

UCH-FC  
MAG-EBE  
D542  
C1

**Variación de la estructura comunitaria del fitoplancton y zooplancton de un embalse polimíctico temperado de Chile Central durante un periodo anual con decrecimiento sostenido del volumen de agua. Un estudio de campo.**

## **Tesis**

**Entregada A La  
Universidad De Chile  
En Cumplimiento Parcial De Los Requisitos  
Para Optar Al Grado De**



**MAGISTER en Ciencias con Mención en Ecología Y Biología  
Evolutiva**

**Por**

**Karina Alejandra Díaz Valle**

**Abril, 2014**

**Director de Tesis  
Profesores: Irma Vila  
David Véliz**

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**INFORME DE APROBACION**  
**TESIS DE MAGISTER**

Se informa a la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias que la Tesis de Magister presentada por la candidata.

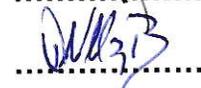
**Karina Alejandra Díaz Valle**

Ha sido aprobada por la comisión de Evaluación de la tesis como requisito para optar al grado de Magíster en Ciencias con mención en Ecología Y Biología Evolutiva, en el examen de Defensa Privada de Tesis rendido el día 30 de Octubre del 2013

Director de Tesis: MsC. Irma Vila



Co-Director de Tesis: Dr. David Véliz



Comisión de Evaluación de la Tesis

Dr. Víctor Marín

Dra. Vivian Montecino

Dr. Marcos Méndez





*“Los científicos son niños que han conservado su capacidad de asombro”*

Sylvia Earle

## AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que me han acompañado en estos años de carrera.

A mis profesores guías, Irma Vila y David Veliz, quienes siempre estuvieron ahí, me enseñaron y apoyaron en todo este proceso, es especial a la profesora Vila, la cual me ha enseñado a emocionarme investigando.

Al profesor Bicudo, por su amabilidad y cariño, y por sus valiosas enseñanzas que recibí durante mi pasantía.

A mis compañeros de laboratorio por su ánimo y alegría, en especial a Sergio y Nacho, quienes me acompañaron en todas las salidas a terreno, a Juan Pablo por su ayuda en la identificación del zooplancton, en estadística y por sus valiosos comentarios respecto a mi trabajo, a Ingrid y Claudia por su amistad, y en general a todos en el laboratorio por su compañerismo.

A ESVAL por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta tesis

Además quiero agradecer a mis amigas Vinka y Yen, quienes estuvieron a cada paso a mi lado dándome ánimo para seguir adelante, en especial a Vinka quien además de su amistad me brindó apoyo estadístico.

A mis papás quienes siempre me motivaron para estudiar y se sienten orgullosos de cada uno de mis logros, en especial a mi mamá, la cual siempre me apoyó y lo sigue haciendo desde otro plano.

A mi familia, a Rodrigo por soportarme y apoyarme en los días difíciles, y disfrutar los días buenos y a Cristóbal que con su alegría y ternura puede iluminar mi día, y a Sofía por siempre estar ahí.

A mi familia política, en especial a mi suegra y Pauli por apoyarme y cuidar a mi hijo para las ocasiones que debo estar fuera de casa.

Por último, quisiera dedicar esta tesis a todos mis seres queridos que me miran desde otro plano y que fueron un gran aporte en mi vida.

## INDICE DE MATERIAS

---

I. Introducción	1
II. Materiales y Métodos	9
Área de estudio	9
Análisis de variables físicas, químicas y biológicas	12
Análisis fitoplanctónico	13
Análisis zooplanctónico	16
Análisis de los datos	17
III. Resultados	20
Caracterización física, química y biológica del embalse	20
Composición y abundancia fitoplanctónica	29
Caracterización fitoplanctónica según los Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM).	36
Composición y abundancia zooplanctónica	41
Relación entre fitoplancton y zooplancton	50
Relación entre GFBM y zooplancton	52
IV. Discusión	49
Variación fitoplanctónica	56
Variación zooplanctónica	61
Relación fitoplancton – zooplancton	64
V. Conclusiones	67
VI. Bibliografía	69
Anexo	82

## INDICE DE TABLAS

N°	Contenido	Pág.
1	Fechas de las campañas y estación climatológica correspondiente.	11
2	Clave para clasificar fitoplancton en grupos funcionales basados en morfología	15
3	Relación entre las distintas variables físicas, químicas y biológicas del Embalse Peñuelas en el período de estudio	27
4	Test de Friedman de los componentes comunitarios fito y zooplanctónico	48
5	P-valor estimados para la correlación de Spearman entre abundancia, riqueza y diversidad del fitoplancton y zooplancton con variables físicas y químicas	49
6	Relación entre fitoplancton y zooplancton diferenciado por tamaño	51
7	Relación entre GFBM y zooplancton	53

EN ANEXO:

N°	Contenido	Pág.
8	Abundancia de las especies fitoplanctónicas presentes en el embalse Peñuelas en el período estudiado	82
9	Caracterización fitoplanctónica según los Grupos Funcionales Basados en Morfología	83
10	Abundancia de las especies zooplanctónicas presentes en el embalse Peñuelas en el período estudiado	84
11	Especies fitoplanctónicas agrupadas según su máxima dimensión lineal	85
12	Especies zooplanctónicas agrupadas según su máxima dimensión lineal	86

## INDICE DE FIGURAS

N°	Contenido	Pág.
1	Ubicación geográfica (a) y batimetría (b) del embalse Peñuelas	10
2	Variación de Nitrógeno total presente en el embalse en el período estudiado	20
3	Variación de Fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) presente en el embalse en el período estudiado	21
4	Variación de Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) presente en el embalse en el período estudiado	22
5	Variación de Clorofila a ( $\mu\text{g/L}$ ) presente en el embalse en el período estudiado	22
6	Variación de pH presente en el embalse en el período estudiado	23
7	Variación de conductividad ( $\text{mS/cm}$ ) del embalse en el período estudiado	24
8	Variación de Oxígeno disuelto ( $\text{mg/L}$ ) presentes en el embalse en el período estudiado	24
9	Variación del Porcentaje de Saturación de Oxígeno presentes en el embalse en el período estudiado	25
10	Variación de transparencia ( $\text{cm}$ ) observados en el embalse en el período estudiado	25
11	Variación de profundidad (mts) del embalse en el período estudiado	26
12	Variación de volumen ( $\text{m}^3$ ) del embalse en el período estudiado	26
13	Perfiles verticales de las variables Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto, pH, y Clorofila a, estudiadas para las distintas estaciones de muestreo	28
14	Abundancia (a) y Riqueza (b) fitoplanctónica en superficie y profundidad para cada temporada.	30
15	Abundancia relativa de las taxa fitoplanctónicas dominantes (sobre 10%)	31
16	Diversidad de Shannon para fitoplancton en el período estudiado	33
17	Diagrama de ordenación del Fitoplancton obtenido a través de un ACC	35

18	Abundancia total fitoplanctónica y relativa fitoplanctónica agrupada según GFBM	36
19	Diagrama de ordenación del Fitoplancton agrupado según GFBM, obtenido a través de un RDA	40
20	Abundancia (a) y Riqueza (b) zooplanctónica en superficie y profundidad para cada temporada	42
21	Abundancia relativa de las especies zooplanctónicas (sobre 10%).	43
22	Diversidad de Shannon para zooplancton en el período estudiado	45
23	Diagrama de ordenación de muestras zooplanctónicas obtenido a través de un RDA	47

EN ANEXO:

Nº	Contenido	Pág.
24	Valores promedio de abundancia de <i>A. formosa</i>	87
25	Valores promedio de abundancia de <i>A. granulata</i>	87
26	Valores promedio de abundancia de <i>Navicula spp</i>	88
27	Valores promedio de abundancia de <i>N. acicularis</i> .	88
28	Valores promedio de abundancia de <i>Nitzschia spp</i>	89
29	Valores promedio de abundancia de <i>Synedra spp</i>	89
30	Valores promedio de abundancia de <i>Chlamydomonas sp</i>	90
31	Valores promedio de abundancia de <i>Chlorella sp</i>	90
32	Valores promedio de abundancia de <i>C. acutum</i>	91
33	Valores promedio de abundancia de <i>C. aciculare</i>	91
34	Valores promedio de abundancia de <i>C. microporum</i>	92
35	Valores promedio de abundancia de <i>D. pulchellum</i>	92
36	Valores promedio de abundancia de <i>Oocystis sp</i>	93

37	Valores promedio de abundancia de <i>S. cuspidatus</i>	93
38	Valores promedio de abundancia de <i>S. johnsonii</i>	94
39	Valores promedio de abundancia de <i>P. tetras</i>	94
40	Valores promedio de abundancia de <i>S. acuminatus</i>	95
41	Valores promedio de abundancia de <i>S. ecornis</i>	95
42	Valores promedio de abundancia de <i>T. minimum</i>	96
43	Valores promedio de abundancia de <i>T. trigonum</i>	96
44	Valores promedio de abundancia de <i>D. planctonicum</i>	97
45	Valores promedio de abundancia de <i>C. hirundinella</i>	97
46	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>Cryptomonas</i> sp.	98
47	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>Cosmarium</i> spp	98
48	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>C. hirundinella</i>	99
49	Valores promedio de abundancia de <i>Cyclotella</i> spp (según estación y profundidad)	100
50	Valores promedio de abundancia de <i>S. paradoxum</i> (según estación y profundidad)	101
51	Valores promedio de abundancia de <i>Cosmarium</i> spp (según estación y profundidad)	101
52	Valores promedio de abundancia de <i>D. communis</i> (según estación y profundidad)	102
53	Valores promedio de abundancia de Grupo I	103
54	Valores promedio de abundancia de Grupo III	103
55	Valores promedio de abundancia de Grupo V	104
56	Valores promedio de abundancia de Grupo VII	104
57	Valores promedio de abundancia en profundidad de Grupo V	105
58	Valores promedio de abundancia de <i>B. longirostris</i>	106
59	Valores promedio de abundancia de <i>D. chilense</i>	107
60	Valores promedio de abundancia de <i>C. dubia</i>	107
61	Valores promedio de abundancia de <i>M. micrura</i>	108

62	Valores promedio de abundancia de <i>Copepodito</i> spp	108
63	Valores promedio de abundancia de <i>A. brightwelli</i>	109
64	Valores promedio de abundancia de <i>B. calyciflorus</i>	109
65	Valores promedio de abundancia de <i>K. cochlearis</i>	110
66	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>D. ambigua</i>	111
67	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>C. sphaericus</i>	111
68	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>T. diabolicus</i>	112
69	Valores promedio de abundancia en profundidad de <i>Nauplius</i> spp	112
70	Valores promedio de abundancia de <i>B. longirostris</i> (según estación y profundidad)	113
71	Valores promedio de abundancia de <i>T. prasinus</i> (según estación y profundidad)	114
72	Valores promedio de abundancia de <i>M. mendocinus</i> (según estación y profundidad)	114

## RESUMEN

Los embalses, al ser sistemas lénticos que sirven de reservorios de agua, están sujetos no sólo a cambios provocados por fuerzas climatológicas e hidrológicas, sino también a la actividad antrópica, sobretudo en regiones donde la lluvia es irregular y fuertemente estacional. En la zona central de Chile se encuentra el embalse Peñuelas (33° 10'S – 71° 29' W), el cual es un lago somero polimíctico temperado abastecido sólo por el aporte de aguas lluvias y que sirve de fuente suplementaria de agua potable, razones por la cuales presenta oscilaciones en su volumen de agua embalsado. El presente estudio tiene como objetivo evaluar y analizar la variación de la estructura comunitaria del fitoplancton y zooplancton y la relación de ambos con las variaciones físicas, químicas y biológicas del embalse, además de la relación existente entre ambos grupos planctónicos diferenciándolos por máxima dimensión lineal (MDL) y/o características morfológicas, para lo cual se estudió durante un período de 13 meses las variables físicas, químicas y biológicas del embalse, caracterizando la comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica presente y su relación con las variables ambientales. Conjuntamente se caracterizó el fitoplancton por MDL y por características morfológicas en grupos funcionales basados en morfología (GFBM) y el zooplancton fue clasificado por tamaño (Macro, meso y microzooplancton) relacionando ambos grupos planctónicos en base a estas características.

Durante el período estudiado el sistema mostró un decrecimiento en su volumen de agua presentando características de eutrófico con la mayor abundancia durante todo el período de estudio de las clases Chlorophyceae y Zygnemaphyceae, pertenecientes al grupo IV según los GFBM, mientras que el zooplancton presentó abundancia de *Bosmina longirostris* durante todo el periodo estudiado excepto en verano donde la mayor abundancia corresponde a *Metacyclops mendocinus*. Se encontró una relación positiva entre la mayor abundancia de clorofila *a* durante el verano y la presencia de una Zygnemaphyceae de gran tamaño como *Closterium aciculare*, y

la menor transparencia del agua durante Otoño I cuando se produce la mayor abundancia de organismos fitoplanctónicos.

Además al asociar los componentes de la estructura comunitaria con las variables físicas y químicas del embalse que resultaron significativos para cada grupo planctónico, se puede apreciar que la abundancia y riqueza del fitoplancton y la riqueza y diversidad del zooplancton son las más afectadas. Además se observa que las variables con un mayor efecto sobre los componentes planctónicos son la transparencia y temperatura, en cambio las que mostraron una menor influencia son el volumen y el N-total, afectando solo en forma significativa la riqueza de especies fitoplanctónicas. Sin embargo, aunque se puede apreciar que si bien el volumen no se relaciona en forma significativa con los parámetros de estructura comunitaria fitoplanctónica y zooplanctónica, si lo hace con las variables que presentan una relación con estos parámetros. Respecto a la relación fitoplancton-zooplancton caracterizado según tamaño, se pudo observar que los grupos fitoplanctónicos compuestos por las microalgas de menor tamaño se encuentran relacionados al zooplancton de menor tamaño y que el zooplancton de tamaño mayor se encontró relacionado a algas de mayor tamaño. También se observó que la Clase Branchiopoda se asocia al fitoplancton de menor tamaño, y que la Clase Maxillopoda se asocia al fitoplancton de mayor tamaño. Además los grupos I y IV presentaron relación con las distintas clases microcrustáceos zooplanctónicos, principalmente debido a la alta abundancia del grupo IV durante todo el periodo de estudio y el pequeño tamaño, fácil captación y asimilación del grupo I compuesto por la microalga *Chlorella* sp. En general se pudo apreciar que la comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica se asoció a las variables ambientales presentes en el embalse Peñuelas, y además se presentó una relación entre la morfología del fitoplancton ya sea expresada en máxima dimensión lineal o un mayor número de características morfológicas como en GFBM, con el tamaño zooplanctónico.

## ABSTRACT

Impoundments as lentic systems that are freshwater reservoirs are influenced not only by changes of climatic and hydrological events but also by anthropogenic activities, this especially at regions where amount of rain is irregular and strongly seasonal. Peñuelas impoundment is located at the Central region, in Chile ( $33^{\circ}10'S71^{\circ}29'W$ ), and is a temperate polymictic shallow lake supplied only by rain water and it is a supplementary source of drinking water, for these reasons it presents water volume oscillations. The present study has as a main objective to evaluate and analyze the variations of phytoplankton and zooplankton community structure and their relationships with the physic, chemical and biological variations of the reservoir; besides, the relation between both planktonic groups with their differences of the maximum linear dimensions (MDL) and/or morphological characteristics. To accomplish this, the physic, chemical and biotic variables, phytoplankton and zooplankton were studied during a 13 months period. At the same time phytoplankton was characterized by MDL and by morphological characteristics in functional groups (GFBM), based on morphological traits. Zooplankton was classified by size (Macro, meso and micro zooplankton), relating both groups based on these characteristics.

