura en la capa superficial (5m) presentó un máximo en la zona intermedia hasta la zona exterior del canal de 14°C. A su vez la temperatura en la capa subsuperficial (10m) presentó valores mínimos en la zona de desembocadura (8°C) y valores de 10°C en la zona exterior del canal.

La figura 7, muestra la estratificación de la columna de agua en los tres periodos de estudio, a través de la frecuencia Brunt-Vaisala, la cual registró en el periodo de verano la mayor estratificación a los 10 m (~150 ciclos/h). Caso contrario es lo que se registró en el periodo de primavera, en donde la estratificación de la columna de agua fue menor (50-100 ciclos/h).

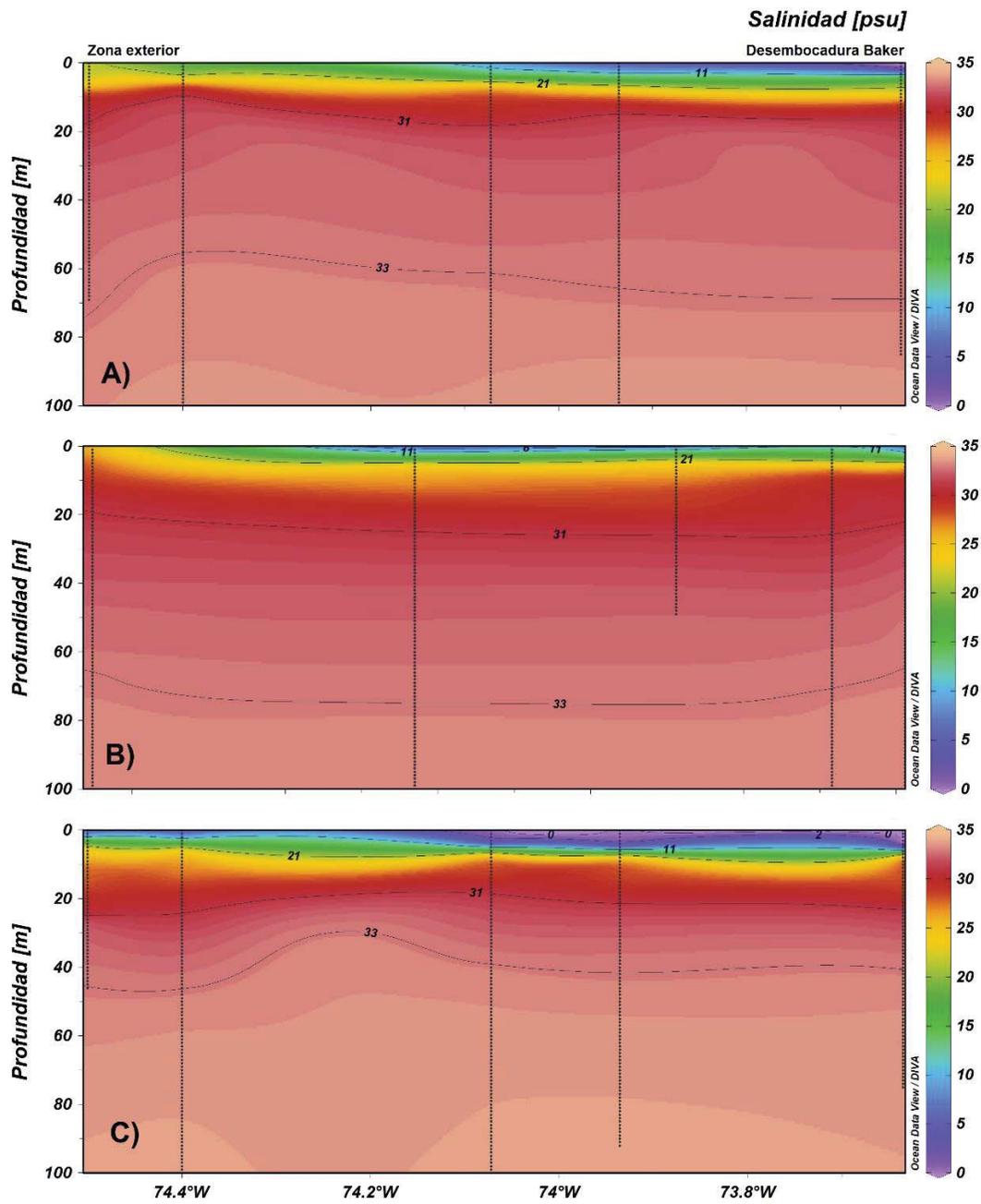


Figura 5. Distribución de salinidad para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)

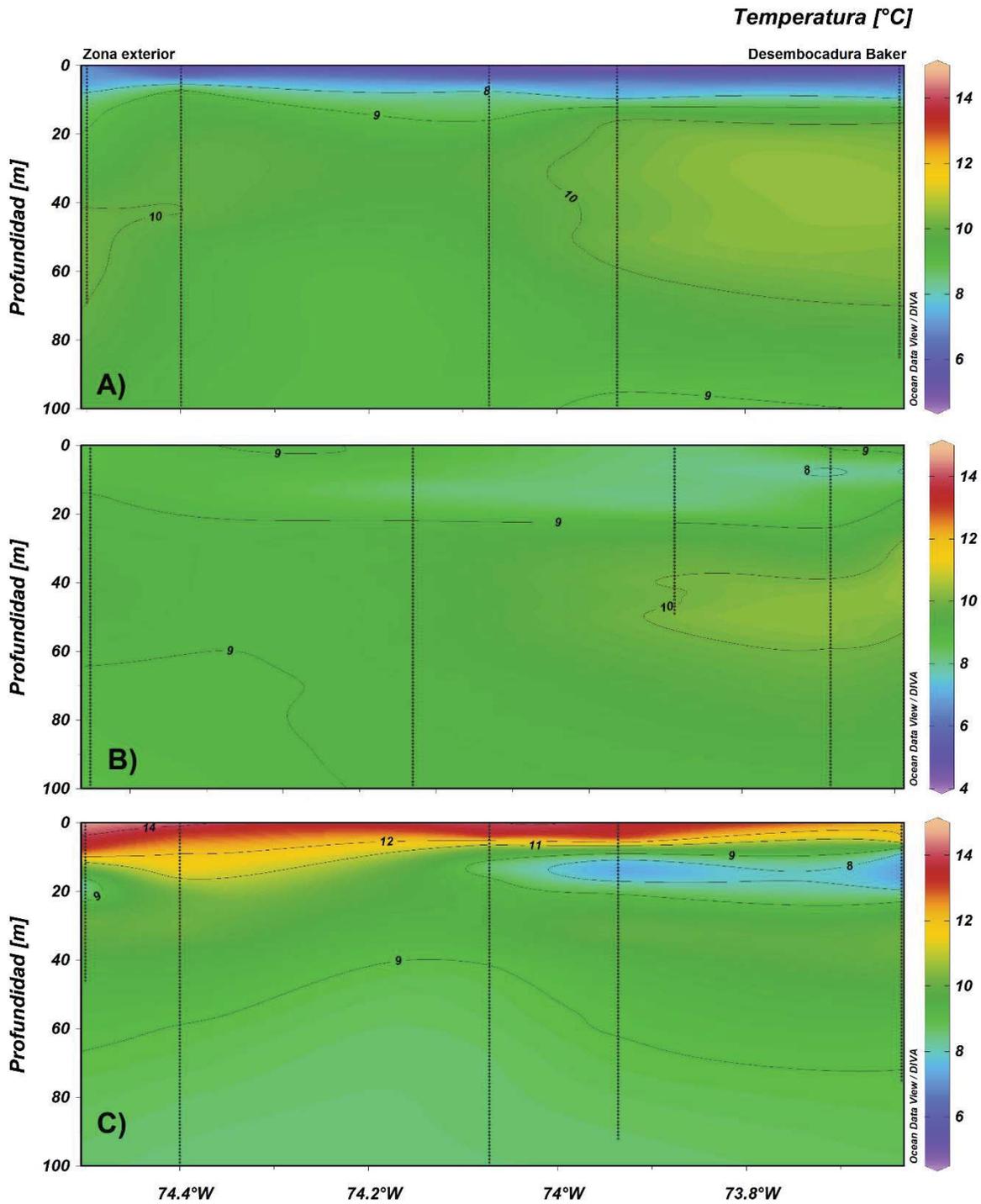


Figura 6. Distribución de temperatura (°C) para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C)

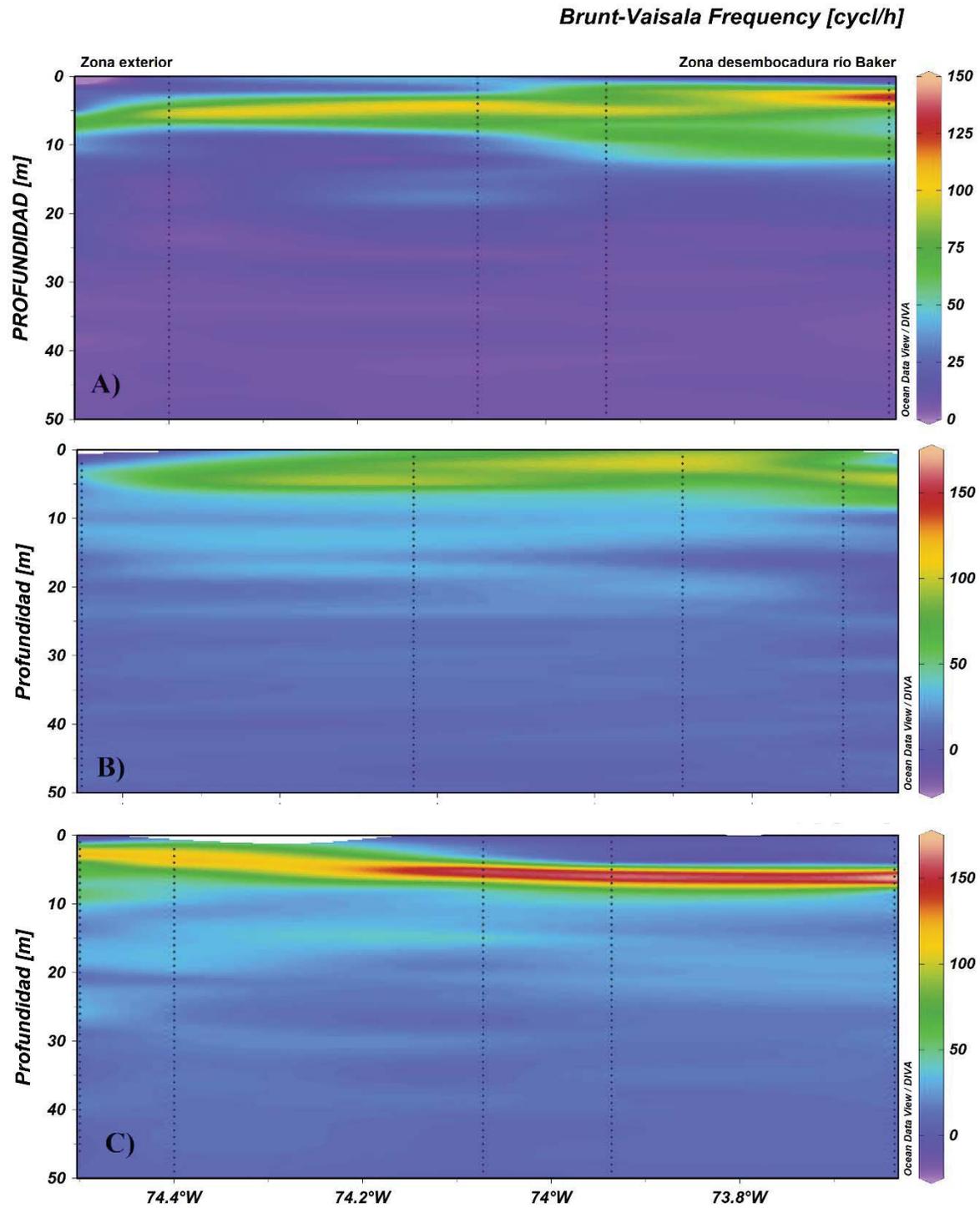


Figura 7. Frecuencia Brunt-Vaisala para los 3 periodos estudiados, a) invierno, b) primavera, c) verano, en ciclos/.

La figura 8 corresponde a la distribución de turbidez en los tres periodos, invierno (Figura 8a), primavera (Figura 8b) y verano (Figura 8c). En general las épocas de invierno y primavera, se registraron concentraciones de 10 NTU en la capa superficial, luego en la capa subsuperficial las concentraciones de turbidez fueron de 0 NTU. En cambio, la época de verano, en la capa superficial registró concentraciones en la zona de desembocadura superiores a 100 NTU, disminuyendo a la zona intermedia. Luego con el aumento de profundidad las concentraciones de turbidez fueron de 0 NTU.

La figura 9 mostró la distribución de la concentración de clorofila en los tres periodos de estudio, invierno (Figura 9a), primavera (Figura 9b) y verano (Figura 9c). La época de primavera registró las concentraciones más altas de clorofila en la zona de desembocadura en la capa subsuperficial ($40 \mu\text{gL}^{-1}$), siendo en esta capa las concentraciones registradas entre 15 a $30 \mu\text{gL}^{-1}$. En el caso de las épocas de invierno y verano, las concentraciones de clorofila en general fueron muy bajas a lo largo de todo el canal en la columna de agua.

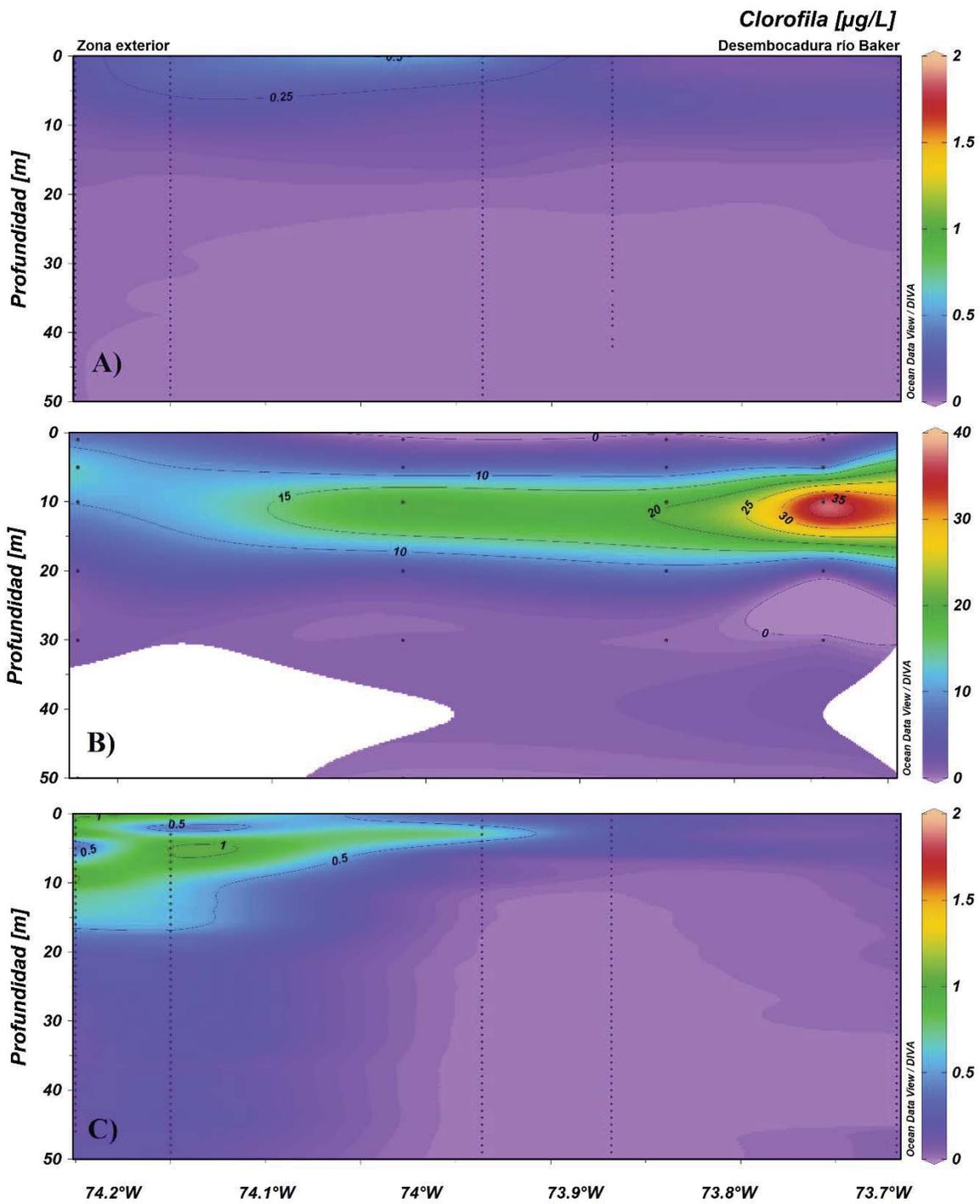


Figura 9. Distribución de clorofila (μgL^{-1}) para los periodos de invierno 2014 (A), primavera 2014 (B) y verano 2015 (C).

Nutrientes

Invierno

La distribución de nutrientes en la época de invierno, registró mayores concentraciones a medida que aumentaba la profundidad, en las cuales las máximas concentraciones fueron registrados en, la zona intermedia (ZI) para el Nitrito+Nitrato ($13 \mu\text{M}$) y en la zona de desembocadura (ZD) para el caso del Fosfato ($1,5 \mu\text{M}$). En tanto el ácido silícico registró mayores concentraciones en superficie, especialmente en ZD ($52 \mu\text{M}$)(Figura 10)

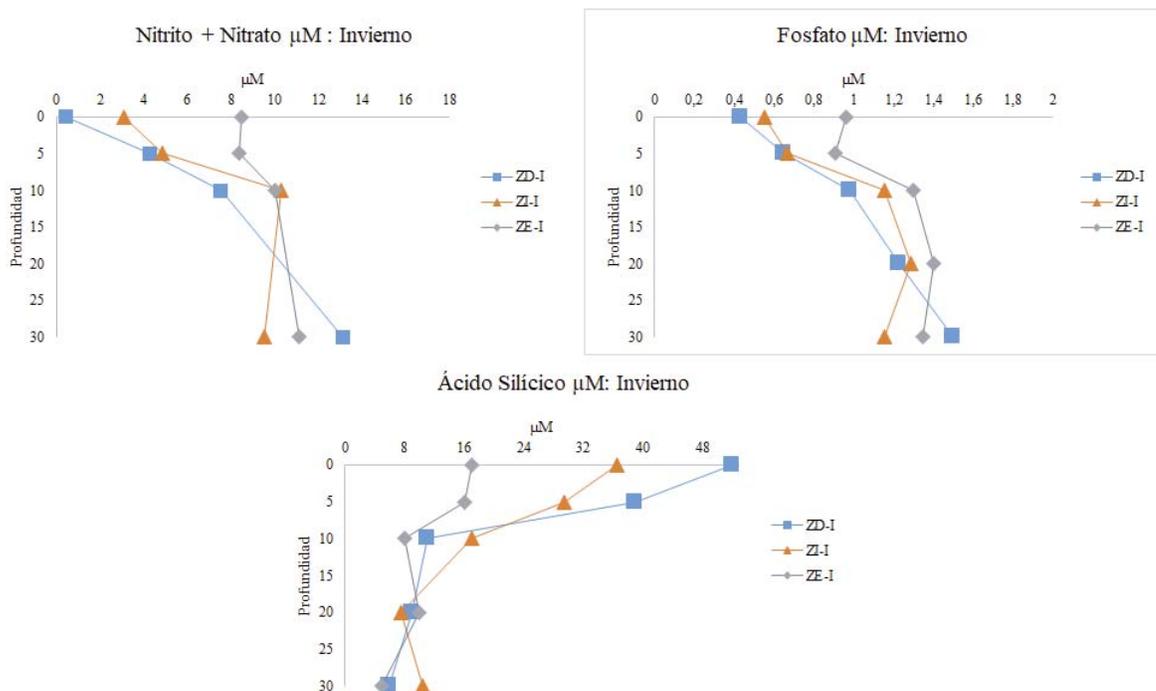


Figura 10. Distribución de nutrientes en el periodo de invierno 2014.