During the study period the system showed a decrease in water volume presenting eutrophic characteristics with the higher abundance during all period of study of the Classes Chlorophyceae and Zygnemaphyceae classified on the group IV according to GFBM; meanwhile zooplankton presents higher abundance of *Bosmina longirostris* during all the studied period with the exception of summer when the higher abundance corresponded to *Metacyclops mendocinus*. A positive correlation was found between the higher abundance of chlorophyll *a* and the presence of the big size Zygnemaphyceae *Closterium aciculare* and the lower water transparency during Autumn.

The association of the community structure components with physical and chemical variables of the reservoir was significant for each planktonic group. The abundance and richness of

phytoplankton and zooplankton are the most affected. Besides it is observed that the variables with a major effect on the planktonic components are the transparency and the temperature, on the other hand those that showed a minor influence were the volume and total N, affecting only significantly the phytoplanktonic species richness. Nevertheless, although the volume is not related significantly with the phytoplanktonic and zooplanktonic community structure parameters, it is related with the variables related to these parameters. In relation with the phytoplankton-zooplankton characterized according to size, it was observed that the phytoplanktonic groups with less size algae are related to less size zooplankton and that the zooplankton of bigger size is related to larger algae. It was also observed that that Class Branchiopoda is associated to smaller size phytoplankton and, that Class Maxillopoda is associated to larger phytoplankton. Moreover, groups I and IV showed positive relationship with different zooplanktonic microcrustaceans, principally due to the high abundance of group IV during all the study period and to the small size, easy catchment and assimilation of group I composed by the microalgae *Chlorella* sp.

In general it was observed that phytoplanktonic and zooplanktonic communities were associated to the environmental variables of Peñuelas reservoir and, moreover it presented a relationship between phytoplankton morphology expressed as maximum linear dimension or a higher number of morphological characteristics as GFBM, with the zooplankton size.

## INTRODUCCIÓN

El origen de los sistemas acuáticos lénticos puede ser natural o artificial, entre los sistemas acuáticos de origen natural se encuentran los lagos, los que poseen una edad de formación a menudo antigua, y que a pesar de variaciones temporales, no presentan importantes fluctuaciones en su volumen debido a que poseen una evacuación superficial de sus aguas, al contrario, los sistemas de origen artificial como los embalses, tienen la particularidad esencial de ser de edad reciente y con grandes fluctuaciones en su nivel de agua debido a que su regulación es controlada principalmente según la demanda humana con una evacuación de las aguas a menudo profunda (Dussart 1984).

Los embalses, representan una red interactiva de componentes entre los organismos y su ambiente físico y químico, siendo considerados sistemas complejos con características diferentes de acuerdo con la función y estructura del sistema, las cuales no sólo son determinadas por variables climatológicas e hidrológicas, sino que conjuntamente con esto, también dependen de la actividad antrópica, la que determina principalmente, que el nivel del agua en los embalses sea inestable (Tundisi et al. 2006).

Como consecuencia de esta situación, la estructura comunitaria planctónica que habita estos sistemas, no sólo se encuentra regulada por factores abióticos (temperatura, luz, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, entre otras) y bióticas (depredadores, parásitos y competencia), sino que se estructuran principalmente por variables físicas, como cambios en el volumen de agua (Hutchinson 1957; Wetzel 2001; Acuña et al. 2008). Estas fluctuaciones en los niveles de agua afectarían la composición de las especies y biomasa de fitoplancton y zooplancton a través de cambios en la penetración de la luz, efectos térmicos (Naselli-Flores & Barone, 1997) y la dinámica de los nutrientes (Kimmel et al. 1990).

Un elemento importante de las comunidades biológicas presentes en estos sistemas acuáticos lénticos es el fitoplancton, o la comunidad de microorganismos fotosintéticos

adaptados a vivir en suspensión en la columna de agua (Reynolds 2006). Es el principal productor primario en los sistemas marinos y continentales, y es responsable de casi la mitad de la producción primaria neta global (Field et al. 1998, Falkowski et al. 2004), constituyendo la unidad básica de producción del sistema, sobre la cual se sustenta la trama trófica (Reynolds 2006). Las especies fitoplanctónicas varían en tamaño, forma, adaptaciones evolutivas y posiciones filogenéticas, demanda de nutrientes y energía, y sensibilidad a diferentes procesos de pérdida como sedimentación y depredación (Padisák et al. 2003, Padisák 2004). Debido a que las características morfológicas se encuentran relacionadas con rasgos fisiológicos de estos organismos como tasas de crecimiento, sedimentación o biomasa de las poblaciones naturales, Kruk et al. (2010) proponen que se utilicen rasgos morfológicos como predictores de los rasgos funcionales de las especies, creando una clasificación del fitoplancton basada en rasgos morfológicos (GFBM), fácilmente identificable en microscopio óptico, tales como presencia o ausencia de mucílago, flagelos, heterocistos, vesículas de gas, relación superficie/volumen, máxima dimensión lineal y estructura silícea.

En diversos estudios que relacionan fitoplancton y zooplancton, se encuentra implícita la suposición de que todas las microalgas, independiente de las especies y su tamaño, son alimento potencial para el zooplancton, no obstante, varios factores son importantes en determinar la calidad alimenticia algal para el zooplancton, por ejemplo, tamaño del alga (Burns 1968; Holm et al. 1983), comestibilidad, digestibilidad (Porter 1973, Burns et al. 1989), y producción de toxinas (Lampert 1981). Entre estas características que influyen la alimentación del zooplancton, se ha indicado que el tamaño de la microalga es el más importante (Burns 1968, Lampert 1987, Hartmann & Kunkel 1991, Sommer & Sommer 2006).

Además, en el zooplancton se ha afirmado que el rango de tamaño de la célula fitoplanctónica ingerida depende del tamaño corporal de éste, originando la hipótesis tamaño-eficiencia (Brooks & Dodson 1965) que postula que el límite superior de tamaño comestible del zooplancton depende del tamaño corporal del individuo, esta relación puede ser usada para

predecir la disponibilidad de varias especies fitoplanctónicas en relación a diferentes especies zooplanctónicas de distinto tamaño, o también, a los diferentes tamaños individuales de las mismas especies. (Burns 1968; Gliwicz & Siedlar 1980). De este modo, la eficiencia de alimentación del zooplancton es afectada por la morfología del fitoplancton (Reynolds 2006), por ejemplo algas de gran tamaño pueden impedir la depredación (Padisák 2004), y de esta forma el zooplancton puede reducir la abundancia de algas comestibles y al mismo tiempo favorecer la abundancia de algas grandes o de aquellas que poseen vainas mucilaginosas u otras estructuras que la hacen menos susceptibles a la depredación (Vanni 1987).

El pastoreo selectivo del zooplancton es un factor importante que afecta la estructura de la comunidad del fitoplancton (Goldyn & Kowalczywska-Madura 2007), debido a que los grupos zooplanctónicos poseen diferentes capacidades de captura y selección de presas (Sommer et al. 2001, Sommer & Sommer 2006, Lampert & Sommer 2007), por ejemplo los cladóceros tienen la característica de ser filtradores, sin capacidad de seleccionar individualmente las partículas de alimento (Sommer & Sommer 2006). En cambio, los copépodos pueden seleccionar las partículas individualmente, alimentándose con tamaños de presa mayores que los cladóceros (DeMott 1986, 1988). Los estudios experimentales, con una mezcla natural de alimento, indican que los copépodos omiten a los alimentos de pequeño tamaño cuando existen suficientes presas de tamaño mayor (Sommer et al. 2001). En el caso de los rotíferos, el alimento puede ser ingerido con mediana selectividad. En estos organismos, la primera selección puede ocurrir antes que las partículas sean dirigidas a la boca, y posteriormente dentro del mástax, por el movimiento del cilio bucal (Wallace & Snell 2010).

Excepto por los lagos de alta montaña en la cordillera de los Andes, Chile Central carece de lagos naturales, y muchos de los sistemas acuáticos existentes en el área son de naturaleza artificial (Schmid-Araya & Zúñiga 1992). Uno de estos sistemas acuáticos, es el embalse Peñuelas (33° 10'S – 71° 29' W), un lago artificial construido a fines de 1900. El objetivo original de este embalse fue abastecer de agua potable a los sectores altos de la

ciudad de Valparaíso y Viña del Mar, pero en la actualidad sólo se utiliza como fuente suplementaria (Acuña et al. 2008). Este embalse presenta variabilidad interanual y temporal del volumen de agua embalsado, debido a que su principal alimentación es el aporte de aguas lluvias en la cuenca tributaria, quedando básicamente regulado por las condiciones meteorológicas del sector y su explotación para el abastecimiento de agua potable (Uraoka 2003), sumado a una alta tasa de evaporación debido a la gran superficie expuesta del espejo de agua (González 2008). Se han registrado eventos críticos respecto al bajo volumen de agua embalsado como el ocurrido en el año 1995, cuando fue necesario prescindir del abastecimiento de agua potable desde este embalse, ya que éste disponía aproximadamente de 3 millones de metros cúbicos (de un máximo de 95 millones de metros cúbicos). Lo opuesto ocurrió entre los años 1984 y 1987, período durante el cual el volumen embalsado alcanzó los 85 millones de metros cúbicos, muy cercano de la capacidad máxima del lago (Uraoka 2003).

Este embalse ha presentado cambios históricos en la estructura comunitaria fitoplanctónica. El trabajo de Navarro & Avaria (1971), realizado entre abril a septiembre de 1968 identificó 34 especies fitoplanctónicas con los siguientes géneros dominantes: *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Ankistrodesmus*, *Closterium*, *Dictyosphaerium*, *Actinastrum*, *Melosira*, *Navicula*, *Anabaena (Dolichospermum)*, *Microcystis*, *Rhabdoderma* y *Gomphosphaeria*, de ellos sólo seis se mantuvieron en el período de muestreo (*Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Melosira*, *Anabaena (Dolichospermum)* y *Microcystis*). En el trabajo de Vila et al. (2006), con muestreos desde 2003 a 2005, se describió predominancia de Chlorophyceae durante 10 meses, solo durante enero predominó Bacillariophyceae y durante los meses de octubre y noviembre se incrementó Cyanophyceae. El trabajo con mesocosmos de Acuña et al. (2008), identificó en la comunidad fitoplanctónica del sistema aproximadamente 40 especies, siendo sólo 3 taxa dominantes: (*Desmodesmus communis* E.Hegewald *Tetraedron minimum* (A.Braun) Hansgirg y *Synedra* spp) las que concentraron el 74% del total de la abundancia. Además diversos autores señalan la presencia de eventos críticos de acumulación

de cianobacterias (Navarro & Avaria 1971, Zúñiga & Carvajal 1990, Olgúin & Domínguez 1995). Además, se ha descrito que el embalse presenta cambios drásticos de la calidad del agua e incluso que la estructura poblacional y la abundancia de las microalgas presenta relación al volumen del agua, con florecimientos de cianobacterias a bajos volúmenes de agua y predominancia de clorófitas a volúmenes altos (Vila et al. 2006).

La comunidad zooplanctónica en los embalses de Chile Central ha sido parcialmente estudiada, y principalmente en relación con un grupo zooplanctónico en particular, por ejemplo, los cladóceros en la laguna El Plateado (Domínguez & Zúñiga 1976) o rotíferos en el embalse Rapel (Soto et al. 1984). Algunas de las investigaciones que han incluido más de un grupo zooplanctónicos corresponden a Zúñiga & Araya (1982) en el embalse Rapel, Ruiz & Bahamonde (1989) respecto a cladóceros y copépodos y su distribución geográfica, Soto & Zúñiga (1991) compararon el zooplancton de lagos chilenos con los lagos norteamericanos, Ramos et al. (1998) en relación a la sucesión de los crustáceos en El Plateado y Montecinos et al. (2011) quienes analizaron la distribución del zooplancton con los diferentes sistemas lacustres del país. En el embalse Peñuelas se cita el trabajo de Schmid-Araya & Zúñiga (1992), que relacionan las 40 especies zooplanctónicas encontradas (2 copépodos, 9 cladóceros, y 29 rotíferos) con algunas variables abióticas, y Acuña et al. (2008), quienes describieron que la comunidad zooplanctónica está representada mayoritariamente por la clase Monogonta (rotíferos) *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Keratella* sp. y *Polyartha* sp. y en menor abundancia la clase Branchiopoda (cladóceros) *Bosmina longirostris* OF Müller y *Ceriodaphnia dubia* Richard describiendo una mayor presencia de Branchiopoda cuando existe un menor volumen de agua, (Schmid-Araya & Zúñiga 1992).

Estos antecedentes acerca del Embalse Peñuelas nos permitirían postular que el volumen del embalse, sería forzante en la estructura comunitaria del fitoplancton y zooplancton. Además, basado en los estudios relación fitoplancton-zooplancton los organismos fitoplanctónicos de tamaño pequeño y medio y los que no presenten rasgos morfológicos

especializados tendrán una mayor relación con los distintas clases y tamaños de los organismos zooplanctónicos.

Considerando las variaciones históricas de volumen existentes en el embalse Peñuelas resulta de interés evaluar las características físicas y químicas del agua y su relación con los cambios en las comunidades fito y zooplanctónicas, junto con explorar las relaciones de abundancia existentes entre ambos grupos plantónicos, por esto, se plantea la hipótesis siguiente:

## HIPÓTESIS

- 1) Considerando que el volumen del embalse presenta variaciones tanto intra como interanual, se espera que :
  - i) El fitoplancton y el zooplancton presenten variaciones en abundancia, riqueza y diversidad asociadas a esta variación del volumen.
  
- 2) Considerando los antecedentes sobre relación fitoplancton y zooplancton se espera:
  - ii) el zooplancton de mayor tamaño se asocie al fitoplancton de mayor tamaño, así como el zooplancton de menor tamaño se asocie el fitoplancton de menor tamaño (según teoría tamaño-eficiencia).
  
  - iii) la abundancia zooplanctónica muestre una asociación positiva en abundancia con los GFBM que presenten organismos de tamaño pequeño y medio, sin estructuras especializadas (mucilago, producción de sustancias alelopáticas)

### Predicciones de las hipótesis:

- a) Los menores valores de riqueza y diversidad fitoplanctónica existirán cuando el embalse presente su menor volumen, debido a la presencia de la clase Cyanophyceae, la cual presenta características alelopáticas (de la hipótesis 1).
- b) Junto con esto disminuirá la abundancia de organismos zooplanctónicos debido a la limitación de filtración que presentan sobre este tipo de algas. (de la hipótesis 2).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar la relación existente en la dinámica fitoplancton-zooplancton con los cambios en las variables físicas y químicas del embalse en un período anual.

### **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar, en un período anual, las variables físicas y químicas del embalse Peñuelas
2. Determinar los cambios temporales en la abundancia y riqueza fitoplanctónica, y de los grupos funcionales basados en morfología (GFBM).
3. Describir los cambios temporales de la riqueza y abundancia zooplanctónica.
4. Relacionar abundancia, riqueza y diversidad del fitoplancton, de grupos funcionales basados en morfología (GFBM), y del zooplancton con las características físicas y químicas del embalse Peñuelas.
5. Evaluar la relación de la abundancia, tamaño y GFBM del fitoplancton y relacionarlo con el zooplancton agrupado por tamaño.

## MATERIALES Y MÉTODOS:

### **Área de estudio**

El estudio se realizó en el embalse Peñuelas (33° 10'S – 71° 29' W) el cual se encuentra en la Reserva Nacional Lago Peñuelas, creada mediante decreto ley N° 859 de 1952 y que en la actualidad posee el estatus de Reserva de la Biosfera (La Campana - Peñuelas) desde 15 de Febrero de 1985 (Fig. 1).

El embalse Peñuelas presenta forma dendrítica y somera, lo que aunado al efecto de corte del viento lo mantiene permanentemente en mezcla (Olguín y Domínguez 1995, Uraoka 2003), correspondiendo a un sistema polimictico temperado (Vila et al. 2006). Su estado trófico ha fluctuado entre mesotrófico y eutrófico a escalas de temporalidad interanual para el índice de estado trófico de clorofila *a*, fósforo total y disco Secchi según Ryding & Rast (1992) (Vila et al. 2006). Además ha experimentado variaciones extremas de volumen, con profundidades que han fluctuado entre los 2 y 14 metros (Vila et al. 2006) debido principalmente a las variaciones meteorológicas del sector y la extracción para agua potable (Uraoka 2003).



Figura 1 a) Ubicación geográfica de la Reserva Nacional Lago Peñuelas. Figura 1 b) batimetría del embalse Peñuelas con Z máx 7,8 m, la estrella corresponde al sector de estudio.

El periodo de estudio correspondió a 13 meses comprendidos desde Agosto 2009 a Septiembre 2010 (Tabla 1). Las muestras fueron obtenidas bimestralmente en la zona de mayor profundidad del embalse, correspondiente a la zona de la represa (Fig. 1b). Se recolectaron cinco muestras superficiales y cinco muestras de profundidad en cada una de las campañas para análisis químicos y biológicos. Las muestras superficiales fueron colectadas entre 0 y 0,5 m y la muestras correspondientes a profundidad fueron colectadas a una profundidad de 3,5 m en la 1°, 2°, 3° y 4° campañas y 2,5 m en la 5°, 6° y 7° campañas debido a la disminución en el volumen del lago.

**Tabla 1:** Fechas de las campañas y estación climatológica correspondiente.

<b>Campañas</b>	<b>Fechas</b>	<b>Estación</b>
1°	Agosto 2009	Invierno I
2°	Octubre 2009	Primavera I
3°	Noviembre 2009	Primavera II
4°	Enero 2010	Verano
5°	Marzo 2010	Otoño I
6°	Junio 2010	Otoño II
7°	Septiembre 2010	Invierno II

**Análisis de variables físicas, químicas y biológicas:**

Con el objetivo de caracterizar las variables químicas, físicas y biológicas del embalse Peñuelas se midió clorofila *a*, temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto *in situ* con una sonda multiparamétrica YSI modelo 6920 V2-2. La transparencia del agua se midió utilizando un disco de Secchi. Para cuantificar la concentración de Fósforo total (P-total) y Nitrógeno total (N-total) se recolectaron 5 réplicas superficiales y 5 réplicas de profundidad con una botella Van-Dorn. Posteriormente, sus valores fueron determinados en laboratorio utilizando el método de Mühlhauser et al. (1986). Los valores de volumen del embalse fueron facilitados por la Empresa Sanitaria de Valparaíso (ESVAL).



### **Análisis Fitoplanctónico:**

Para determinar cambios en la composición fitoplanctónica se extrajeron muestras utilizando una botella Van-Dorn (3 litros). Se extrajeron 5 réplicas de 1 L en cada profundidad, a las cuales fueron fijadas con lugol. Las muestras fueron analizadas de acuerdo al método de concentración en cámaras de sedimentación (Utermöhl 1958) utilizando un microscopio invertido modelo Olympus CK2 a un aumento de 400X. Se utilizaron cámaras de 5, 10 y 25 ml según la abundancia fitoplanctónica de las muestras, dejando sedimentar por lo menos 2 horas por centímetro de altura según las recomendaciones de Elozegi & Sabater (2009).

La densidad de organismos (N: Número de individuos por litro, Ind/L) se obtuvo según la siguiente fórmula de Arocena & Conde (1999):

$$N=CA/aSV$$

Donde **C** es el número de organismos contados, **A** es el área de fondo de la cámara, **a** el área de del campo contado ( $\text{mm}^2$ ), **S** es el número de campos contados y **V** es el volumen de la muestra (ml)

La identificación taxonómica se realizó utilizando los trabajos de Navarro & Avaria (1971), Parra et al. (1982a,b, 1983a,b), Parra & Bicudo (1995), Bicudo & Menezes (2005), Sant'Anna et al. (2006). Además los organismos fitoplanctónicos fueron divididos basados en su máxima dimensión lineal en varias clases de tamaño 1 (1 a 20  $\mu\text{m}$ ), 2 (1 a 30  $\mu\text{m}$ ), 3 (1 a 50  $\mu\text{m}$ ), 4 (10 a 100  $\mu\text{m}$ ), 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ), 6 (100 a 200  $\mu\text{m}$ ) 7 (organismos sobre 200  $\mu\text{m}$ ), debido a que para los diferentes taxa zooplanctónicos se han descrito diferentes tamaños de selección sobre el fitoplancton (Burns 1968, Gosselain et al. 1998, Sommer & Sommer 2006, Lampert & Sommer 2007, Naselli & Flores 2011). Conjuntamente, se clasificaron los organismos fitoplanctónicos de acuerdo a la morfología presentada, para lo cual se utilizó la clave de Kruk et al. (2010) (Tabla 2) observándose caracteres morfológicos tales como presencia o ausencia de mucílago, flagelo, heterocistos, vesículas de gas, relación superficie/volumen, máxima

dimensión lineal y estructuras silíceas. Cuando fue necesario se calculó el volumen de los organismos según Hillebrand et al. (1999). Para realizar ambas clasificaciones se realizaron observaciones directas en el microscopio y se fotografió un número variable (mayor a 15 individuos) de individuos, con una cámara modelo BMS adosada al microscopio realizándose mediciones computarizadas con el programa Image Tool versión 3.0 para Windows (Wilcox et al. 2002).

**Tabla 2:** Clave para clasificar fitoplancton en grupos funcionales basados en morfología (GFBM). V: volumen ( $\mu\text{m}^3$ ); S/V relación superficie: volumen ( $\mu\text{m}^{-1}$ ); MDL: máxima dimensión lineal. Clasificación basada en el criterio de Kruk et al. (2010).

1 Presencia de flagelo	2 Presencia de estructuras silíceas	<b>Grupo II</b>			
	2' Ausencia de estructuras silíceas	3 MDL < 2 $\mu\text{m}$	<b>Grupo I</b>		
		3' MDL > 2 $\mu\text{m}$	<b>Grupo V</b>		
1' Ausencia de flagelo	2 Presencia de estructuras silíceas	<b>Grupo VI</b>			
	2' Ausencia de estructuras silíceas	3 Presencia de mucílago	4 Presencia de vesículas de gas (aerotopes)	5 S/V > 0,6 $\mu\text{m}^{-1}$	<b>Grupo III</b>
				5' S/V < 0,6 $\mu\text{m}^{-1}$	<b>Grupo VI</b>
	4' Ausencia de vesículas de gas (aerotopes)	5 V < 10 $\mu\text{m}^3$	<b>Grupo I</b>		
		5' V > 10 $\mu\text{m}^3$	<b>Grupo VII</b>		
		3' Ausencia de mucílago	4 V < 30 $\mu\text{m}^3$	5 MDL < 20 $\mu\text{m}^2$	<b>Grupo I</b>
				5' MDL > 20 $\mu\text{m}^2$	<b>Grupo IV</b>
			4' V > 30 $\mu\text{m}^3$	5 Presencia de vesículas de gas (aerotopes)	<b>Grupo III</b>
				5' Ausencia de vesículas de gas (aerotopes)	<b>Grupo IV</b>

### **Análisis zooplanctónico:**

Para determinar cambios en la composición zooplanctónica se extrajeron muestras con una trampa Schindler-Patalas de 30 litros con una red de 120  $\mu\text{m}$  de apertura de malla. Se obtuvieron 5 réplicas de cada profundidad a las que se les agregó una solución saturada de  $\text{CO}_2$  para facilitar su posterior identificación. Para su conservación se añadió una solución de alcohol al 50%. En el laboratorio las muestras se homogenizaron y dividieron en porciones iguales con un separador Folsom y luego se analizaron en una cámara Bogorov con una Lupa Wild M3 Heerbrugg y en un portaobjeto excavado en un microscopio invertido modelo Olympus CK2. Para la identificación taxonómica se utilizó el manual taxonómico de Araya & Zúñiga (1985) y Thorp & Covich (2001).

Los organismos zooplanctónicos fueron divididos en clases de tamaño según Pinel-Alloul et al. (2004) en microzooplancton (<200  $\mu\text{m}$ ), mesozooplancton (200-500  $\mu\text{m}$ ) y macrozooplancton (>500  $\mu\text{m}$ ). Los cladóceros se midieron desde el techo de la cabeza hasta la base de la espina, los copépodos desde el techo de la cabeza hasta la base de las setas furcales y los rotíferos desde la corona hasta la base del pie. Además se consideró las taxa cladócera, copépoda y rotífera en su totalidad y luego fueron divididas por tamaños según lo anteriormente descrito. *Asplanchna* no fue considerada dentro del análisis de relación fitoplancton-zooplancton por ser un depredador cuya dieta consiste principalmente en otros rotíferos, cladóceros, copépodos y ciliados (Sarma et al. 1998; 2002).

### **Análisis de los Datos**

Para evaluar el efecto de la profundidad y la temporalidad en las abundancias de las especies del fitoplancton y del zooplancton se realizó un ANDEVA de dos vías con permutaciones utilizando el procedimiento implementado en el programa R (R CoreTeam 2011). Para este análisis se consideró la abundancia (n° ind/L) de cada taxa por separado como variable dependiente (5 réplicas por profundidad correspondiente a 10 réplicas por campaña). Las variables independientes fueron profundidad (superficial y profundidad) y temporalidad. Para la temporalidad se consideró los muestreos de Invierno I (Agosto 2009), Primavera I (Octubre 2009), Primavera II (Noviembre 2009), Verano (Enero 2010), Otoño I (Marzo 2010), Otoño II (Junio 2010), Invierno II (Septiembre 2010) (Tabla 1). Cuando el modelo general mostró diferencias significativas en alguna vía de variación, se realizó análisis pareados utilizando el test *a posteriori* de Tukey HSD (Zar 1996, Quinn & Keogh 2002).

Se caracterizó los grupos funcionales basados en morfología (GFBM), en función de la estación, los muestreos bimestrales y profundidad. Para evaluar la existencia de cambios en estos grupos en relación a campañas muestreadas y profundidad se realizó un ANDEVA de dos vías con permutaciones considerando campaña y profundidad como variables independientes. Se eligió este test de permutaciones debido a que los datos no siguieron una distribución normal. Cuando se detectó diferencias significativas en alguna de las tres fuentes de variación, se realizó el test pareado *a posteriori* de Tukey HSD.

Para evaluar el posible efecto de la profundidad y la temporalidad sobre la diversidad de organismos, tanto fitoplanctónicos como zooplanctónicos, se calculó el índice de Shannon para cada muestra colectada (5 réplicas por profundidad correspondiente a 10 por campañas) y se realizó un ANDEVA de dos vías con permutaciones. En los casos que señalaron diferencias significativas en las fuentes de variación se realizó test *a posteriori* de Tukey utilizando el programa Statistica 7 (StatSoft 2007).

Considerando que exista una dependencia del tiempo en los cambios de la variable dependiente, se realizó un análisis comparativo con el test de Friedman utilizando el programa Statistica 7 de las variables dependientes: abundancia fitoplanctónica y zooplanctónica, GFBM e índice de Shannon. En este caso, la variable independiente fue la profundidad anidada en el tiempo. Para este análisis se consideró sólo los taxa que representaban un porcentaje mayor al 1% en las muestras.

Para evaluar la relación entre la composición de especies y las variables ambientales, se realizó análisis de gradiente directos: Análisis de Redundancia (RDA) y Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) utilizando el programa CANOCO 4.5. (Ter Braak & Smilauer 2002). El Análisis de Redundancia es más apropiado cuando los datos son homogéneos y asume que las especies presentan un modelo de respuesta lineal (Lepš & Šmilauer 2003). Este análisis fue realizado para relacionar la composición de especies de zooplancton con las variables ambientales y también para relacionar la composición de los grupos funcionales de fitoplancton basados en morfología, con las variables ambientales. El ACC es una técnica más apropiada para datos heterogéneos y se basa en un modelo de respuesta unimodal de las especies (Lepš & Šmilauer 2003). Este análisis fue realizado para relacionar la composición fitoplanctónica con las variables ambientales. Sólo fueron incluidas en los modelos de ordenación (RDA y ACC) aquellas variables ambientales que contribuyeron de forma significativa al modelo, lo que fue determinado a través de un procedimiento de selección de variables ("forward selection") y de test de permutación de Monte Carlo parcial implementado en el programa CANOCO 4.5 (Ter Braak & Smilauer 2002). La significancia de los modelos de ordenación fue evaluada mediante un test de permutación de Monte Carlo con 499 permutaciones.

Para evaluar si los componentes de la estructura comunitaria (abundancia total, riqueza total y diversidad total) del fitoplancton y del zooplancton presentaban diferencias significativas en las distintas temporadas de muestreo se realizó una prueba de Friedman utilizando el

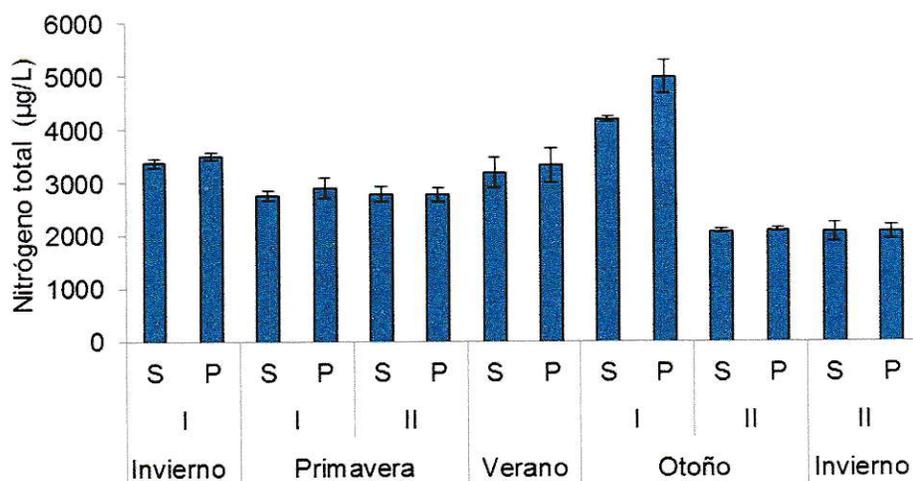
programa Statistica 7. Además se relacionaron estas variables con las variables físicas y químicas del embalse que resultaron significativos para cada grupo planctónico según los análisis de ordenación previamente realizados a través de correlaciones no paramétricas de Spearman en el programa R.