Primavera

La distribución de nutrientes en primavera, presentó un aumento con la profundidad para Nitrito+Nitrato y Fosfato, mientras que el ácido silícico presentó una distribución inversa, con mayores concentraciones en superficie y una disminución en profundidad. Las mayores concentraciones de ácido silícico se registraron en la ZI (26 μM), mientras que las más bajas se presentaron en ZE (Figura 11)

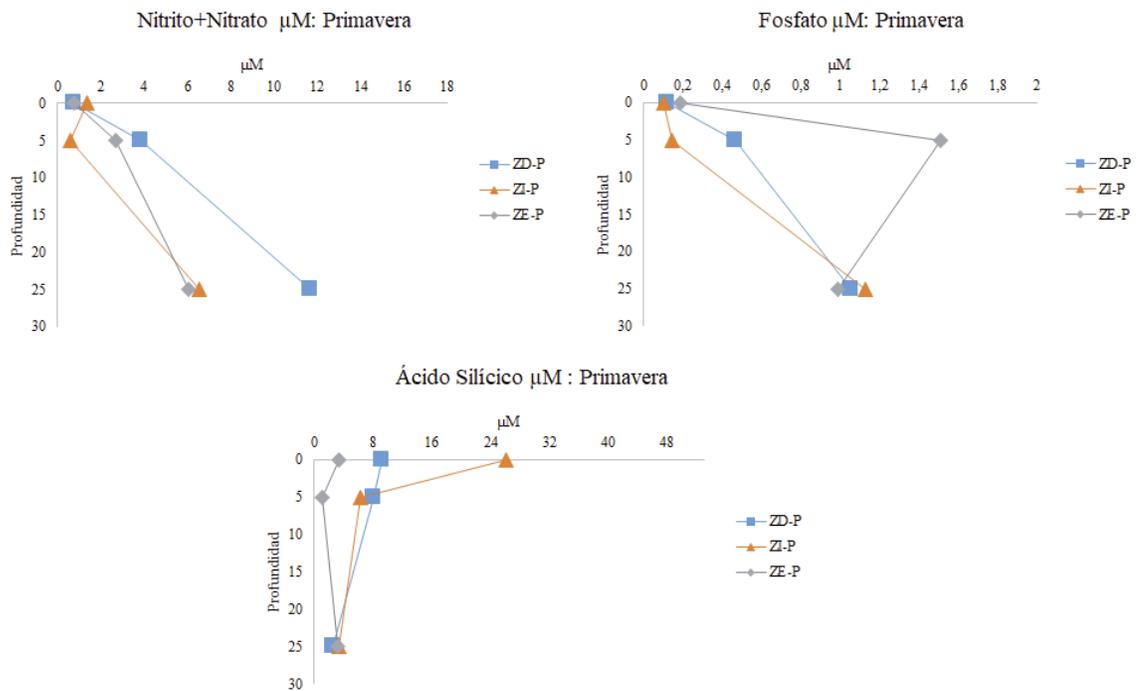


Figura 11. Distribución de nutrientes en el periodo de primavera 2014.

Verano

La distribución de Nitrito+Nitrato y fosfato en verano, presentaron bajas concentraciones en superficie con aumento en profundidad. En relación al ácido silícico este presentó altas concentraciones en superficie (45,38 μM) y bajas concentraciones a mayor profundidad (Figura12).

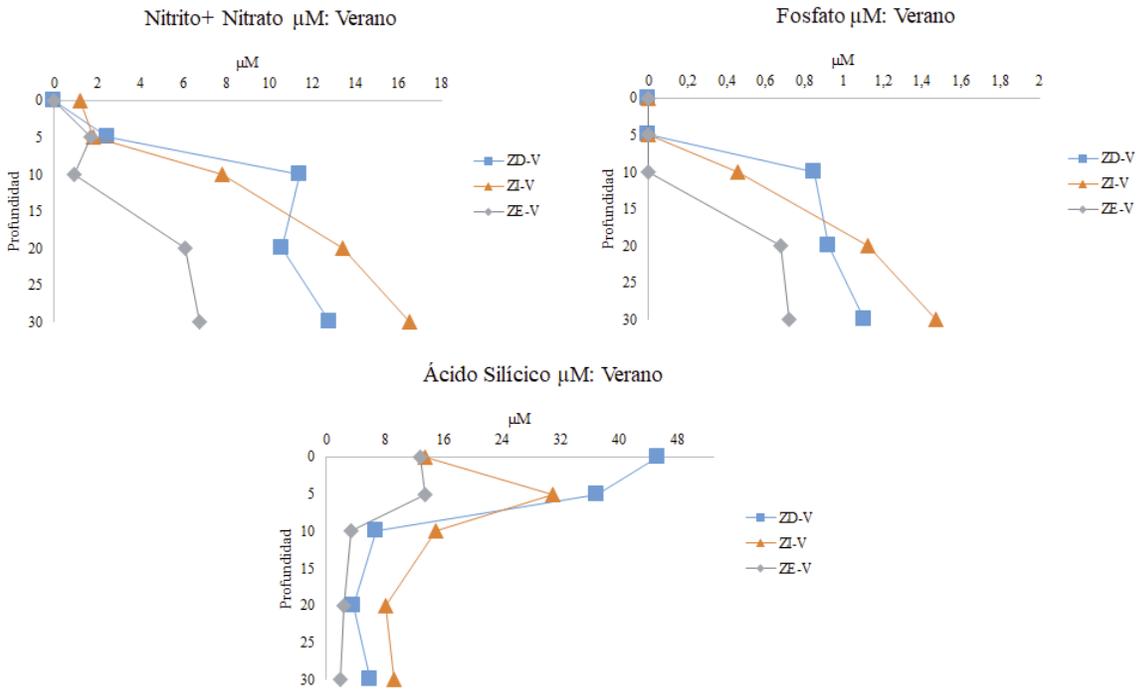


Figura 12. Distribución de nutrientes en el periodo de verano 2015.

Fitoplancton

Invierno

La abundancia total de diatomeas en el periodo de invierno en toda la columna de agua registró 29080 Cell^{-1} , siendo la especie más abundante *Skeletonema spp* con 17840 Cell^{-1} . En cuanto a sitios, ZE registró la mayor abundancia de células con 14580 Cell^{-1} (Figura 13), a su vez, también registró la mayor riqueza de especies ($S=14$) (Tabla 2). La biomasa total fue de $8,82 \times 10^{-10} \mu\text{gCL}^{-1}$ (ANEXO 4)

En relación a la abundancia total de dinoflagelados, estos registraron 1520 Cell^{-1} y la especie más abundante fue *Protoperdinium spp* con 680 Cell^{-1} . En tanto ZE presentó la mayor abundancia de dinoflagelados con 780 Cell^{-1} y una riqueza de especies de $S=4$ (Tabla 3 y Figura 13). La biomasa total fue de $87,91 \times 10^{-9} \mu\text{gCL}^{-1}$ (ANEXO 4)

Tabla 2. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en invierno

Índice	ZD	ZI	ZE
S	6	5	13
D	0,36	0,62	0,35
H'	1,26	0,62	0,46
J'	0,70	0,38	0,57

Tabla 3. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para dinoflagelados en invierno.

Índice	ZD	ZI	ZE
S	3	2	4
D	0,44	0,63	0,31
H'	0,92	0,56	1,26
J'	0,84	0,81	0,91

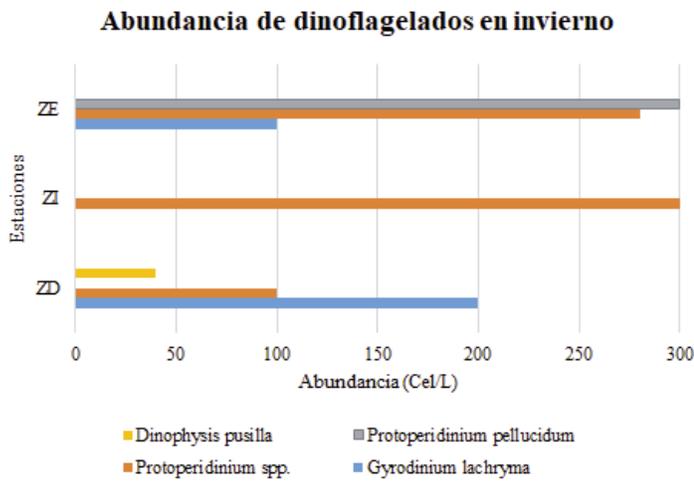
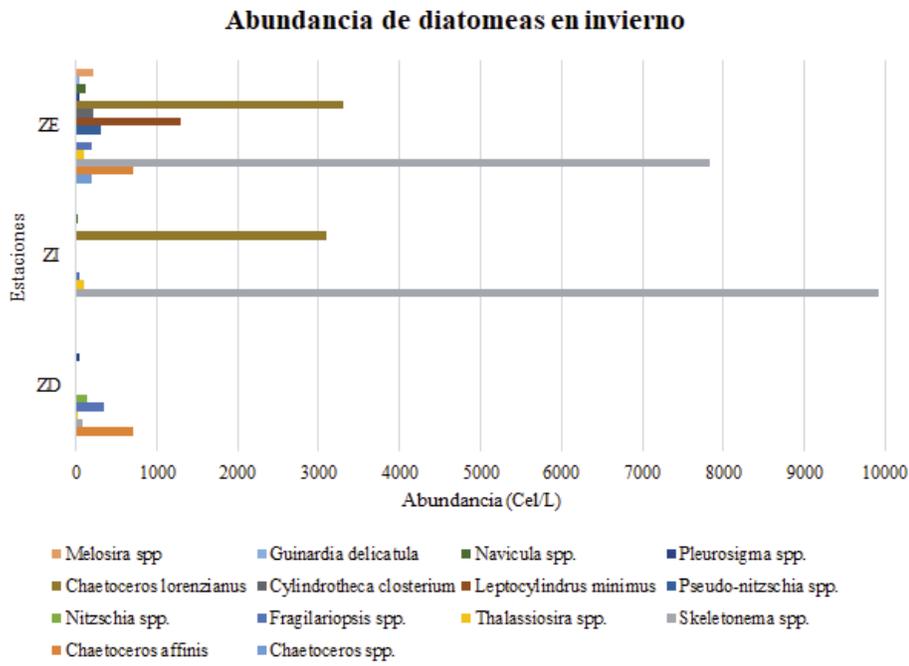


Figura 13. Distribución de diatomeas y dinoflagelados para el periodo de invierno.

Primavera

La abundancia total de diatomeas para el período de primavera registró 2720600 Cell⁻¹, siendo la especie *Pseudo-nitzschia subcurvata* la diatomea más abundante con 1510500 Cell⁻¹. En relación a los sitios de muestreo, ZD registró la mayor abundancia con 2178900 Cell⁻¹ (Figura 14.), a su vez registró la mayor riqueza de especie (Tabla 4.). La biomasa total fue de 596,6 µgCL⁻¹ (ANEXO 5)

En relación a la distribución total de dinoflagelados, estos registraron 32500 Cell⁻¹, siendo la especie más abundante *Gonyaulax cf. Fusiformis* con 14000 Cell⁻¹. La mayor riqueza de especie se registró en ZD (Tabla 5) y a su vez también registró la mayor abundancia con 29900 Cell⁻¹ (Figura 14). La biomasa total fue de 96,32 µgCL⁻¹ (ANEXO 5)

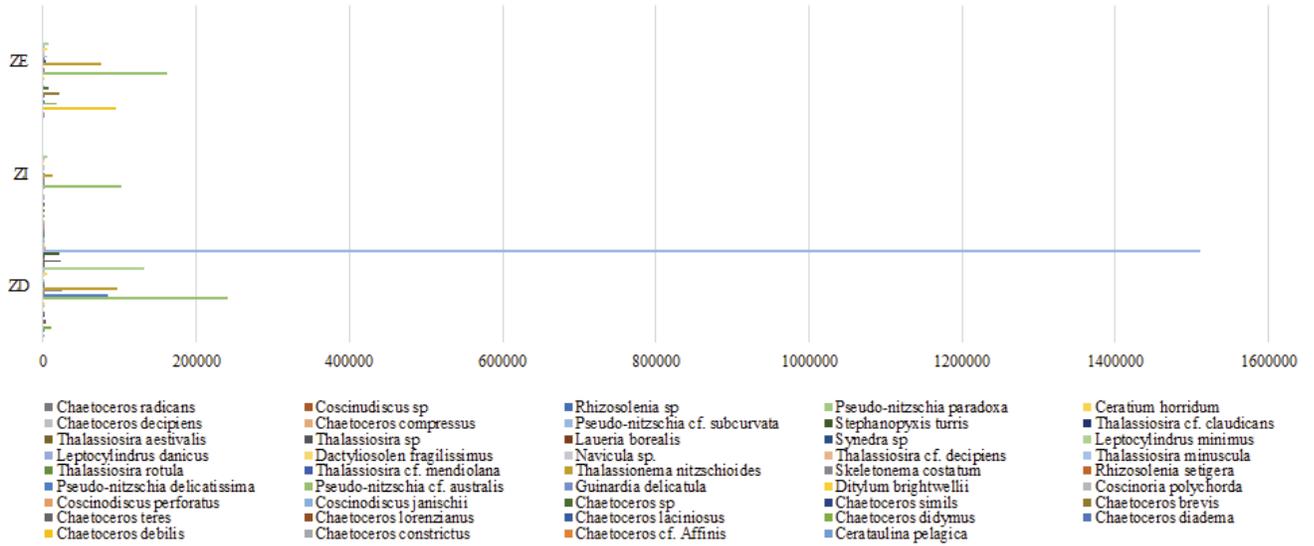
Tabla 4. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en primavera.

Índice	ZD	ZI	ZE
S	35	22	22
D	0,5	0,62	0,25
H'	1,21	0,96	1,76
J'	0,34	0,31	0,57

Tabla 5. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para los dinoflagelados en primavera.

Índice	ZD	ZI	ZE
S	18	7	5
D	0,25	0,2	0,3
H'	2	1,7	1,39
J'	0,65	0,9	0,86

Abundancia de diatomeas en primavera



Abundancia de dinoflagelados en primavera

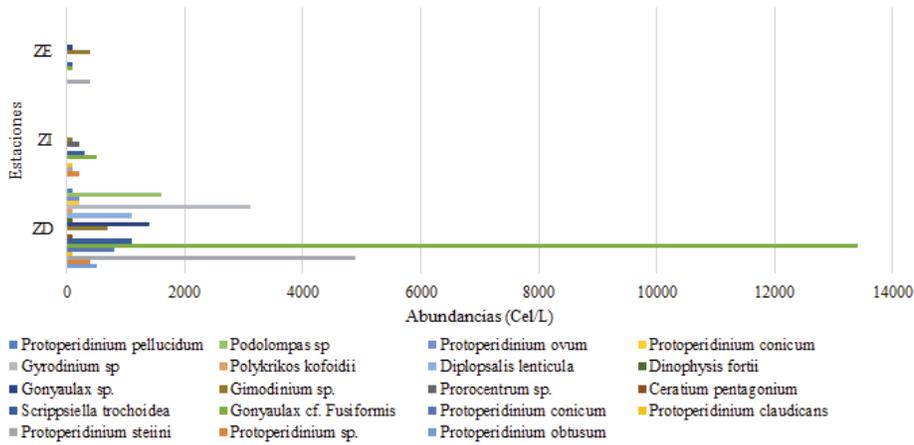


Figura 14. Distribución de diatomeas y dinoflagelados para el periodo de primavera.

Verano

La abundancia total de diatomeas registrada para el periodo de invierno fue de 174160 Cell⁻¹ siendo la especie más abundante *G. Pseudo-nitzschia delicatissima* con 57120 Cell⁻¹. La zona que registró una mayor abundancia fue ZE con 159200 Cell⁻¹(Figura 15), además registró la mayor riqueza de especie (Tabla 6). La biomasa total fue de 10,1 µgCL⁻¹. (ANEXO 6)

En el caso de la abundancia de dinoflagelados, para este periodo, fue de 300 Cell⁻¹ (Figura 15), además solo se registraron 2 especies en todo el transecto en ZE, *Protoperidinium pellucidum* y *Protoperidinium spp.*

Tabla 6. Índices de riqueza de especies (S), Dominancia (D), Diversidad (H') y equidad para las diatomeas en verano

Índice	ZD	ZI	ZE
S	6	5	18
D	0,22	0,32	0,21
H'	1,6	1,27	1,91
J'	0,91	0,79	0,66

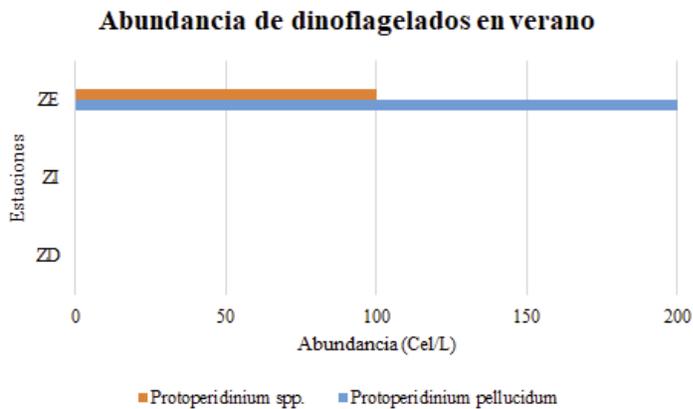
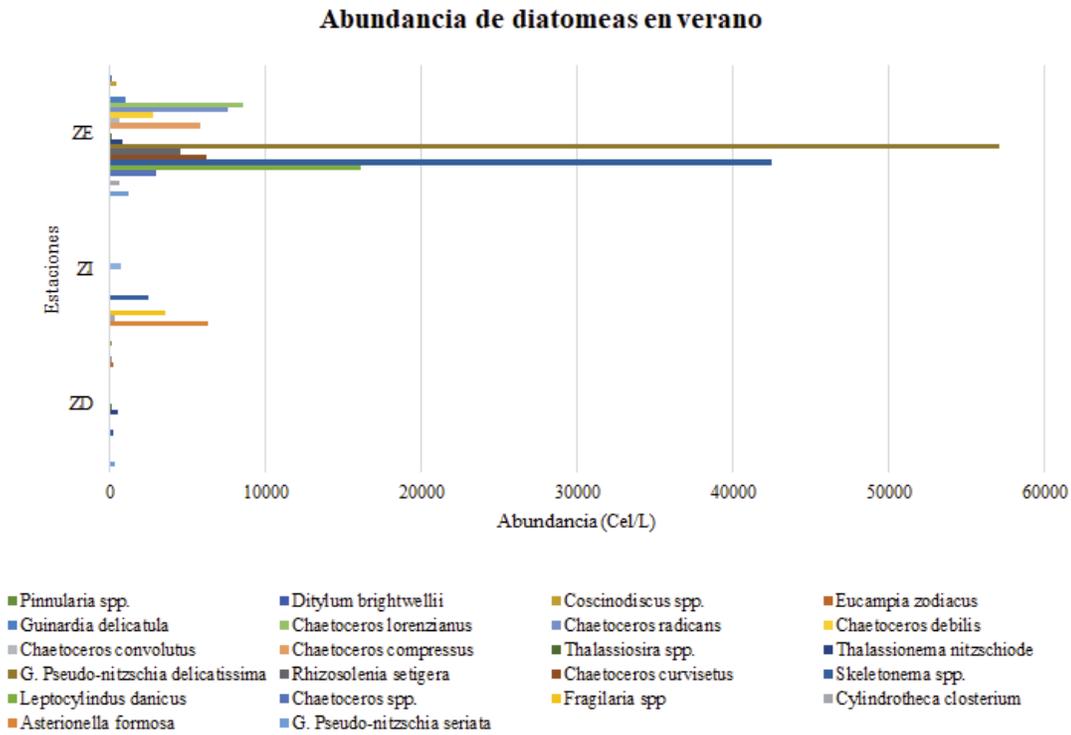


Figura 15. Distribución de diatomeas y dinoflagelados para el periodo de verano.