Para relacionar la abundancia de especies de fitoplancton y de zooplancton (ambos agrupados por tamaño), y la abundancia de GFBM de fitoplancton con la abundancia zooplanctónica separada por tamaño se realizaron correlaciones no paramétricas de Spearman en el programa R. Se utilizó Spearman debido a que los datos no presentaron distribución normal. Estos análisis se realizaron para las 70 muestras fitoplanctónicas y 70 muestras zooplanctónicas obtenidas durante el período de muestreo.

## RESULTADOS

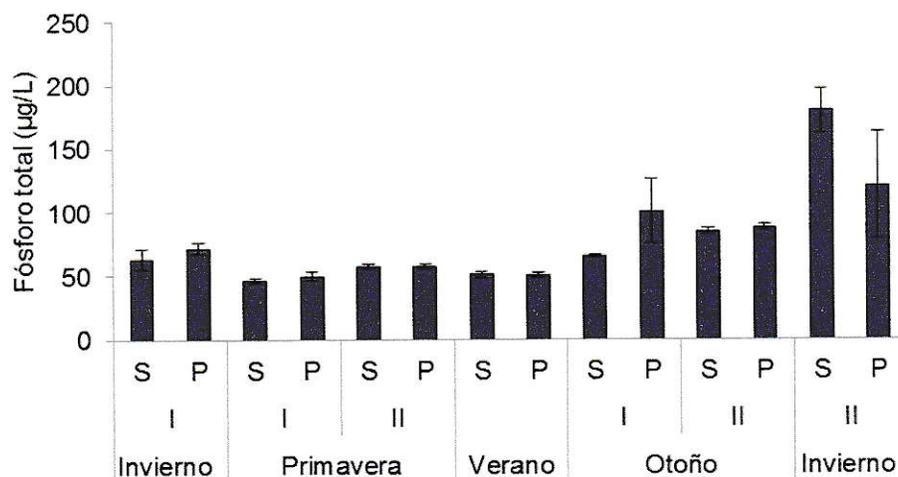
**Caracterización física, química y biológica del embalse**

El Nitrógeno total presentó sus mayores valores desde Invierno I hasta Otoño I, estación donde presentó en promedio  $4589,67 \pm 465,76 \mu\text{g/L}$ , siendo mayor en la zona profunda ( $4984,33 \pm 309,91 \mu\text{g/L}$ ), luego en Otoño II e Invierno II los valores disminuyeron presentando el promedio menor en Invierno II ( $2063,49 \mu\text{g/L} \pm 150,93$ ) con el valor mínimo en la superficie ( $2062,15 \mu\text{g/L} \pm 135,66$ ) (Fig. 2).



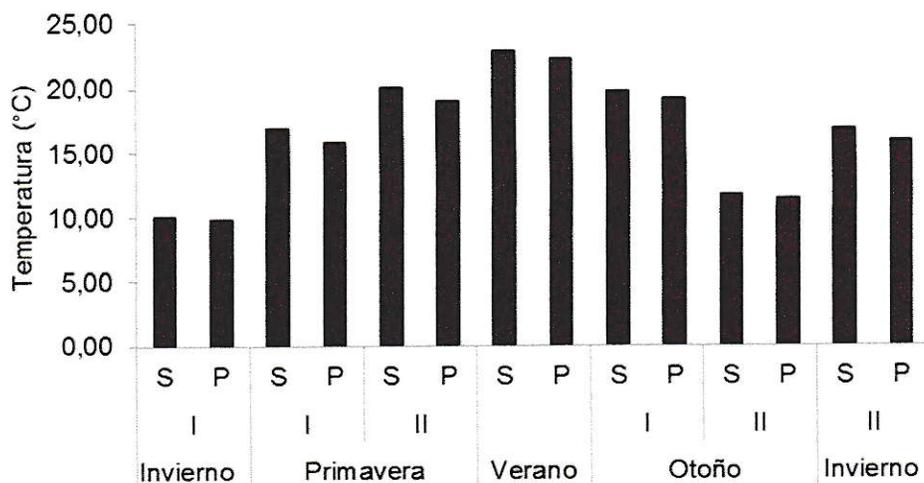
**Figura 2:** Variación en la concentración de Nitrógeno total presentes en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

A diferencia del Nitrógeno total, el Fósforo total mostró un aumento en las últimas estaciones prospectadas presentando el valor máximo en Invierno II con un promedio de  $150,03 \mu\text{g/L} \pm 43,49$ , siendo la sección superficial de la columna de agua la que alcanza el mayor valor ( $179,58 \mu\text{g/L} \pm 41,91$ ), en cambio, en primavera I se encontraron los menores valores (promedio  $48,14 \mu\text{g/L} \pm 3,26$ ) siendo la zona superficial la que presenta el menor valor  $46,41 \mu\text{g/L} \pm 1,75$  (Fig. 3).



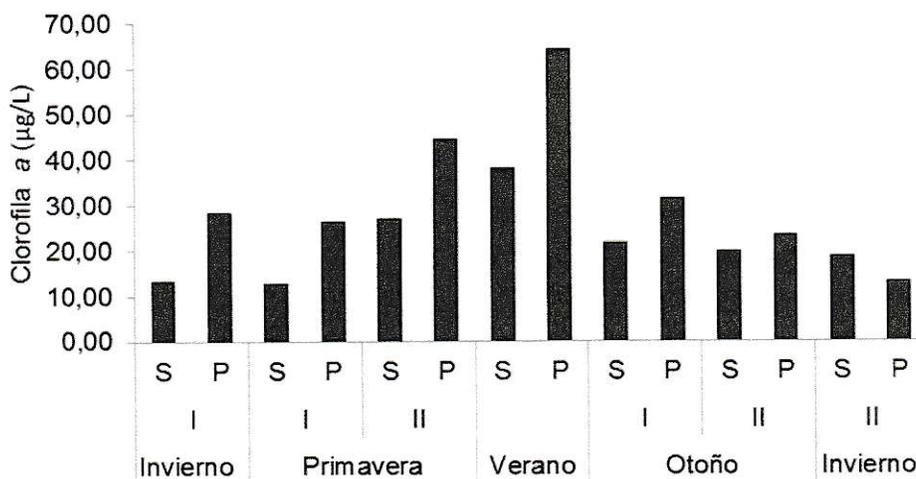
**Figura 3:** Variación de Fósforo total ( $\mu\text{g/L}$ ) presente en el embalse en el período estudiado. Líneas sobre las barras corresponden a desviación estándar. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

La temperatura del agua presentó variaciones normales de un ciclo anual para un sistema temperado ubicado en la zona mediterránea, manifestando los mayores valores en verano (promedio  $22,65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,29$ ) siendo la superficie la que alcanza valores mayores ( $22,92 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,0$ ), y los menores valores se alcanzaron en Invierno I (promedio  $10,02 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,15$ ) presentando el valor mínimo en profundidad ( $9,88 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,0$ ) (Fig. 4).



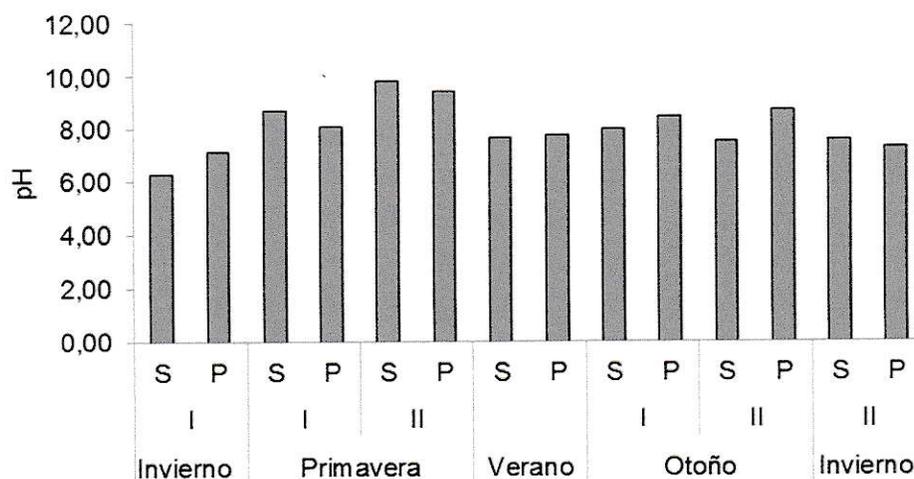
**Figura 4:** Variación de Temperatura (°C) presente en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

La clorofila *a*, de una forma similar a la temperatura, alcanza los máximos valores en Verano presentando un promedio para la estación de  $51,20 \mu\text{g/L} \pm 13,85$ , siendo mayor en profundidad ( $64,34 \mu\text{g/L} \pm 0,0$ ), en cambio en valor mínimo lo presentó en Invierno II con un promedio de la estación de  $15,76 \mu\text{g/L} \pm 2,97$ , con el menor valor en profundidad ( $12,94 \mu\text{g/L} \pm 0,0$ ) (Fig. 5).



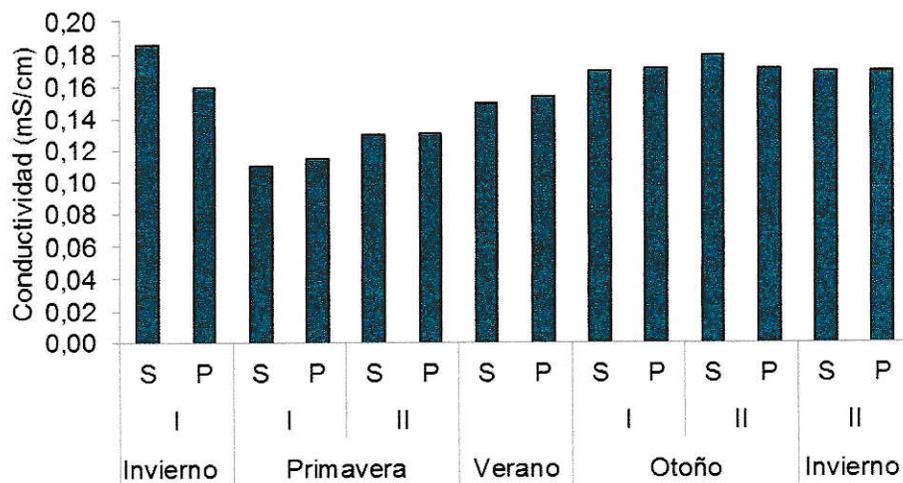
**Figura 5:** Variación de Clorofila *a* (µg/L) presente en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

Al igual que la clorofila *a*, el pH presenta los menores valores en Invierno, en este caso Invierno I con un promedio de  $6,76 \pm 0,46$ , manifestando el menor valor en superficie ( $6,29 \pm 0,00$ ), en cambio, el máximo valor se alcanza en Primavera II con un promedio de  $9,62 \pm 0,20$ , siendo la superficie la zona que presenta en mayor valor ( $9,82 \pm 0,00$ ) (Fig. 6).



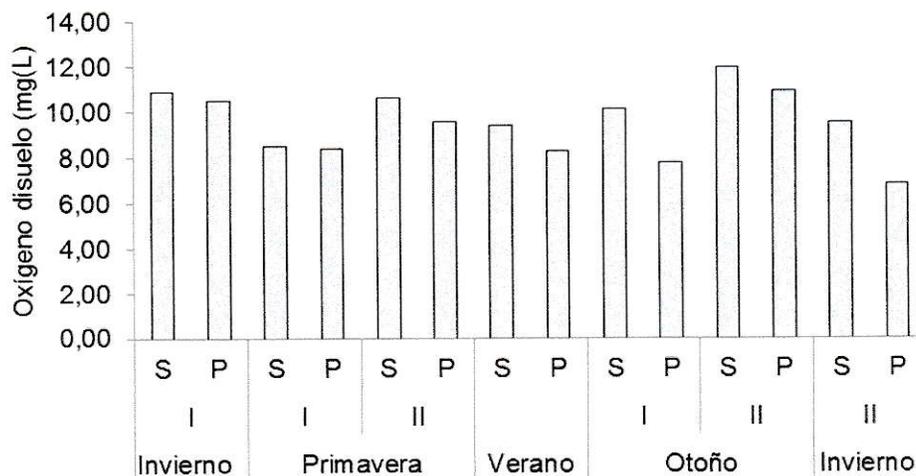
**Figura 6:** Variación de pH presente en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

La conductividad presenta los valores máximos y mínimos en las primeras estaciones prospectadas correspondiendo el máximo a Invierno I ( $0,17 \text{ mS/cm} \pm 0,01$ ) alcanzado el mayor valor en superficie ( $0,19 \text{ mS/cm} \pm 0,00$ ) y el menor valor en Primavera I ( $0,11 \text{ mS/cm} \pm 0,00$ ) siendo la superficie la zona con el valor mínimo ( $0,11 \text{ mS/cm} \pm 0,00$ ), luego, durante el período de estudio, los valores aumentan hasta la estación Otoño II (Fig. 7).



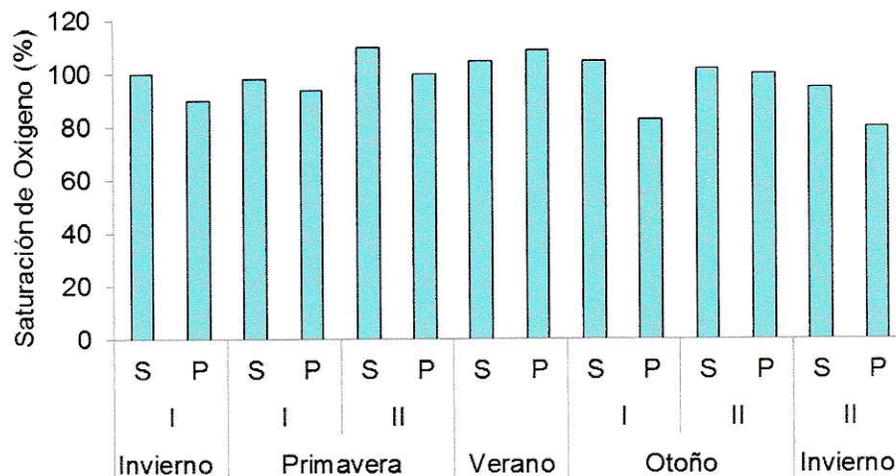
**Figura 7:** Variación de conductividad (mS/cm) del embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

El oxígeno disuelto presenta oscilaciones durante el período de estudio. El valor máximo se alcanzó en Otoño II presentando un promedio de  $11,44 \text{ mg/L} \pm 0,55$ , obteniendo en superficie los valores de  $11,44 \text{ mg/L} \pm 0,00$ , en cambio el valor mínimo se presenta en Invierno II ( $8,20 \text{ mg/L} \pm 1,46$ ), obteniendo en profundidad un valor de  $6,82 \text{ mg/L} \pm 0,00$  (Fig. 8).