Se registraron diferencias significativas en las abundancias en los transectos de primavera y verano (Tabla 7). A su vez, se registraron diferencias significativas en la biomasa en transectos de primavera y verano, y entre periodos (Tabla 7)

Tabla 7. Resultado test de Kruskal-Wallis

Variable dependiente	Variable independiente	Hc	P
Abundancia	Invierno (ZD-ZI-ZE)	3,84	0,14
Abundancia	Primavera (ZD-ZI-ZE)	7,78	0,02
Abundancia	Verano (ZD-ZI-ZE)	8,51	0,01
Abundancia	Periodos (Inv,Prim,Ver)	5,78	0,055
Biomasa	Invierno (ZD-ZI-ZE)	12,5	0,001
Biomasa	Primavera (ZD-ZI-ZE)	6,51	0,038
Biomasa	Verano (ZD-ZI-ZE)	6,02	0,04
Biomasa	Periodos (Inv,Prim,Ver)	12,5	0,001

Análisis de Escalamiento No Métrico Multidimensional (NMDS)

El análisis NMDS se realizó basado en la abundancia totales de taxas en la columna de agua, por cada periodo (invierno, primavera y verano) y por cada sitio (Zona de desembocadura, Zona intermedia y Zona exterior).

El NMDS registró un buen ajuste con un estrés de 0,01. En él se pudo observar que cada periodo y sitio está bien representado espacialmente, es decir, no hay similitud entre los grupos de fitoplancton por sitios y por periodos (Fig. 16). Al aplicar la PRUEBA PERMANOVA-2 vías se registraron diferencias significativas entre los grupos de fitoplancton entre periodos y entre sitios (Tabla 8)

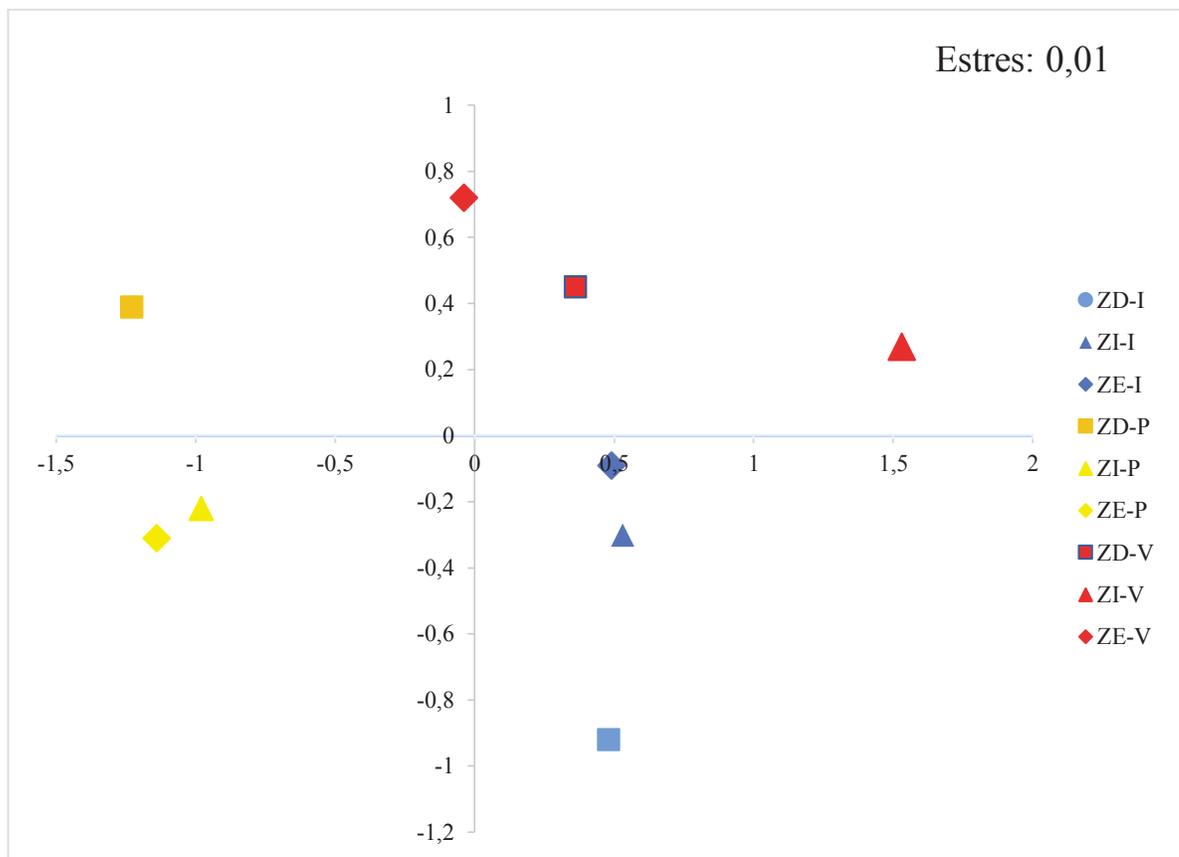


Figura 16. Análisis NMDS para todos los periodos y sitios de estudio.

Tabla 8. Resultados prueba PERMANOVA 2-vías, para evaluar las diferencias temporales y espaciales en las abundancias de la comunidad

Profundidad 0 m.	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de raíces	F	p
Sitios	0,97388	2	0,48694	0,73417	0,0235
Período	1,9799	2	0,98994	1,4926	0,0001
Interacción	-1,0565	4	-0,26413	-0,39823	0,0546
Residual	4,6428	7	0,66325		
Total	6,54	15			

Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales realizado para las variables ambientales hasta los 5 metros, fueron agrupados en los dos componentes principales ($n = 8$)(Figura 17). El componente principal 1 explicó el 46,4 % de la varianza y el componente 2 explicó el 30,3% de la varianza y entre los dos el 76,7% de la varianza total (Tabla 23). De acuerdo a los resultados la turbidez (0,83) y el caudal (0,67) fueron los principales factores ambientales que explicaron la variabilidad, mayormente relacionados con la ZD-V (3,8), mientras que el fosfato (0,7) y el ácido silícico (0,73) fueron los principales factores que explicaron la variabilidad del componente 2 asociado a ZD-I (1,99).

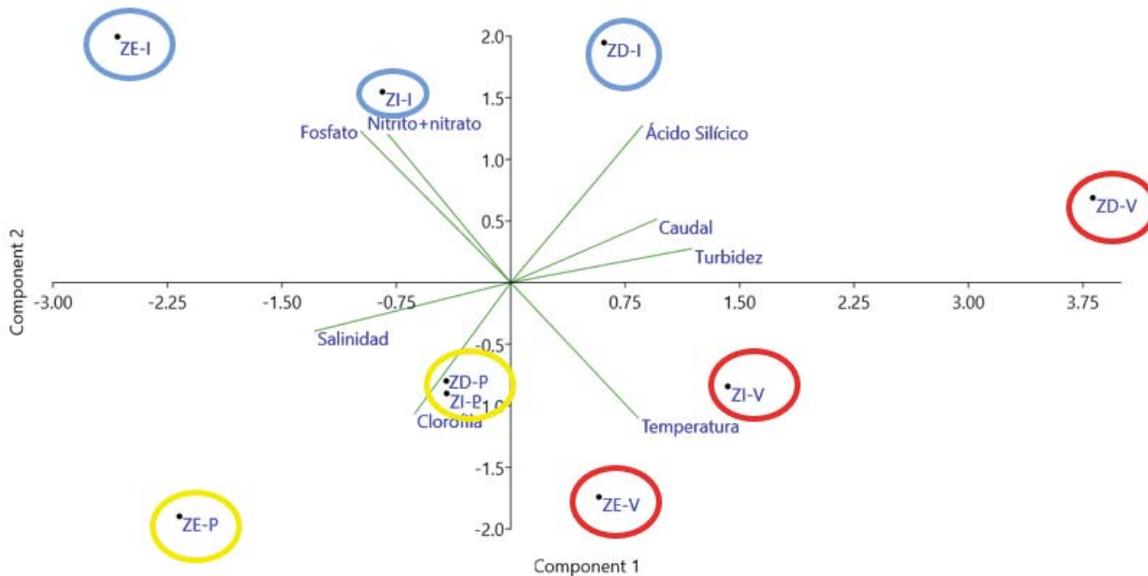


Figura 17. Análisis de componentes principales para los 3 períodos y los 3 sitios (ZD,ZI,ZE). Las variables ambientales seleccionadas fueron, temperatura, salinidad, caudal, nutrientes (nitrito+nitrato, fosfato, ácido silícico), turbidez y clorofila.

Tabla 9. Coeficientes de correlación para el análisis de componentes principales hasta los 5 metros de profundidad.

Variable 1	Variable 2	r	p
Caudal	Turbidez	0,7	0,01
Clorofila	Biomasa	0,93	0,0006
S	Abundancia	0,75	0,01
S	Biomasa	0,9	0,0007
S	Clorofila	0,87	0,001
S	Ácido Silícico	-0,77	0,01
Ácido Silícico	Biomasa	-0,65	0,05
Ácido Silícico	Salinidad	-0,72	0,05

De acuerdo a la correlación de Pearson, en el área de estudio las variables de temperatura, salinidad, turbidez, clorofila, nutrientes, caudal, riqueza específica total, biomasa total y abundancia total (hasta los 5 metros) fueron las más representativas. El caudal se relacionó positivamente con la turbidez ($r= 0,770$ y $p<0,05$), la clorofila se relacionó positivamente con la abundancia y la biomasa ($r= 0,70, 0,93$ $p< 0,05$). La riqueza de especie se relacionó positivamente con la abundancia, biomasa, clorofila y negativamente con el ácido silícico ($r= 0,75, 0,95, 0,87, -0,77$ $p<0,05$), en tanto el ácido silícico se relacionó negativamente con la biomasa ($r= - 0,65$ $p<0,05$), con la salinidad ($r= 0,72$ $p<0,05$) (Tabla 9).

DISCUSIÓN

Condiciones oceanográficas e hidrográficas.

El Agua Subantártica (ASAA) ingresa a los fiordos de la Patagonia de Chile (41-55 °S), modificando la distribución de la biota pelágica debido a los marcados cambios estacionales. Adicionalmente, los patrones de distribución del componente fitoplanctónico se ve influenciado por diversos factores tales como, la radiación solar, viento del oeste, influencia de agua dulce y precipitaciones (Pickard, 1971), causando cambios estacionales en la abundancia, biomasa y productividad de la biota pelágica (Iriarte et al., 2018). El factor más importante en esta zona está relacionado con la influencia glaciario y el aporte de agua dulce proveniente de ríos y deshielos, que es en gran medida el responsable de la circulación, estructura y patrones de productividad de la zona (González *et al.*, 2013, Meerhoff *et al.*, 2014, Quiroga *et al.*, 2016, Ortiz 2016) los cuales contribuyen con altas concentraciones de ácido silícico y turbidez, mientras que por otro lado, el ASAA contribuye con fosfato y nitratos.

El caudal del río Baker exhibió máximos valores en enero de 2015, caracterizados por la presencia de una pluma estuarina intensa en este periodo, en comparación con la reportada en julio y octubre de 2014 (Ortiz,2015). Esto se debe a una atenuación de la pluma producto de una disminución de las descargas del río Baker. De hecho, el régimen del río Baker es caracterizado por descargas estables, con bajas descargas en julio-septiembre, mientras que octubre-marzo es un período de alta descarga impulsado por derretimiento de nieve y glaciares (Dussallant *et al.*, 2012).

En cuanto a las condiciones de temperatura en el canal, se registraron bajas temperaturas superficiales en la época de invierno y primavera (inversiones térmicas), caracterizados por mayores temperaturas en la capa más profunda, mientras que en verano la temperatura en la capa superficial aumentó desde la zona de desembocadura hasta la zona cercana al océano. Esta situación es similar a la evidenciada por González *et al.*, 2013. Por otro lado, invierno y primavera la salinidad fue baja en zona de desembocadura, la cual aumentó en la zona intermedia del canal, por el contrario, en el período de verano, la influencia del río en la salinidad se observó hasta la zona intermedia, luego en la zona exterior

la salinidad comenzó a aumentar por la entrada de agua proveniente del Océano Pacífico y el aporte de ASAA (Sievers & Silva, 2008)

En relación a la turbidez presentada en verano, esta superó los registros de los periodos de invierno y primavera en aproximadamente 10 veces. La turbidez y el caudal presentaron una relación significativa y positiva, es decir, a mayor descarga del río, se presentará una mayor turbidez. Esta situación se registró en el período de verano con descargas de $1195 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y con concentraciones de turbidez cercanas a los 100 NTU. Por otra parte las condiciones lumínicas de la columna de agua, ya sean asociadas a irradiancia estacional o procesos locales, están asociadas con la magnitud y la estructura de la comunidad fitoplanctónica (Jacob *et al.*, 2014)

Las bajas concentraciones de nutrientes registrados, particularmente de nitratos y fosfatos, de acuerdo a lo registrado por Silva, (2008) y González *et al.*, (2013), los resultados expuestos en este trabajo se acercan a lo establecido por los autores, en cuanto a bajas concentraciones en ZD y ZI en los periodos de invierno y primavera y aumento en ZE, para estos periodos. Por el contrario, en verano las concentraciones tanto en ZD, ZI y ZE fueron menores para ambos nutrientes, debido a que el aporte de fosfato y nitrato proveniente de agua dulce, precipitaciones y derretimiento glacial es relativamente bajo ($0-0,08 \mu\text{M}$ fosfato; $0-8 \mu\text{M}$ nitrato) (Silva, 2008). Mientras que el ácido silícico registró altas concentraciones en los 3 periodos con un patrón de disminución en profundidad, situación similar a lo registrado por González *et al.*, (2013). Cabe destacar que las mayores concentraciones de ácido silícico se registraron en invierno ($52 \mu\text{M}$) en la zona de desembocadura y las “menores” concentraciones en ese sector fueron en el período de primavera ($15 \mu\text{M}$), aunque se debe mencionar que las concentraciones registradas en primavera se encuentran en el rango descrito como altas concentraciones por Silva (2008).

Influencia del río Baker en la estructura y composición fitoplanctónica

Los resultados de este estudio indicaron una relación negativa entre el ácido silícico y biomasa de diatomeas, pero esta relación no se asocia al ácido silícico como un nutriente limitante, ya que, diversos trabajos demuestran que para que el ácido silícico sea limitante

debe ser menor a $2 \mu\text{M}$ (Egge & Aksnes., 1992; Escaravage & Prins., 2002) y en este trabajo las concentraciones en la capa superficial (5 m) se mantuvieron sobre ese valor. La relación negativa entre estas dos variables se asocia a las descargas del río Baker, influenciadas por materia alóctona, incluida materia orgánica, la cual probablemente una gran fracción de esta se origine en los extensos bosques verdes y caducifolios dominados por especies de la familia Nothofagaceae (Rodríguez *et al.*, 2008; González *et al.*, 2013). Estos son transportados por la escorrentía impulsado por un régimen de precipitación activa, que para los meses de estudio presentó 238 mm en agosto 2014, 93 mm en octubre 2014 y 82 mm en enero de 2015 (www.dga.cl), lo que afecta las condiciones lumínicas de la columna de agua y por consecuente la estructura del fitoplancton, como se nombró anteriormente.

Las mayores abundancias y biomásas de diatomeas se registraron en el período de primavera a lo largo de todo el canal y en toda la columna de agua. A su vez en esta época se registraron las mayores concentraciones de clorofila de todo el estudio ($39 \mu\text{gL}^{-1}$ en ZD a los 10 m), mientras que las concentraciones de clorofila para los períodos de invierno y verano fueron $< 1 \mu\text{gL}^{-1}$. Estas altas concentraciones de clorofila han sido descritas para otros fiordos como el Reloncaví ($22\text{-}30 \mu\text{gL}^{-1}$)(González *et al.*, 2010), a su vez, el periodo de primavera está caracterizado por ser altamente productivo, con intensas floraciones de diatomeas (Iriarte *et al.*, 2007)

En el período de invierno, la especie más abundante de diatomeas fue *Skeletonema spp*, en primavera fue *Pseudo-nitzschia subcurvata* y en verano fue *Pseudo-nitzschia delicatissima*, de acuerdo a lo reportado por Alves de Souza *et al.* (2008), las especies abundantes obtenidas en invierno y verano, se encuentran dentro de lo descrito en su trabajo, en relación a primavera la especie nombrada anteriormente, no fue descrita en ese trabajo. Las abundancias de diatomeas fueron mucho mayor comparada con la abundancia de dinoflagelados en los tres periodos estudiados. A su vez, la abundancia de dinoflagelados fue mayor en el periodo de primavera en comparación con invierno y verano. En general en esta zona, las diatomeas constituyen el grupo dominante a lo largo de todo el año (Iriarte *et al.*, 1993) y esta área tiene un patrón de distribución espacial y temporal heterogéneo que no se caracteriza por el patrón clásico de aguas mixtas dominadas por diatomeas versus aguas estratificadas dominadas por dinoflagelados (Iriarte *et al.*, 2001; Alves de Souza *et al.*, 2008).

Los resultados de NMDS indicaron que no se conformaban grupos entre periodos ni estaciones, situación similar a lo registrado por Paredes *et al.*, 2014 en su análisis sub-regional, en la cual las estaciones no mostraron un patrón espacial significativo. En ese trabajo los resultados fueron explicados por la alta variabilidad ambiental a corto plazo, típica en ecosistemas estuarinos, generados por procesos adicionales que se propagan a través de sus interfaces con la tierra, el océano, la atmosfera y los sedimentos subyacentes (Cloern & Jassby, 2008; Paredes *et al.*, 2014)

El predominio de las diatomeas en el extremo oceánico (situación primavera) es producto de la mayor disponibilidad de luz en la columna de agua y el suministro continuo de agua dulce con altas concentraciones de ácido silícico (González *et al.*, 2013). Sin embargo, en primavera se han registrado valores de turbidez bajos entre los 3 períodos (< 15 NTU), lo que permite una columna de agua con condiciones lumínicas óptimas con una baja estratificación lo que genera condiciones apropiadas para una floración de diatomeas con altas concentraciones de biomasa (Montecinos *et al.*, 2002), ya que una fuerte estratificación vertical inhibe los movimientos verticales asociados a la turbulencia, manteniendo disponibilidad de luz pero disminuyendo los flujos que reabastecen de nutrientes a la zona. En contraste cuando la estratificación es débil, los flujos verticales suministran grandes flujos de nutrientes (Gargett & Marra, 2002), lo cual teóricamente se indica que los cambios en los factores y condiciones ambientales, concentración de nutrientes, disponibilidad de luz, o interacciones biológicas, afectan en gran medida la composición del tamaño celular y por lo tanto la biomasa y las concentraciones de Clorofila-a (Paredes *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

- La estructura hidrográfica del canal Martínez está representada por fuertes gradientes estacionales horizontales y verticales en la salinidad y temperatura, presentando una marcada estructura de dos capas en los períodos de invierno y verano, mientras que en primavera la estratificación es menor, producto de una intensa mezcla en la columna de agua. Las descargas glacio-fluviales modulan las condiciones ambientales como, disponibilidad de nutrientes, turbidez y por consecuencia, son el principal factor que afecta la biomasa y clorofila en el canal.
- En periodos de alta descarga de río las menores abundancias, biomasa y riqueza de especie se presentaron en ZD, mientras que las mayores abundancias, biomasa y riqueza de especie se registraron en ZE, esto para los periodos de invierno y verano.
- En la época de primavera se presentaron altas abundancias en general a lo largo de toda la transecta. Esto asociado a altas concentraciones de clorofila, bajos niveles de turbidez, bajas precipitaciones (en comparación a los otros dos periodos estudiados), y una columna de agua poco estratificada, generando con esto las condiciones óptimas para una floración abundante de diatomeas.

REFERENCIAS

Alves de Souza, C., González, M.T & J.L, Iriarte. 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. *J. Plankton Res.* 30(2): 1233-1243.

Avaria, S. 2006. Fitoplancton de canales y fiordos australes. En: N. Silva & S. Palma (eds.). *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos.* Comité Oceanográfico Nacional –Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso,. pp 89-92.

Cloern, J.E & A.D, Jassby. 2008. Complex seasonal patterns of primary producers at the land sea interface. *Ecol. Lett.* 11, 1294–1303.

Cloern, J.E & A.D, Jassby. 2010. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine–coastal ecosystems. *Estuaries Coast* 33, 230–241.

Dussailant, A., Buytaert, W., C, Meier & F. Espinoza. 2012. Hydrological regime of remote catchments with extreme gradients under accelerated change: The Baker basin in Patagonia. *Hydrolog SciJ*, 57(8):1530-1542

Edler, L. 1979. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. *Balt Mar Biolog Publ*, 5:11–38.

Egge, J. K., & D. L. Aksnes. 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Marine Ecology Progress Series* 83:281–89

Elloumi,J., Drira,Z., Hamza,A., Ayadi,H. 2015. Space-time variation of ciliates related to environmental factors in 15 nearshore stations of the Gulf of Gabes. *Mediterr. Mar. Sci.*, 16(1), 162-179.