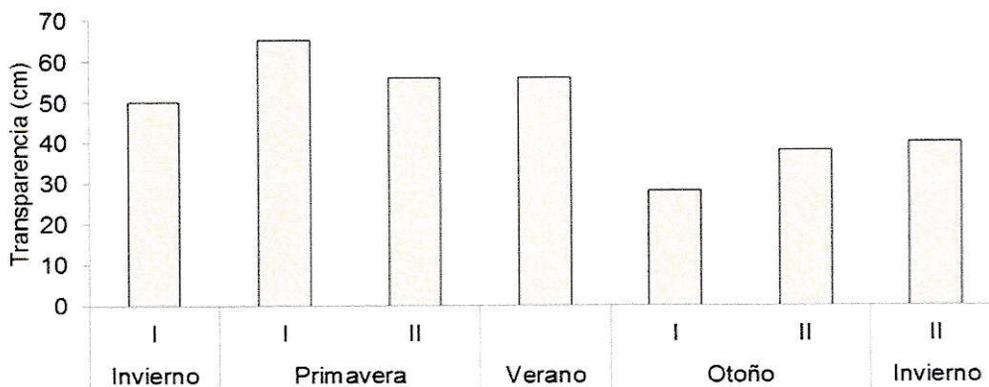
**Figura 8:** Variación de Oxígeno disuelto (mg/L) presentes en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

El porcentaje de saturación de oxígeno se presentó sobre el 90% durante el período de estudio excepto en Invierno II donde alcanzó un valor de  $87,50 \% \pm 10,61$  con el mínimo en profundidad con  $80,00 \% \pm 0,0$ . El valor máximo se alcanzó en Verano con un promedio de  $107,00\% \pm 2,83$ , obteniendo en profundidad los valores de  $109,00 \% \pm 0,00$ (Fig. 9).



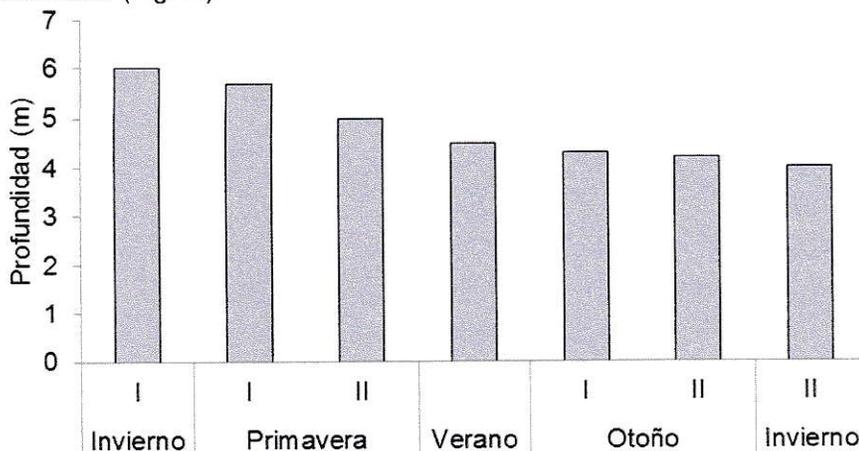
**Figura 9:** Variación del Porcentaje de Saturación de Oxígeno presentes en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

La transparencia del agua señala oscilaciones durante el período estudiado alcanzando el valor máximo en Primavera I con 65 cm, en cambio el menor valor se obtuvo en Otoño I con 28 cm (Fig. 10).



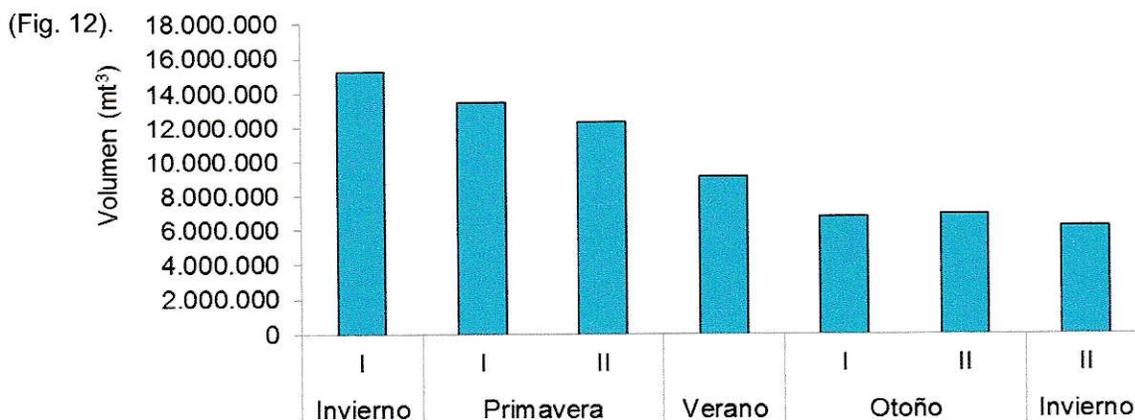
**Figura 10:** Variación de transparencia (cm) observada en el embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

La profundidad del embalse mostró una disminución continua durante el período de estudio presentando el mayor valor en Invierno I con 6 metros y el mínimo en Invierno II con 4 metros de profundidad (Fig.11).



**Fig. 11:** Variación de profundidad (mts) del embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

El volumen del embalse, en paralelo con la información entregada por la profundidad, señaló una disminución continua, observándose los valores mayores al inicio del estudio, en Invierno I ( $15.240.000,00 \text{ m}^3$ ) y el menor al final del estudio en Invierno II ( $6.250.000,00 \text{ m}^3$ ). Esta información muestra que el reservorio disminuyó más del 50% durante el periodo de un año



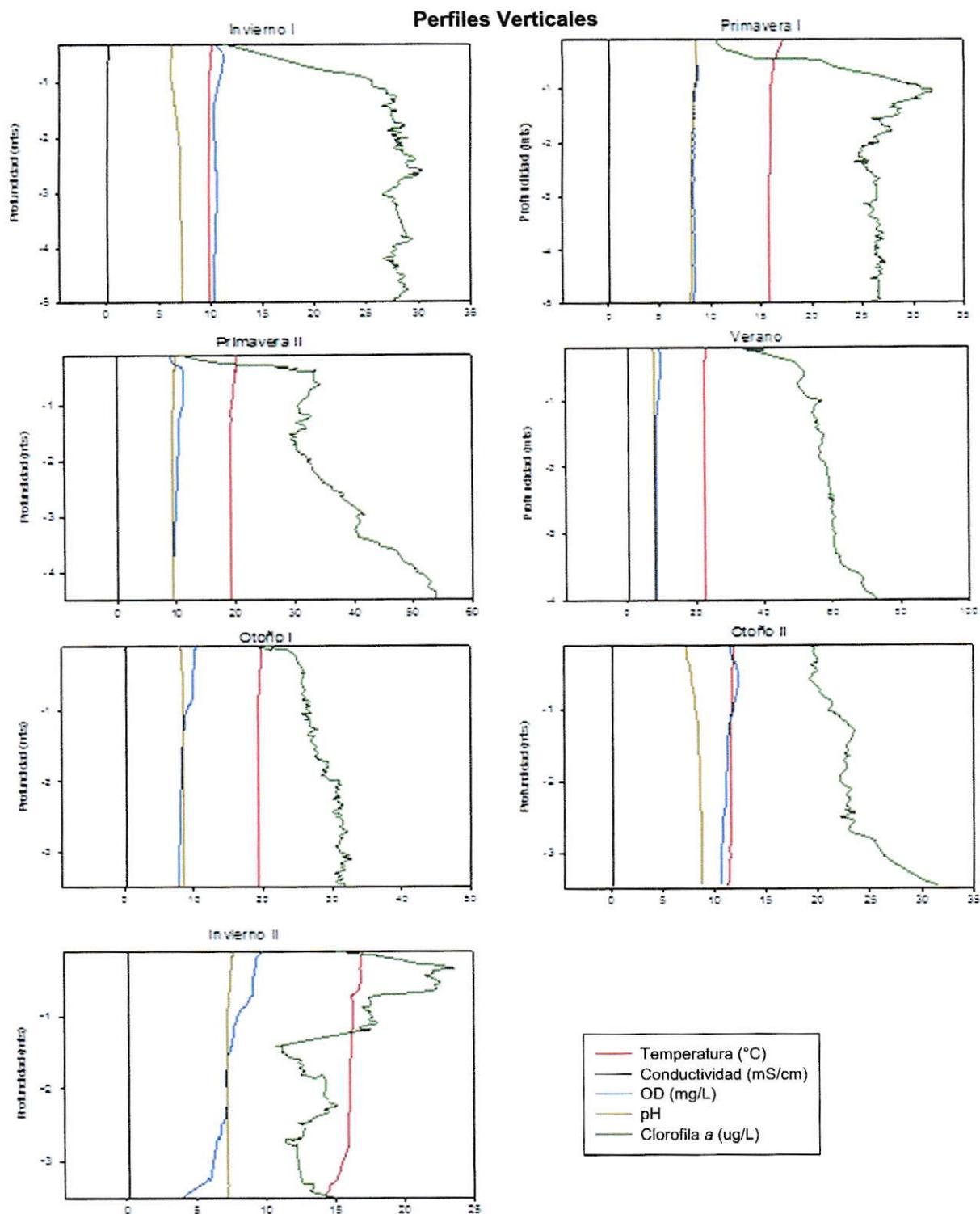
**Fig. 12:** Variación de volumen ( $\text{m}^3$ ) del embalse en el período estudiado. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad. Los nombres y números en romano corresponden a la estación.

Al relacionar las distintas variables descritas, se observa que variables como la temperatura y transparencia se correlacionan con todas las demás variables estudiadas, en el caso de la transparencia presenta correlaciones positivas con N-total, volumen, temperatura, pH y clorofila a, y correlaciones negativas con P total, conductividad y Oxígeno disuelto, para temperatura podemos destacar las correlaciones positivas con N total, y clorofila a y negativas con P total y volumen. Otra correlación interesante de destacar es la de N total que se presenta positiva con clorofila a y volumen, y negativa para P-total.

**Tabla 3:** Relación entre las distintas variables físicas y químicas del Embalse Peñuelas en el período de estudio. Los valores sobre la diagonal corresponden al p valor y los valores bajo la diagonal corresponden a r estimado. Los valores en negro corresponden a los valores con  $p < 0,05$  y su correspondiente r.

	N-total	P-total	Transparencia	Volumen	Temperatura	Conductividad	OD	pH	Clorofila a
N-total		<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	0,58	0,09	0,99	<b>0,00</b>
P-total	<b>-0,32</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	0,10	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>
Transparencia	<b>0,50</b>	<b>-0,78</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>
Volumen	<b>0,30</b>	<b>-0,64</b>	<b>0,41</b>		<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	0,06	0,83	0,27
Temperatura	<b>0,26</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,53</b>	<b>-0,28</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Conductividad	-0,22	<b>0,76</b>	<b>-0,85</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,44</b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>
OD	-0,20	0,20	<b>-0,51</b>	0,23	<b>-0,44</b>	<b>0,38</b>		<b>0,39</b>	<b>0,15</b>
pH	0,00	<b>-0,33</b>	<b>0,52</b>	0,03	<b>0,47</b>	<b>-0,68</b>	-0,10		<b>0,02</b>
Clorofila a	<b>0,44</b>	<b>-0,28</b>	<b>0,29</b>	0,13	<b>0,48</b>	<b>-0,40</b>	-0,17	<b>0,29</b>	

Por otro lado, los perfiles verticales obtenidos con el equipo multiparametrico mostró que no se observan cambios en temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y pH atribuibles a una termoclina por lo que describen claramente a un sistema polimictico el cual se mantendría con valores verticales constantes en todo el período estudiado. La variable clorofila a fue la única que presentó un comportamiento distinto con valores inferiores en los primeros centímetros de la zona superficial de la columna de agua en algunas épocas del año (Invierno I, Primavera I y II, Verano, Otoño I, e Invierno II) (Fig. 13).



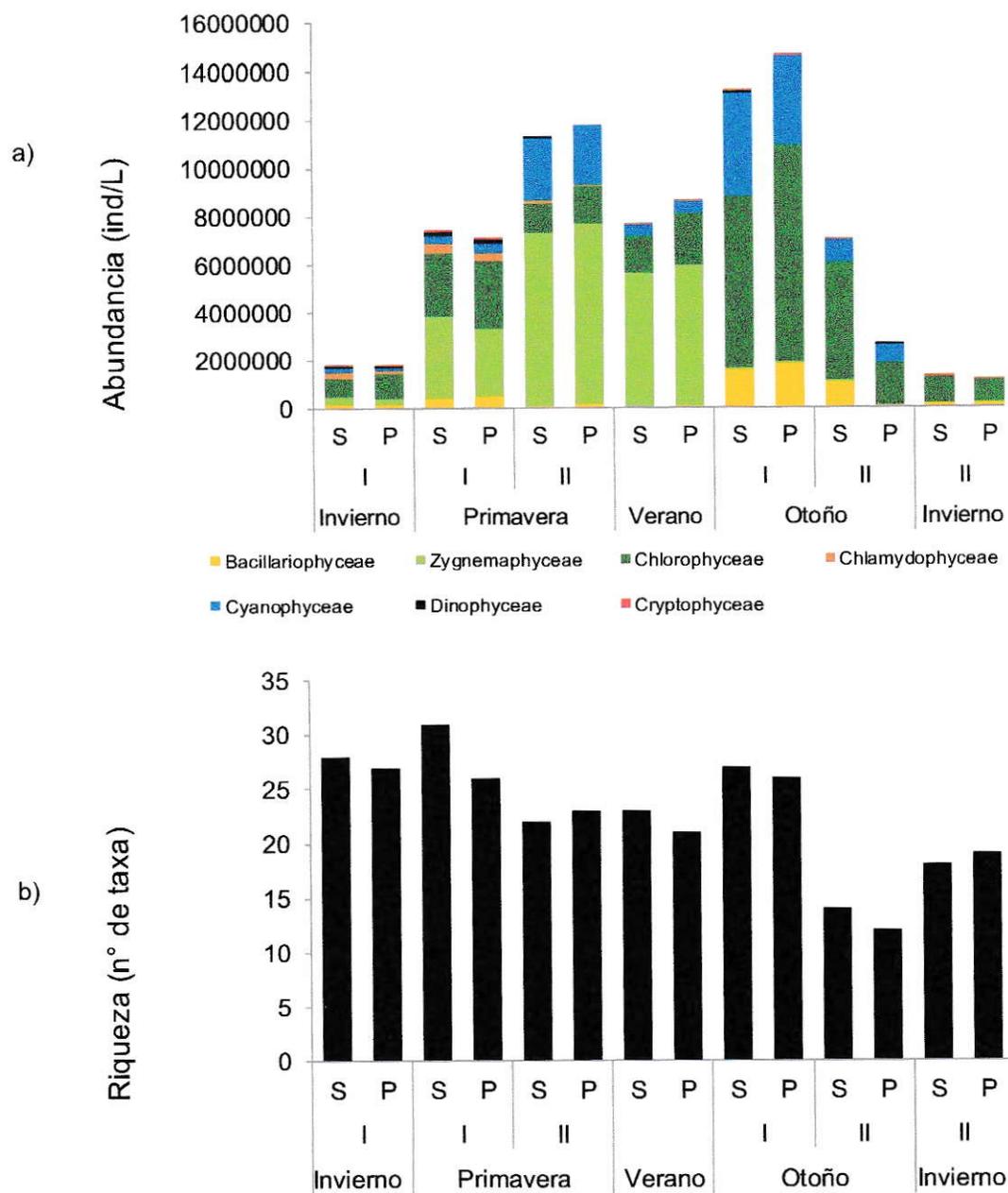
**Figura 13:** Perfiles verticales de las variables Temperatura, Conductividad, Oxígeno disuelto (O.D.) pH, y Clorofila a, estudiadas para las distintas estaciones de muestreo. La leyenda muestra los colores correspondiente a cada parámetro.