Escaravage, V., and T. C. Prins. 2002. Silicate availability, vertical mixing and grazing control of phytoplankton blooms in mesocosms. *Hydrobiology* 484:33–48

Gargett, A., & J. Marra, 2002: Effects of upper-ocean physical processes—turbulence, advection, and air–sea interaction—on oceanic primary production. *The Sea*, A. R. Robinson, J. J. McCarthy, and B. J. Rothschild, Eds., Biological–Physical Interactions in the Ocean, Vol. 12, John Wiley and Sons, 19–49

González, H.E., Calderón, M.J., Castro, L., Clement, A., Cuevas, L., Daneri, G., Iriarte, J.L., Lizarraga, L., Martínez, R., Menschel, E., Silva, N., Carrasco, C., Valenzuela, C., Vargas, C., Molinet, C. 2010. Primary production and its fate in the pelagic food web of the Reloncavi Fjord and plankton dynamics of the Interior Sea of Chiloé, Northern Patagonia, Chile. *Mar Ecol Prog Ser*, 402: 13–30

González, H.E., Castro, L.R., Daneri, G., Iriarte, J.L., Silva, N., Tapia, F., Teca, E., Vargas, C.A. 2013. Land-ocean gradient in haline stratification and its effects on plankton dynamics and trophic carbon fluxes in Chilean Patagonian fjords (47-50°S). *Prog Oceanogr.* 119: 32-47.

Hetland, R. 2005. Relating river plume structure to vertical mixing. *J. Phys. Oceanogr*, 35(9), 1667-1688.

Inall, M.E & P.A. Gillibrand. 2010. The physics of mid-latitude fjords: a review. *Geol. Soc. Spec. Publ.* 344(1): 17-33

Iriarte, J. L., Uribe, J. C. & C. Valladares. 1993. Biomass of size fractionated phytoplankton during the spring-summer season in Southern Chile. *Bot. Mar.*, 36, 443–450.

Iriarte, J. L., Kusch, A., Osses, J. 2001. Phytoplankton biomass in the sub-Antartic area of the Straits of Magellan (538S), Chile during spring-summer 1997/1998. *Polar Biol.*, 24, 154–162.

Iriarte, J.L., González, H., Liu, K.K., Rivas, C & C. Valenzuela. 2007. Spatial and temporal variability of chlorophyll and primary productivity in surface waters of southern Chile (41.5-43°S). *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 74: 471-480.

Irirarte, J.L., Cuevas,A.C., Cornejo,F., Silva,N., González,H., Castro,L., Montero,P., Vargas, C., Daneri,G. 2018.Low spring primary production and microplankton carbon biomass in Sub-Antarctic Patagonian channels and fjords (50–53°S), *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 50:1

Jacob, BG., Tapia FJ, Daneri,G., Iriarte JL., Montero P., Sobarzo M., & RA Quiñones. 2014. Springtime size-fractioned primary production across hydrographic and PAR-light gradients in Chilean Patagonia. *Prog Oceanogr* 129: 75–84.

Lalli, C & T. Parsons. 1997. *Biological Oceanography: An introduction* (2nd ed.) Butterworth-Heinemann, Vancouver, pp 337 .

Leblanc, K., Arístegui, J., Armand, L., Assmy, P., Beker, B., Bode,A., Breton,E., Cornet, V., Gibson, J., Gosselin, M., Kopczynska,E., Marshall, H., Peloquin,J., Piontkovski,S., Poulton,A., Quéguiner,B., Schiebel,R., Shipe,R., Stefels,J., Leeuwe, M.A., Varela,M., Widdicombe,C & M. Yallop. 2012. A global diatom database-abundance, biovolume and biomass in the world ocean. *Earth Syst. Sci. Data.* 149-165.

Margalef, R. (1978) Life forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta*, 1, 493– 509.

Menden-Deuer, S & E. Lessard. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton. *Limnol. Oceanogr.*, 45(3), 569-579.

Meerhoff, E., F, Tapia & L. Castro. 2014. Spatial structure of the meroplankton community along a Patagonian fjord - role of changing freshwater inputs. *Prog Oceanogr*, 129: 125–135

Montecino, V & G. Pizarro. 2006. Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. En: N. Silva & S. Palma (eds.). *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos.* Comité Oceanográfico Nacional – Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso. pp 93-97.

Montecino, V., Pizarro, G., 2008. Primary productivity, biomass and phytoplankton size in the austral Chilean channels and fjords: spring–summer patterns. In: Silva, N., Palma, S.

(Eds.), Progress in the oceanographic knowledge of Chilean Interior Water, from Puerto Montt to Cape Horn. Comité Oceanográfico Nacional & Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. pp 93–97.

Ortiz, P. 2016. Escalas de variabilidad en la composición de tamaños y estructura comunitaria del componente planctónico en un sistema de fiordo con influencia glacial (Patagonia Central, 47°S). Tesis de Magíster en Oceanografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Universidad de Valparaíso, Valparaíso, 88 pp.

Paredes, MA., Montecino, V., 2010. Size diversity as an expression of phytoplankton community structure and the identification of its patterns on the scale of fjord and channels. Cont Shelf Res. 31:271-281

Paredes, MA., Montecino, V., Anic, V., Egaña, M., Guzmán, L., 2014. Diatoms and dinoflagellates macroscopic regularities shaped by intrinsic physical forcing variability in Patagonian and Fuegian fjord and channels (48°-56°S). Prog Oceanogr. 129:85-97

Pielou E. 1966. The measurement of diversity in the different types of biological collections. J. Theor. Biol., 13: 131-144.

Pickard, G., 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. J Fish Res Board Can. 28, 1077–1106.

Quiroga, E., Ortiz, P., González-Saldías, R., Reid, B., Tapia, F., Pérez-Santos, I., Rebolledo, L., Mansilla, R., Pineda, C., Cari, I., Salinas, N., Montiel, A., Gerdes, D. 2016. Seasonal patterns in the benthic realm of a glacial fjord (Martinez Channel, Chilean Patagonia): the role of suspended sediment and terrestrial organic matter. . Mar Ecol Prog Ser, doi: 10.3354/meps11903.

Ramírez, B. 2006. Distribución de clorofila en algunos fiordos chilenos ubicados entre el Golfo de Penas y el Estrecho de Magallanes. Cienc. Tecnol. Mar, 29(2): 2763.

Roxburgh, S. 2001. What are ecological communities. Pagina: [<http://www.steverox.info/Downloads/Teaching/Ecological%20communities.pdf>].

Revisado 23 de abril 2018

Sievers, H & N. Silva. 2008. Water masses and circulation in austral Chilean channels and fjords. In: N. Silva & S. Palma (eds.). Progress in the oceanographic knowledge of Chilean interior waters, from Puerto Montt to Cape Horn. Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso. pp 53-58.

Silva, N., Calvete, C., Sievers, H., 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR Fiordo I). Cienc. Tecnol. Mar. 20, 23–106.

Silva, N & C. Vargas. 2014. Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. Prog Oceanogr, 129: 62–74.

Silva, N., 2008. Dissolved oxygen, pH and nutrients in the austral Chilean channels and fjords. In: Silva, N., Palma, S. (Eds.), Progress in the Oceanographic Knowledge of Chilean Interior Waters, from Puerto Montt to Cape Horn. Comité Oceanográfico Nacional & Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile, pp. 37–44.

Sun, J., Liu, D. Y., & Qian, S. B. 2000. Estimating biomass of phytoplankton in the Jiaozhou Bay I. Phytoplankton biomass estimated from cell volume or plasma volume. Acta Oceanol Sin., 19(2), 97–110.

Sun, J & D. Liu. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. J.Plankton.Res, 25:1331-1346.

Uthermöhl, H. 1958. Zur vervollkommnung der quantitativen phytoplankton metodik. Mitt. Int. Ver. Limnol 9:1-38 .

ANEXOS

ANEXO 1. Abundancias de fitoplancton en periodo de invierno.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
Chaetoceros spp.	0	0	200
Chaetoceros affinis	700	0	700
Skeletonema spp.	80	9920	7840
Thalassiosira spp.	20	100	100
Fragilariopsis spp.	340	40	200
Nitzschia spp.	140	0	0
Pseudo-nitzschia spp.	0	0	300
Leptocylindrus minimus	0	0	1300
Cylindrotheca closterium	0	0	220
Chaetoceros lorenzianus	0	3100	3300
Pleurosigma spp.	40	0	40
Navicula spp.	0	20	120
Guinardia delicatula			40
Melosira spp			220
Dinoflagelados			
Gyrodinium lachryma	200	0	100
Protoperdinium spp.	100	300	280
Protoperdinium pellucidum	0	0	300
Dinophysis pusilla	40	0	0
Dinophysis spp.	0	100	100

ANEXO 2. Abundancias de fitoplancton en el periodo de primavera.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
Cerataulina pelagica	0	300	2000
Chaetoceros cf. Affinis	0	700	900
Chaetoceros constrictus	700	400	0
Chaetoceros debilis	0	200	95800
Chaetoceros diadema	2200	0	0
Chaetoceros didymus	11000	300	17000
Chaetoceros lacinosus	0	0	900
Chaetoceros lorenzianus	4200	200	0
Chaetoceros teres	3700	0	500
Chaetoceros brevis	0	800	20600
Chaetoceros similis	800	1400	0

Chaetoceros sp	500	0	6600
Coscinodiscus janischii	0	100	100
Coscinodiscus perforatus	0	300	0
Coscinoria polychorda	200	0	0
Ditylum brightwellii	200	0	100
Guinardia delicatula	0	100	0
Pseudo-nitzschia cf. australis	241300	102000	162200
Pseudo-nitzschia delicatissima	84500	400	1200
Rhizosolenia setigera	2500	700	2100
Skeletonema costatum	25400	2600	0
Thalassionema nitzschioides	96900	12500	75600
Thalassiosira cf. mendiolana	300	200	3000
Thalassiosira rotula	500	0	1500
Thalassiosira minuscula	1300	400	5900
Thalassiosira cf. decipiens	0	800	2200
Navicula sp.	200	0	300
Dactyliosolen fragilissimus	5800	900	5500
Leptocylindrus danicus	1700	200	700
Leptocylindrus minimus	131600	4800	6700
Synedra sp	300	0	0
Laueria borealis	200	0	0
Thalassiosira sp	23000	0	0
Thalassiosira aestivalis	700	0	0
Thalassiosira cf. claudicans	1200	0	0
Stephanopyxis turris	22000	0	0
Pseudo-nitzschia cf. subcurvata	1510500	0	0
Chaetoceros compressus	3400	0	0
Chaetoceros decipiens	200	0	0
Ceratium horridum	100	0	0
Pseudo-nitzschia paradoxa	1400	0	0
Rhizosolenia sp	200	0	0
Coscinudiscus sp	100	0	0
Chaetoceros radicans	100	0	0
Dinoflagelados			
Protoperidinium obtusum	500	0	0
Protoperidinium sp.	400	200	0
Protoperidinium steiini	4900	100	400
Protoperidinium claudicans	100	100	0
Protoperidinium conicum	800	0	0
Gonyaulax cf. Fusiformis	13400	500	100