### **Composición y abundancia fitoplanctónica**

Durante este estudio se encontraron 37 taxa fitoplanctónicas, perteneciendo, 16 taxa a la Clase Chlorophyceae, 8 taxa a la Clase Bacillariophyceae, 6 taxa a la Clase Zygnemaphyceae, 3 taxa a la Clase Cyanophyceae, 2 taxa (5,41%) a la clase Dinophyceae, 1 taxa a Cryptophyceae y 1 taxa a la clase Chlamydoephyceae. De estos 37 taxa, 11 estuvieron presentes en todo el periodo en estudio y 26 se presentaron solo en forma temporal (Anexo Tabla 8).

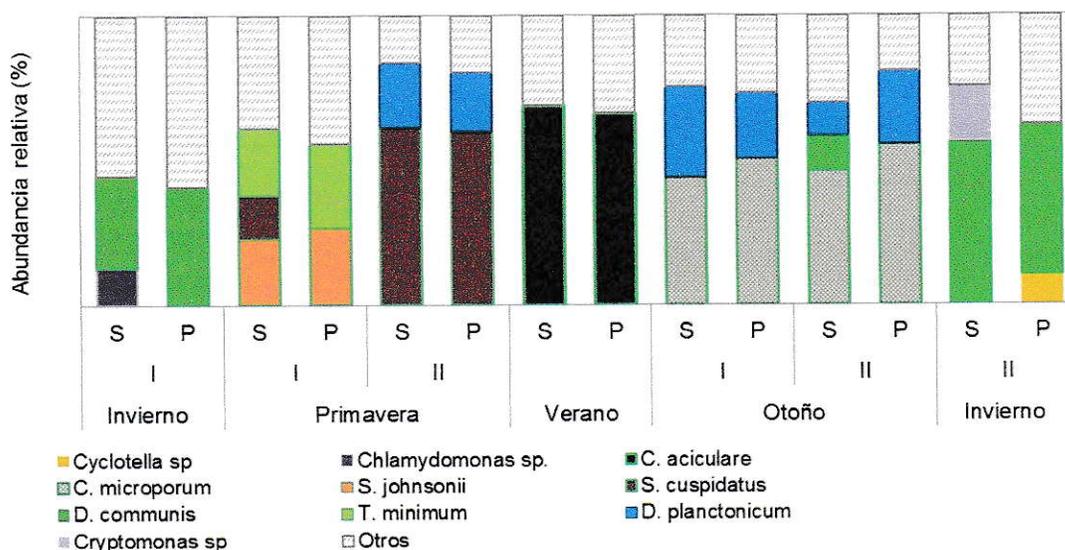
La abundancia fitoplanctónica promedio presentó su máximo valor en la estación Otoño I con 13.993.121,15 ind/L con el mayor valor en profundidad (14.718.840,59 ind/L) mientras que el menor valor ocurrió en la estación Invierno II con 1.385.624,95 ind/L, con el menor valor en profundidad (1.207.678,55 ind/L) (Fig. 14 a, Anexo Tabla 8).

La riqueza de taxa varió entre los distintos periodos de muestreo alcanzando su máximo valor de 31 taxa en superficie de Primavera I, mientras que el mínimo valor se encontró en la estación Otoño II con 19 taxa registrando el mínimo valor en la muestra de profundidad (12 taxa) (Fig. 14 b, anexo Tabla 8).



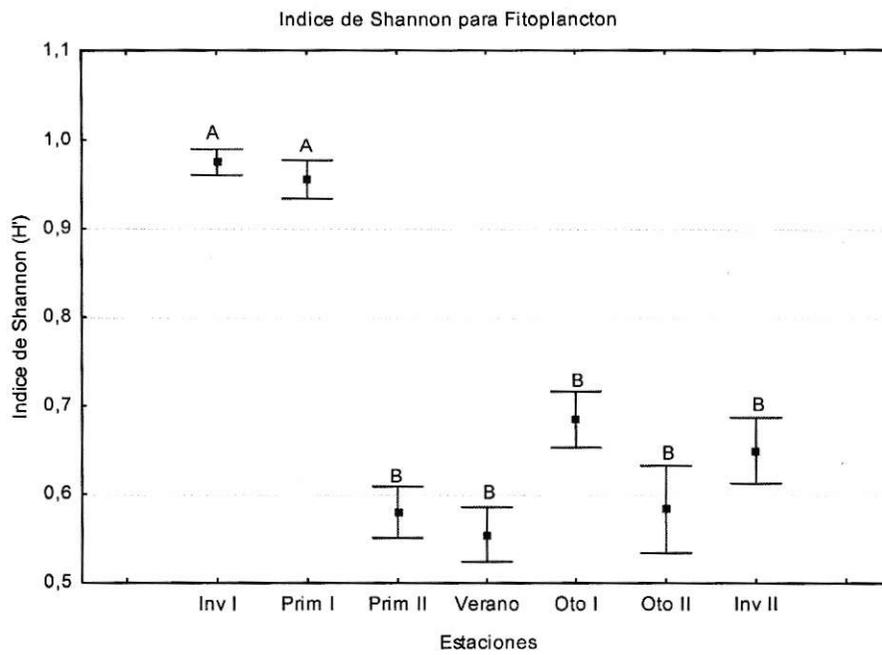
**Figura 14:** Abundancia (a) y Riqueza (b) fitoplanctónica en superficie (S) y profundidad (P) para cada estación.

Al analizar la dominancia de las especies se aprecia la dominancia de *Desmodesmus communis* en ambas temporadas invernales (Invierno I y II), sin embargo al comenzar la Primavera I se aprecia la dominancia de *Staurastrum johnsonii* y *Tetraedron minimum*, los que en Primavera II son reemplazados por *Staurodesmus cuspidatus* y *Dolichospermum planctonicum*, luego en Verano puede observarse la dominancia de *Closterium aciculare*, que luego en Otoño I y II es reemplazado por las especies *Coelastrum microporum* y *Dolichospermum planctonicum* (Fig. 15).



**Figura 15:** Abundancia relativa de las taxa fitoplanctónicas dominantes (en colores solo los taxa que se presentan sobre 10%).

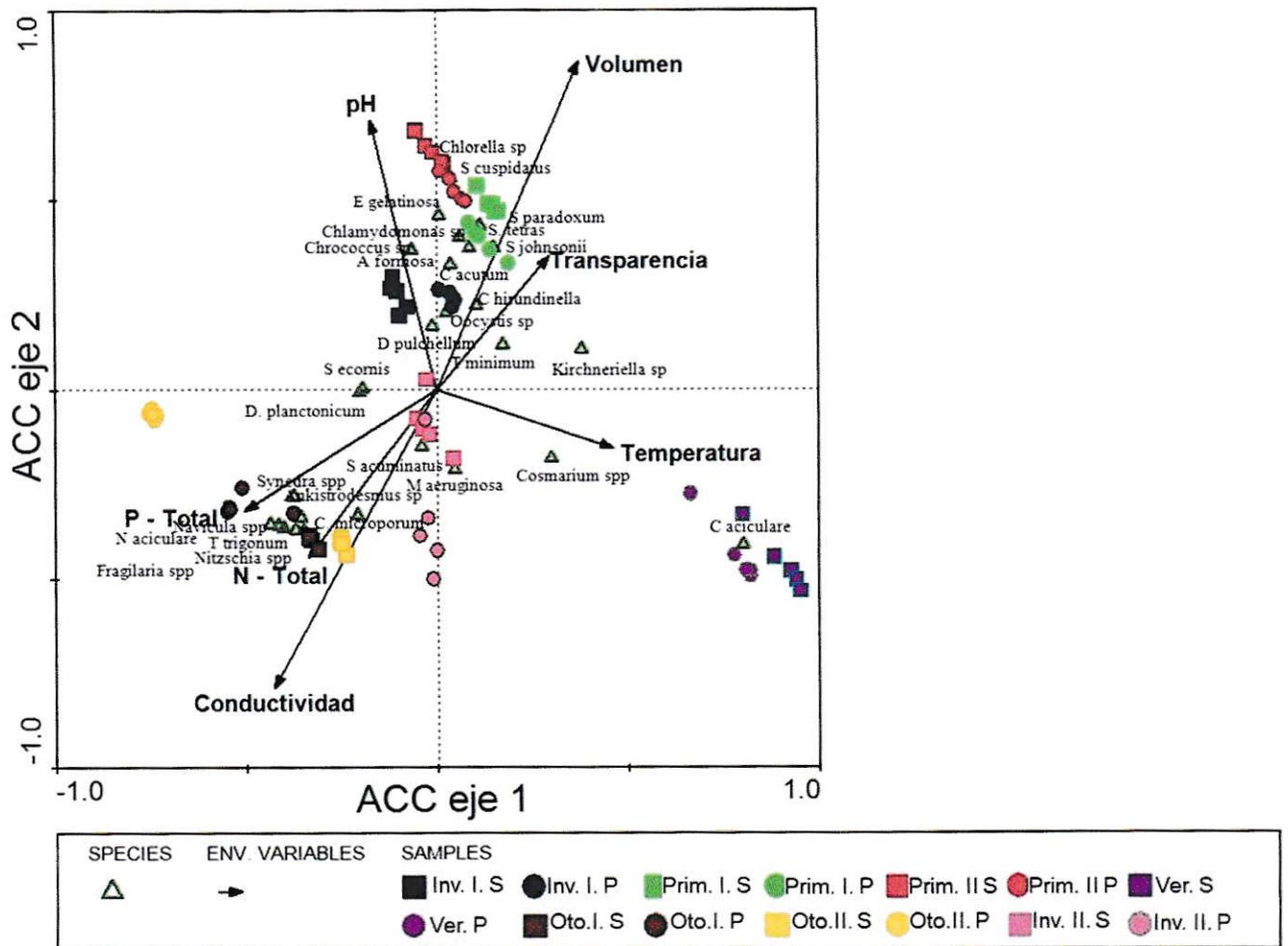
Algunas taxa fitoplanctónicas presentaron una diferencia relacionada con la profundidad, la estación y la interacción entre estas dos variables. En el caso de la estación se observó que Otoño I fue la que presentó el mayor número de taxa con mayores abundancias (*Navicula* spp, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia* spp, *Synedra* spp, *Coelastrum microporum*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus ecornis*, *Tetraedron trigonum*, *Dolichospermum planctonicum*), seguido por la estación Primavera I con abundancia mayor de los taxa



**Figura 16:** Diversidad de Shannon para fitoplancton en el período estudiado. Cuadrado central corresponde al valor promedio y las barras al error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los índices de las estaciones estudiadas.

### Relación entre composición de taxa fitoplanctónicas y factores ambientales

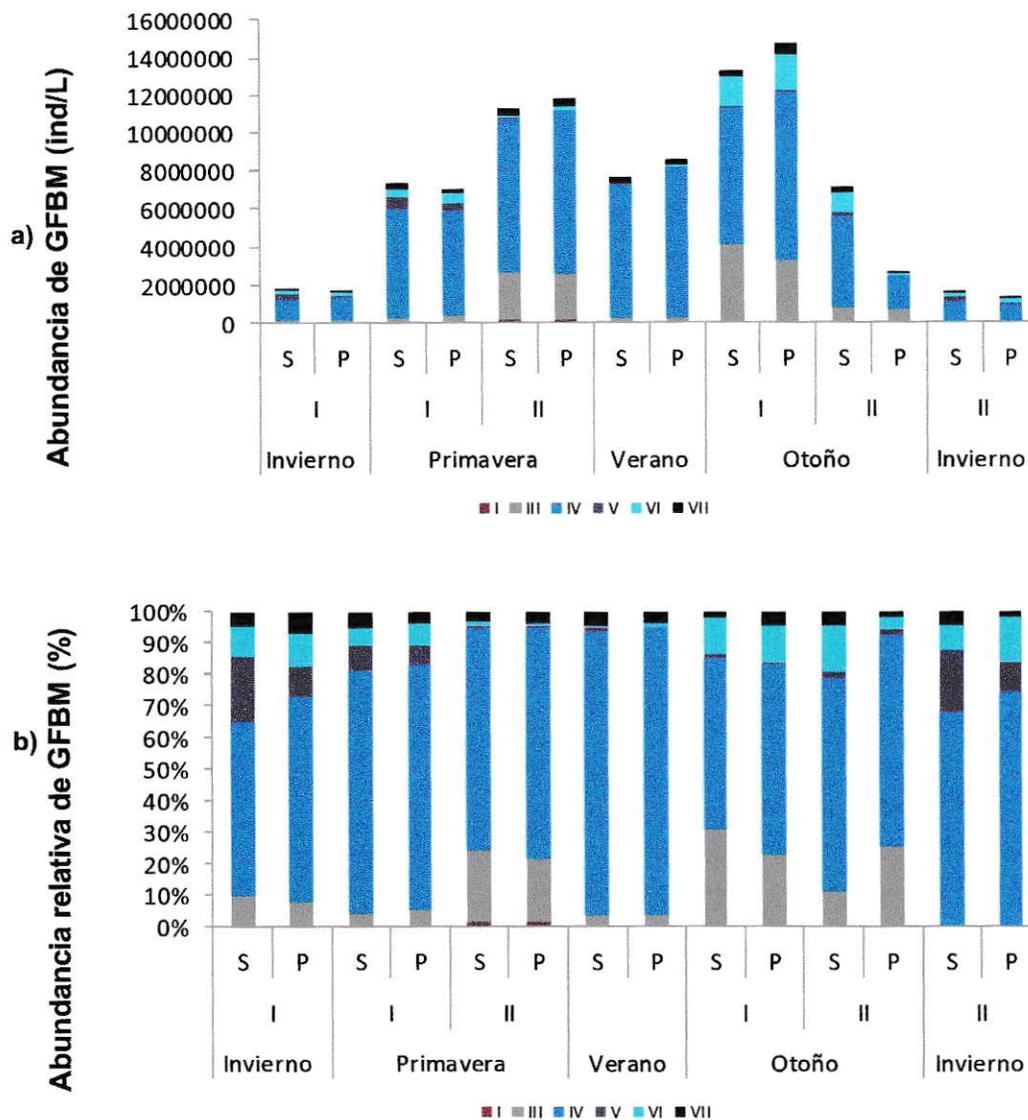
Las variables ambientales incluidas en el modelo de ordenación (ACC) fueron: pH, Volumen, Temperatura, Transparencia, Conductividad, P-total y N-total ( $P < 0,05$ ; Test de permutación de Montecarlo parcial). La Figura 17 muestra la distribución de las muestras fitoplanctónicas en relación a los factores ambientales. La relación entre la abundancia de especies fitoplanctónicas y los factores ambientales analizados es significativa (F-ratio = 20,811;  $P = 0,002$ ). Los dos primeros ejes explican el 43,6 % de la varianza total para las especies (22,1 % explicado por el primer eje) y el 62,2 % de la varianza de la relación especies-ambiente (31,5 % explicado por el primer eje) (Fig. 16). Los factores que presentan una mayor correlación con el primer eje corresponden a P total ( $r_{\text{canónico}} = -0,49$ ) y Temperatura ( $r_{\text{canónico}} = 0,45$ ). Los factores más correlacionados con el segundo eje de ordenación son el Volumen ( $r_{\text{canónico}} = 0,84$ ) y la Conductividad ( $r_{\text{canónico}} = -0,77$ ). Las muestras de fitoplancton de la temporada estival (color morado) se agrupan distintivamente, diferenciándose del resto de las temporadas de muestreo. En estas muestras, la especie *C. aciculare* presenta su mayor abundancia relativa. Esta diferenciación en la composición fitoplanctónica se asocia a una mayor temperatura del agua. También existe una discontinuidad en la composición de fitoplancton, correspondiente a las muestras de la temporada otoñal (color café y amarillo), las que alcanzan los mayores valores de P-total, N-total y Conductividad. Entre las especies que tienen su óptimo de distribución a mayores concentraciones de P y N se encuentran: *Fragilaria* spp, *N. acicularis*, *Nitzschia* spp y *T. trigonum*. Las especies *Chlorella* sp y *S. cuspidatus* tienen un óptimo de distribución a mayor pH y volumen de agua.



**Figura 17:** Diagrama de ordenación de muestras de Fitoplancton (N = 70) obtenido a través de un ACC. Los cuadrados corresponden a superficie y los círculos a profundidad. Los triángulos corresponden a las especies de fitoplancton. Las flechas negras corresponden a los vectores de factores ambientales.

### Caracterización fitoplanctónica según los Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM).

Al caracterizar el fitoplancton encontrado según la clave de Kruk et al. (2010), para grupos funcionales basados en morfología, este se asoció a 6 de los 7 grupos descritos (I, III, IV, V y VI) (Figura 18. Anexo Tabla 9).



**Figura 18:** Abundancia total fitoplanctónica (a) y Abundancia relativa fitoplanctónica (b), agrupada según GFBM.

La mayor abundancia corresponde al grupo IV, el cual se encuentra en alta proporción en todo el período estudiado. Este grupo incluye organismos de tamaño medio que carecen de rasgos morfológicos especializados. Los representantes de este grupo en este estudio son *Ankistrodesmus* sp, *Closterium acutum*, *Closterium aciculare*, *Coelastrum microporum*, *Cosmarium* spp, *Kirchneriella* sp. *Staurastrum johnsonii*, *Staurastrum paradoxum*, *Stauridium tetras*, *Monactinus simplex*, *Desmodesmus communis*, *Scenedesmus acuminatus*, *Scenedesmus ecornis*, *Tetraedron mínimum*, *Tetraedron caudatum* y *Tetraedron trigonum* (Fig.18, Anexo Tabla 9).

La segunda mayor abundancia pertenece al grupo III correspondiente al de grandes filamentos con vesículas de gas. El único representante de este grupo en este estudio es *Dolichospermum planctonicum*. El tercer grupo más abundante corresponde al grupo VI que agrupa a las diatomeas, organismos que decantan rápidamente y son excluidos de aguas carentes de fuentes asimilables de sílice. Dentro de este grupo encontramos a *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella* sp, *Fragilaria* spp, *Navicula* spp, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia* spp y *Synedra* spp. La cuarta abundancia corresponde al grupo VII que incluye a todas las especies que forman colonias mucilaginosas. En este grupo se encontró *Botryococcus braunii*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis* sp, *Chroococcus* sp, *Microcystis aeruginosa*. En menor abundancia se encuentra el grupo V, que incluye flagelados unicelulares de tamaño mediano a grande representados en este estudio por *Chlamydomonas* sp, *Peridinium* sp, *Ceratium hirundinella*, y *Cryptomonas* sp. Finalmente se identificó el grupo I, correspondiente a organismos con baja dimensión lineal máxima y volumen, y con una alta relación superficie/volumen, solo representado por la especie *Chlorella* sp. (Anexo Tabla 9).

Además, se puede apreciar que ciertos grupos fitoplanctónicos (I, III, V y VII) responden significativamente a la temporalidad ( $P < 0,05$ ) siendo los grupos III y V los que muestran su mayor abundancia en Primavera II y Otoño I, el grupo I que muestra una abundancia mayor en la Primavera II y por último el grupo VII que presenta su mayor abundancia en la estación

Primavera I. Cabe destacar que en estos grupos se encuentran los organismos con vesículas de gas (grupo III), flagelados de tamaño medio a grande (grupo V) y a los organismos que forman colonias mucilaginosas (grupo VII) (Anexo Fig. 53 a 56), en cambio, los dinoflagelados unicelulares de tamaño medio a grande (grupo V) presentan un efecto significativo ( $P < 0,05$ ) en relación a la variable profundidad, presentando una mayor abundancia en superficie (Anexo Fig. 57 y Fig. 5).

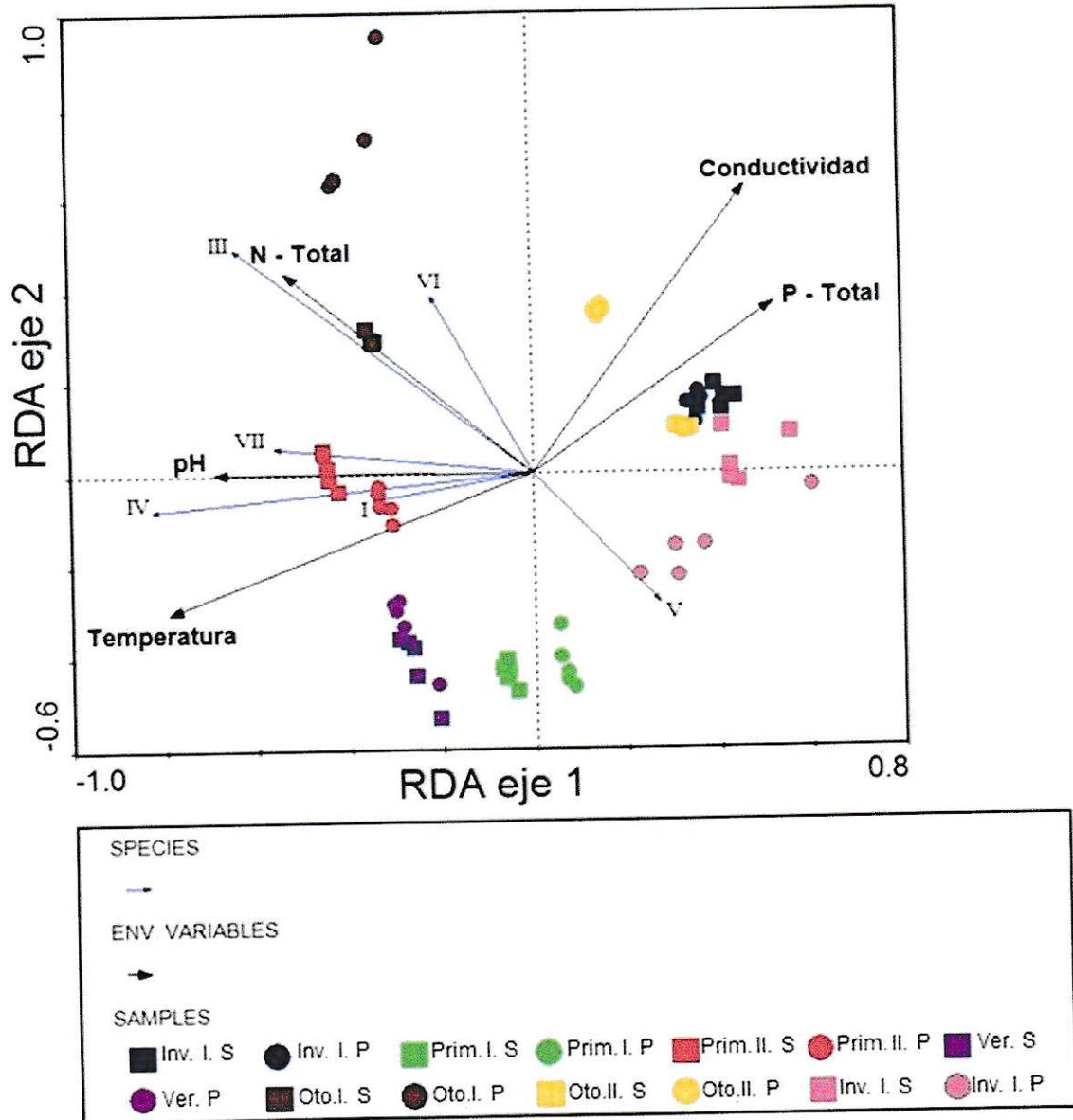
Los grupos IV y VI, no mostraron resultados significativos para ningún factor. El grupo IV presenta la mayor abundancia de todos los grupos fitoplanctónicos en todo el período estudiado y agrupa a organismos de tamaño medio que carecen de rasgos morfológicos especializados, en cambio el grupo VI pertenece a la tercera abundancia agrupando a las diatomeas.

Los resultados del test de Friedman realizados comparativamente no difieren de los resultados obtenidos con los ANDEVAS de 2 vías con permutaciones.

### **Relación entre composición de grupos funcionales basados en morfología fitoplanctónica y factores ambientales**

Para evaluar la relación de grupos funcionales fitoplanctónicos y las variables ambientales, se utilizaron las variables que aportaron significativamente en el análisis de redundancia ( $P < 0.05$ ), estas fueron: Nitrógeno y Fósforo Totales, Temperatura, Conductividad y pH. Este análisis arrojó una relación significativa de la relación (F-ratio (1° eje) = 99,87; F-ratio (de ambos los ejes) = 24,88;  $P = 0,002$ ) con los dos primeros ejes que explicaron el 65,8 % de la varianza total para las especies (60,9% explicado por el primer eje) y el 99,6% de la varianza total de las especies en relación a las variables ambientales (92,3 explicado por el primer eje) (Fig. 19). Las variables que presentan la mayor correlación con el primer eje corresponden a la Temperatura y al pH ( $r_{\text{canónico}} = -0,66$  y  $r_{\text{canónico}} = -0,57$ ; respectivamente). Las variables que explican en mayor grado la distribución de las muestras en el segundo eje de la ordenación corresponden a la Conductividad y al N – Total ( $r_{\text{canónico}} = 0,46$  y  $r_{\text{canónico}} = 0,33$ ; respectivamente).

En el diagrama de ordenación del Análisis de Redundancia (Fig. 19) se observan grupos distintivos para las siguientes temporadas: primavera I y II (color rojo y verde), verano (color morado), otoño I (color café) e invierno II (muestras de profundidad, color rosado). Las especies de los grupos VII y IV alcanzan su mayor abundancia en las muestras de superficie de la temporada Primavera II (color rojo). La abundancia de estas especies presenta la mayor correlación positiva con el pH. Las especies del grupo funcional I tienen su mayor abundancia a mayores temperaturas y en las muestras de superficie de la temporada Primavera II (color rojo). Las especies del grupo funcional III presentan su mayor abundancia en las muestras de profundidad de la temporada otoño I (color café) y esta abundancia, muestra la mayor correlación positiva con el N-total. Las especies del grupo funcional VI también se distribuyen principalmente a mayores concentraciones de Nitrógeno total. Respecto a las especies del grupo funcional V, éstas con su mayor abundancia en las muestras de la temporada Invierno II (color rosado) y a mayores concentraciones de Fósforo total.



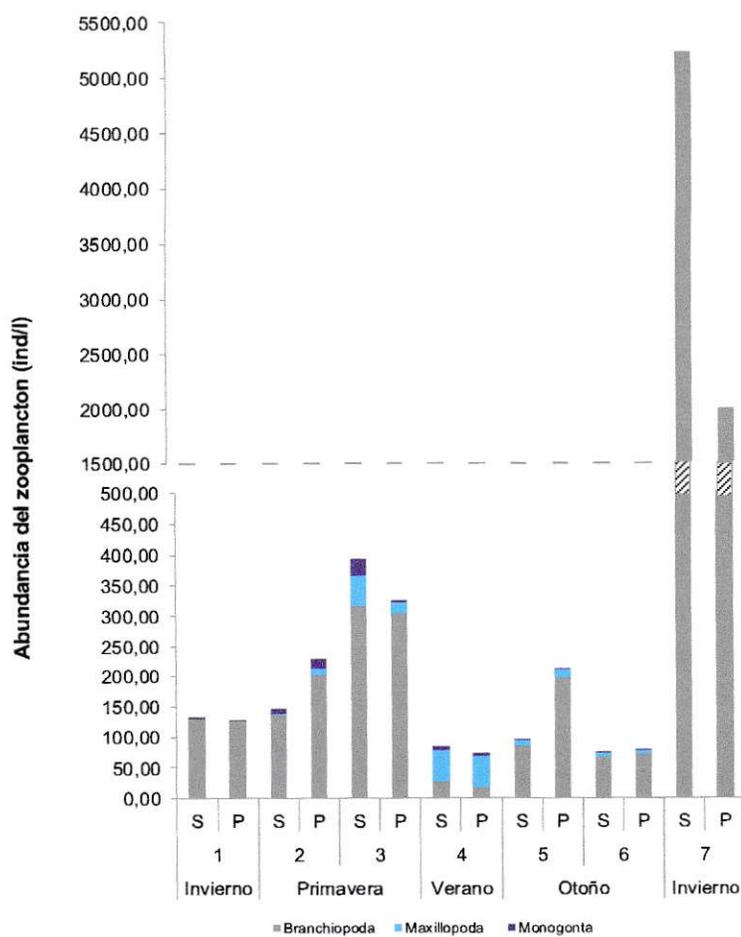
**Figura 19:** Diagrama de ordenación de muestras de Fitoplancton agrupadas según GFBM, obtenido a través de un RDA. Los cuadrados corresponden a las muestras de superficie y los círculos a las muestras de profundidad. Las flechas azules corresponden a los grupos fitoplanctónicos. Las flechas negras corresponden a los vectores de factores ambientales.

**Composición y abundancia zooplanctónica:**

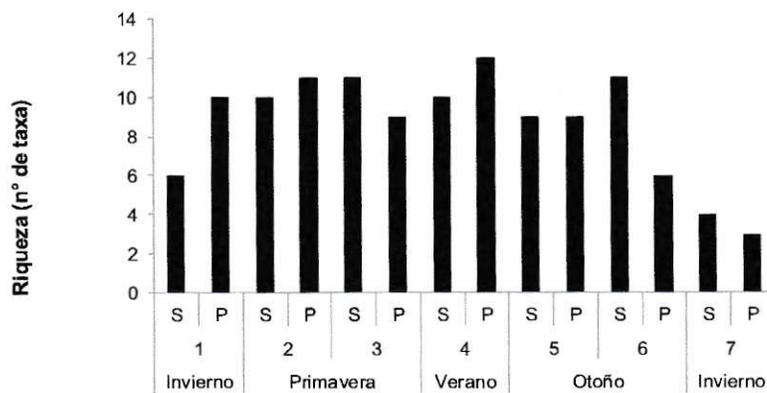
En el estudio se encontró 12 taxa zooplanctónicas, de las, 6 pertenecen a la Clase Branchiopoda (grupo Cladóceras), 3 a la clase Maxillopoda, (Copépoda) y 3 Clase Monogonta (Rotífera). De los 12 taxa encontrados, de las cuales 2 estuvieron presentes en todo el periodo en estudio (*Bosmina longirostris* O.F. Müller, *Trophocyclops prasinus* Kiefer, y el estadio Copepoditos spp) y 10 se presentaron sólo en forma ocasional (Anexo Tabla 10).