Scrippsiella trochoidea	1100	300	100
Ceratium pentagonium	100	0	0
Prorocentrum sp.	0	200	0
Gimodinium sp.	700	100	400
Gonyaulax sp.	1400	0	100
Dinophysis fortii	100	0	0
Diplopsalis lenticula	1100	0	0
Polykrikos kofoidii	100	0	0
Gyrodinium sp	3100	0	0
Protoperidinium conicum	200	0	0
Protoperidinium ovum	200	0	0
Podolompas sp	1600	0	0
Protoperidinium pellucidum	100	0	0

ANEXO 3. Abundancia de fitoplancton periodo de verano.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
G. Pseudo-nitzschia seriata	300	0	1200
Asterionella formosa	0	6360	0
Cylindrotheca closterium	0	360	600
Fragilaria spp	0	3600	0
Chaetoceros spp.	0	0	3000
Leptocylindus danicus	0	0	16160
Skeletonema spp.	200	2500	42480
Chaetoceros curvisetus	0	0	6200
Rhizosolenia setigera	0	0	4600
G. Pseudo-nitzschia delicatissima	0	0	57120
Thalassionema nitzschioide	500	0	800
Thalassiosira spp.	100	0	80
Pseudo-nitzschia spp.	0	740	0
Chaetoceros compressus	0	0	5800
Chaetoceros convolutus	0	0	600
Chaetoceros debilis	0	0	2800
Chaetoceros radicans	0	0	7600
Chaetoceros lorenzianus	0	0	8600
Guinardia delicatula	0	0	1000
Eucampia zodiacus	200	0	0
Coscinodiscus spp.	0	0	400
Ditylum brightwellii	0	0	160
Pinnularia spp.	100	0	0

Dinoflagelados			
Protoperidinium pellucidum	0	0	200
Protoperidinium spp.	0	0	100

ANEXO 4. Biomasa en μgCL^{-1} del fitoplancton periodo de invierno.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
Chaetoceros spp.	0	1,085E-11	1,37434E-11
Chaetoceros affinis	4,82349E-11	0	0
Skeletonema spp.	6,95988E-13	9,11745E-11	9,43064E-11
Thalassiosira spp.	7,48107E-12	1,19697E-10	2,24432E-10
Fragilariopsis spp.	1,94036E-11	2,0545E-11	3,31003E-11
Nitzschia spp.	6,31081E-12	0	0
Pseudo-nitzschia spp.	2,85606E-12	0	2,48592E-11
Leptocylindrus minimus	0	2,14205E-11	4,22289E-11
Cylindrotheca closterium	0	0	1,0351E-11
Chaetoceros lorenzianus	0	4,72692E-11	0
Pleurosigma spp.	0	0	6,31081E-12
Navicula spp.	0	4,08009E-13	2,44805E-12
Guinardia delicatula	0	0	7,7243E-12
Melosira spp	0	0	2,65656E-11
Dinoflagelados			
Gyrodinium lachryma	3,06305E-11	1,53153E-11	1,53153E-11
Protoperidinium spp.	5,53871E-10	1,66161E-09	1,44006E-09
Protoperidinium pellucidum	0	2,00119E-09	2,00119E-09
Dinophysis pusilla	9,80177E-11	0	0
Dinophysis spp.	0	3,40339E-11	6,80678E-11

ANEXO 5. Biomasa en μgCL^{-1} del fitoplancton periodo de primavera.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
Cerataulina pelagica ¹	0	0,417832086	2,785547239
Chaetoceros cf. Affinis ¹	0	0,094195612	0,121108645
Chaetoceros constrictus ¹	0,203602332	0,11634419	0
Chaetoceros debilis ¹	0	0,04309832	20,64409547
Chaetoceros diadema ¹	0,883590834	0	0
Chaetoceros didymus ¹	3,113741273	0,084920217	4,812145604
Chaetoceros lacinosus ¹	0	0	0,133431739
Chaetoceros lorenzianus ¹	2,062054768	0,098193084	0
Chaetoceros teres ¹	1,790029021	0	0,241895814
Chaetoceros brevis ¹	0	0,201022476	5,176328769

Chaetoceros similis ¹	0	0,154673591	0
Chaetoceros sp ¹	0,006826943	0	0,090115646
Coscinodiscus janischii ²	0	11,31845867	11,31845867
Coscinodiscus perforatus ³	0	12,3933	0
Coscinoria polychorda ³	0,323	0	0
Ditylum brightwellii ¹	0,351971926	0	0,175985963
Guinardia delicatula ³	0	0,023668735	0
Pseudo-nitzschia cf. Australis ²	83,93898216	35,2148192	55,9984674
Pseudo-nitzschia delicatissima ¹	1,499571203	0,007359859	0,022079576
Rhizosolenia setigera ¹	17,26737097	4,834863873	14,50459162
Skeletonema costatum ¹	0,809407682	0,091102163	0
Thalassionema nitzschioides ³	7,224313858	0,945590819	5,718933274
Thalassiosira cf. Mendiolana ²	0,2445	0,163	2,445
Thalassiosira rotula ³	0,352256552	0	1,056769657
Thalassiosira minuscula ²	0,027262875	0,01090515	0,160850965
Thalassiosira cf. Decipiens ³	0	0,4536	1,2474
Navicula sp. ¹	0,076083161	0	0,228249483
Dactyliosolen fragilissimus ²	14,14862541	2,195476357	13,41679996
Leptocylindrus danicus ¹	0,168113273	0,089001145	0,069223113
Leptocylindrus minimus ¹	0,430220899	0,082602413	0,115299201
Synedra sp ³	0,4704	0	0
Lauderia borealis ³	0,8632	0	0
Thalassiosira sp ¹	36,33589001	0	0
Thalassiosira aestivalis ³	0,5936	0	0
Thalassiosira cf. Claudicans ³		0	0
Stephanopyxis turris ¹	25,68840989	0	0
Pseudo-nitzschia cf. Subcurvata ³	35,8632	0	0
Chaetoceros compressus ¹	0,13416422	0	0
Chaetoceros decipiens ¹	0,121000002	0	0
Ceratium horridum ¹	0,276115087	0	0
Pseudo-nitzschia paradoxa ³	0,5782	0	0
Rhizosolenia sp ³	151,1804	0	0
Coscinodiscus sp ¹	0,043092731	0	0
Chaetoceros radicans ³	0,000855253	0	0

Dinoflagelados	ZD	ZI	ZE
Protoperidinium obtusum ⁴	3,071441138	0	4,607161707
Protoperidinium sp. ¹	0,906200013	0,453100006	0
Protoperidinium steiini ¹	8,172523244	0,199329835	2,391958023
Protoperidinium claudicans ¹	1,336620776	1,336620776	0
Protoperidinium conicum ¹	3,224482041	0	12,89792816

Gonyaulax cf. Fusiformis ⁵	0,190917631	0,954588155	25,58296254
Scrippsiella trochoidea ¹	0,984357633	0,210933779	0,632801336
Ceratium pentagonium ⁵	0	0	5,019552103
Prorocentrum sp. ¹	0	0,220612909	0
Gymnodinium sp. ¹	1,730851052	0,432712763	3,02898934
Gonyaulax sp. ¹	0,363257396	0	5,085603547
Dinophysis fortii ⁴	0,586192717	0	0
Diplopsalis lenticula ¹	3,908794202	0	0
Polykrikos kofoidii	0	0	0
Gyrodinium sp ⁴	4,486071711	0	0
Protoperdinium conicum ¹	3,224482041	0	0
Protoperdinium ovum ⁴	0,534053257	0	0
Podolompas sp ⁵	0,22056638	0	0
Protoperdinium pellucidum ¹	0,328156775	0	0

¹ Olennina *et al.*, 2006; ² Lab. Oceanografía Biológica y Biogeoquímica 2018; ³ Leblanc *et al.*, 2012; ⁴ Sun *et al.*, 2000; ⁵ Elloumi *et al.*, 2014.

ANEXO 6. Biomasa en μgCL^{-1} del fitoplancton periodo de verano.

Diatomeas	ZD	ZI	ZE
G. Pseudo-nitzschia seriata	0,01196036	0	0,04784143
Asterionella formosa	0	0,15135345	0
Cylindrotheca closterium	0	0,08810509	0,19578908
Fragilaria spp	0	0,2117016	0
Chaetoceros spp.	0	0	0,02804584
Leptocylindus danicus	0	0	1,52493969
Skeletonema spp.	0,00173997	0,02174964	0,37130983
Chaetoceros curvisetus	0	0	0,30610129
Rhizosolenia setigera	0	0	3,54626299
G. Pseudo-nitzschia delicatissima	0	0	1,22182333
Thalassionema nitzschioide	0,02385207	0	0,03816332
Thalassiosira spp.	0,09098736	0	0,07278988
Pseudo-nitzschia spp.	0	0,02950221	0
Chaetoceros compressus	0	0	0,03363944
Chaetoceros convolutus	0	0	0,04813582
Chaetoceros debilis	0	0	0,01835361
Chaetoceros radicans	0	0	0,04407927
Chaetoceros lorenzianus	0	0	0,4770965
Guinardia delicatula	0	0	0,1473187
Eucampia zodiacus	0,28777429	0	0
Coscinodiscus spp.	0	0	0,11755387
Ditylum brightwellii	0	0	0,7003178

Pinnularia spp.	0,2241729	0	0
Dinoflagelados	ZD	ZI	ZE
Protoperidinium pellucidum	0	0	2,29927743
Protoperidinium spp.	0	0	0,28311968