La abundancia zooplanctónica presentó oscilaciones a través del año, exhibiendo un máximo en Primavera II con un promedio de 360,01 ind/L (máximo en superficie con 394 ind/L). Sin embargo, en Invierno II la abundancia experimentó un alza, presentando en promedio 3613,49 ind/L, lo que supera en un orden de magnitud lo alcanzado en Primavera II, alcanzando en superficie la cantidad de 5230,83 ind/L. Los valores menores se encontraron en Verano y Otoño II, este último con un valor mínimo con 75,08 ind/L siendo menor en superficie con 72,93 ind/L (Fig. 20a). De forma contraria a las oscilaciones presentadas por la abundancia, la riqueza de taxa alcanzó su máximo durante el Verano con un promedio de 12 taxa (con este mismo valor en profundidad), mientras que el mínimo valor es en Invierno II con 4 taxa presentado solo 3 taxa en profundidad (Fig. 20b).

a)

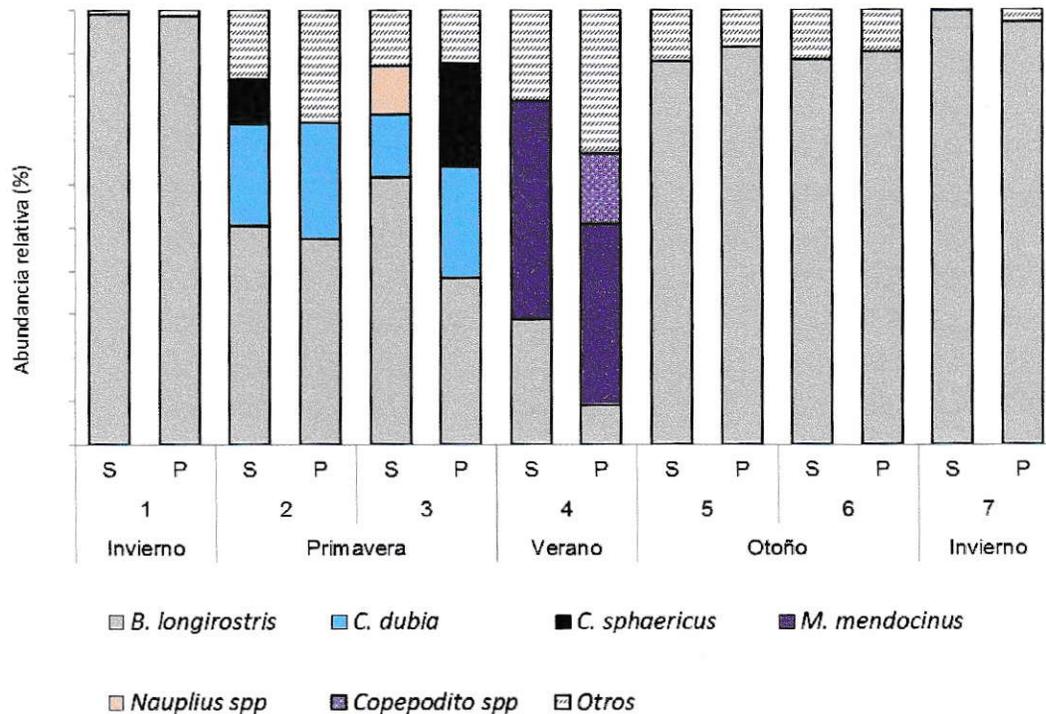


b)



**Figura 20:** Abundancia (a) y Riqueza (b) zooplanctónica en superficie (S) y profundidad (P) Para cada estación de muestreo.

Al comparar las especies de las distintas estaciones se pudo apreciar que *B. longirostris* (Branchiopoda) mostró la mayor abundancia en todas las estaciones excepto verano en la que domina *M. mendocinus*. La especie *C. dubia* tiene una fuerte presencia en las Primavera I y II. Se aprecia la dominancia de *B. longirostris* en las estaciones que corresponden a otoño I y II e Invierno I y II (Fig. 21).



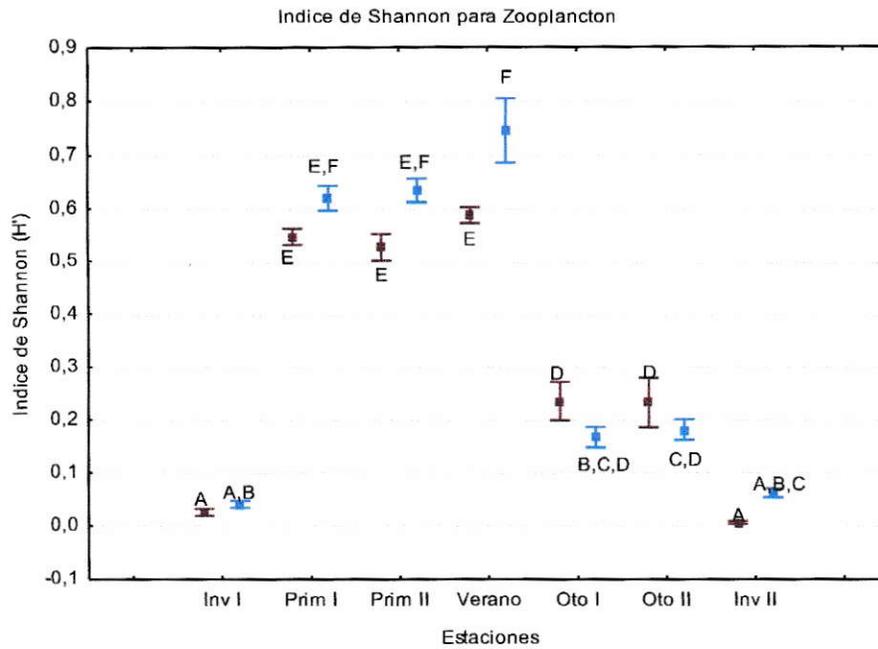
**Figura 21:** Abundancia relativa de las especies zooplanctónicas (en color solo las especies que representan sobre un 10%).

Los distintos taxa fitoplanctónicos mostraron evidencias de cambios relacionados con la profundidad, la estación de muestreo y la interacción de estas dos variables dependientes, siendo Primavera I y II la estación que presentaron un mayor número de taxa con mayores abundancia (*Diaphanosoma chilense*, *Ceriodaphnia dubia*, *Asplanchna brightwelli*, y *Brachionus calyciflorus*). Por otro lado, *Bosmina longirostris* señaló su mayor abundancia en Invierno II, *Moina micrura* y copepodito spp en Verano y *Keratella cochlearis* en Otoño I (Anexo Fig. 58-65).

Otros taxa zooplanctónicos presentaron abundancias diferentes solo entre profundidades encontrándose mayores valores a nivel de superficie en Nauplios y menores en *Daphnia ambigua*, *Chydorus sphaericus* y *Tumeodiaptomus diabolicus* (Anexo Fig. 66 a 69). Otras especies mostraron diferencias en sus abundancias relacionadas con la interacción entre estación y profundidad, con su mayor abundancia en distintos períodos, por ejemplo *Bosmina longirostris* presentó valores significativamente mayores en el estación de invierno II, con la mayor abundancia en superficie, *Trophocyclops prasinus* también alcanzó su mayor valor en invierno II pero en profundidad, en cambio *Metacyclops mendocinus* tuvo mayor abundancia Verano en superficie (Anexo Fig.70 a 72).

Al comparar los Índices de Shannon se apreció diferencias significativas para la interacción entre periodo de muestreo y profundidad. El test *a posteriori* indicó que existen diferencias significativas entre superficie y profundidad en todos los períodos, siendo el sector profundidad en Verano con el índice de Shannon significativamente más alto. Cabe destacar que Primavera I y II, y Verano se diferenciaron significativamente de las estaciones correspondientes a Otoño I y II e Invierno I y II (Fig. 22).

Los resultados del test de Friedman realizados comparativamente no muestran diferencias significativas con los ANDEVAS de 2 vías con permutaciones realizados.

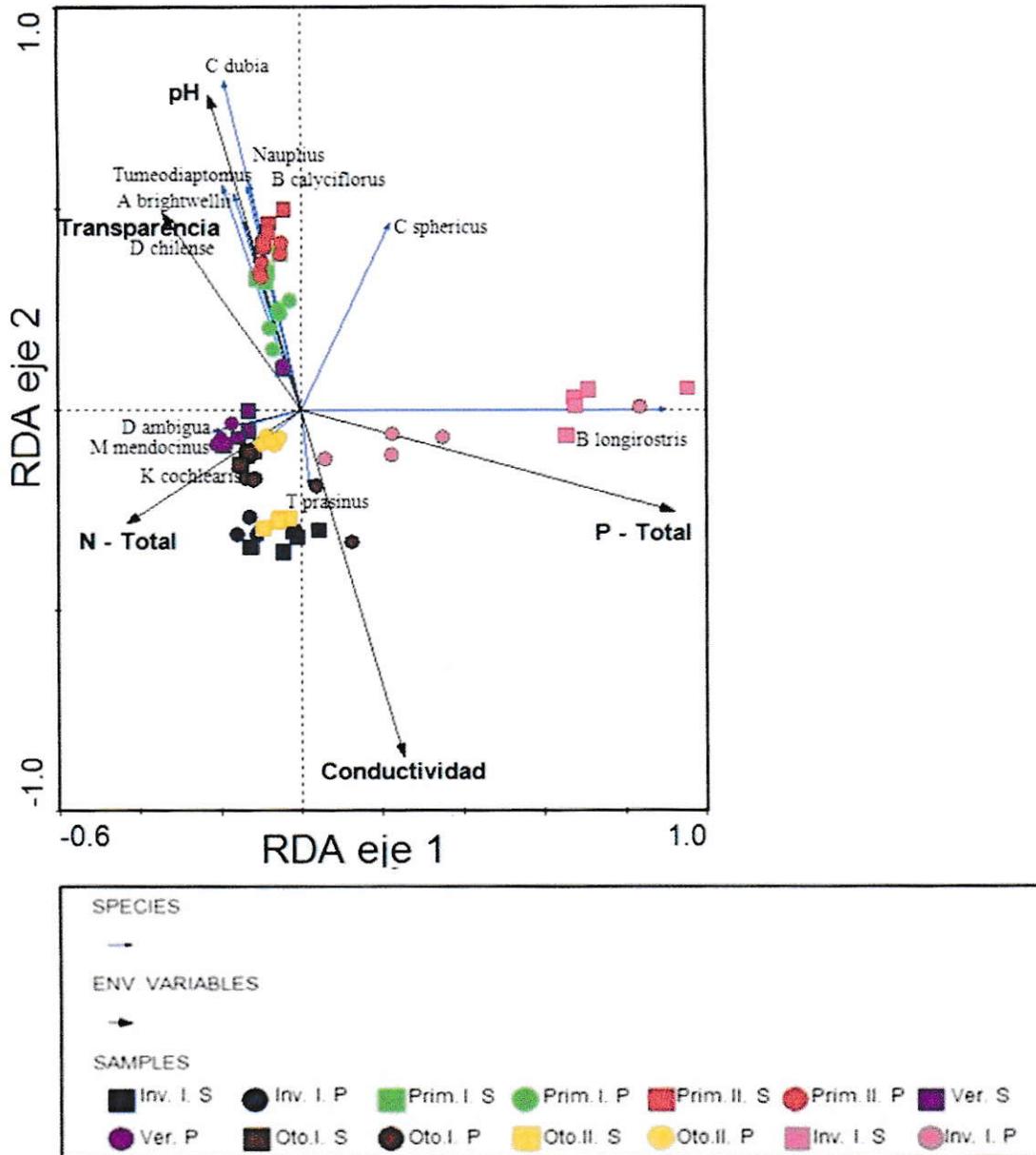


**Figura 22:** Diversidad de Shannon para el zooplancton en el periodo estudiado. Cuadrado central corresponde al valor promedio y las barras al error estándar. Letras diferentes en medianas indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los índices de las temporadas estudiadas. Color rojo corresponde a superficie y el azul a profundidad.

### Relación entre composición zooplanctónica y factores ambientales.

Las variables incluidas en el Análisis de Redundancia fueron: Nitrógeno y Fósforo Totales, Transparencia, Conductividad y pH ( $P < 0,05$ ; Test de permutación de Montecarlo parcial). La relación entre la variación en la composición de especies de zooplancton y las variables explicativas incluidas en el Análisis de Redundancia resultó significativa (F-ratio = 56,13;  $P = 0,002$ ). El diagrama de ordenación del Análisis de Redundancia (Fig. 23) muestra la distribución de 70 muestras obtenidas, según su composición de especies zooplanctónicas, la cual es relacionada directamente con los factores ambientales. El 81,4 % de la varianza total para las especies es explicado por el primer eje de la ordenación, mientras que el segundo eje no da cuenta de variación y el 100 % de la varianza total de las especies en relación a las variables ambientales se encuentra explicado por el primer eje (Fig. 23). La variable que presentó una mayor correlación con el primer eje corresponde al P total ( $r_{\text{canónico}} = 0,83$ ). El N-total y la Transparencia presentaron una correlación negativa con el primer eje de ordenación ( $r_{\text{canónico}} = -0,39$  y  $r_{\text{canónico}} = -0,31$ ; respectivamente).

Respecto a la composición de especies de zooplancton, se observó una discontinuidad correspondiente a las muestras de superficie de la estación Invierno II, en la cual se encontró mayor abundancia de la especie *Bosmina longirostris*. La abundancia de esta especie presentó la mayor correlación positiva con el P-total. Especies tales como *Ceriodaphnia dubia*, *Tumeodiaptomus diabolicus* y *Brachionus calyciflorus*, conjuntamente con *Nauplius* spp señalaron mayor abundancia en las muestras de la temporada primaveral II (color rojo) y a mayores valores de pH y transparencia del agua. Las especies *Daphnia ambigua*, *Metacyclops mendocinus* y *Keratella cochlearis*, presentaron su mayor abundancia a mayores concentraciones de N-total y en las muestras de la temporada invernal temprana (color azul) y de superficie de la temporada otoñal II (color amarillo) (Fig. 23).



**Figura 23:** Diagrama de ordenación de muestras zooplanctónicas obtenido a través de un RDA. Los cuadrados corresponden a las muestras de superficie y los círculos a las muestras de profundidad. Las flechas azules corresponden a las especies zooplanctónicas. Las flechas negras corresponden a los vectores de factores ambientales

### Variación de la estructura comunitaria fitoplanctónica y zooplanctónica

Según la prueba de Friedman- existen diferencias significativas entre las distintas temporadas de muestreo para ambos grupos planctónicos estudiados (Tabla 4).

**Tabla 4:** Test de Friedman de los componentes comunitarios fito y zooplanctónicos.

Organismos	Componente	Prueba de Friedman		
		$\chi^2$	df	p valor
Fitoplancton	Abundancia	48,99	6	0,001
	Riqueza	44,13	6	0,001
	Diversidad	44,27	6	0,001
Zooplancton	Abundancia	51,73	6	0,001
	Riqueza	52,66	6	0,001
	Diversidad	54,81	6	0,001

Además al asociar los componentes de la estructura comunitaria con las variables físicas y químicas del embalse que resultaron significativos para cada grupo planctónico según los análisis de ordenación previamente realizados, se puede apreciar que la abundancia y riqueza del fitoplancton y la riqueza y diversidad del zooplancton son las más afectadas. Además se observa que las variables con un mayor efecto sobre los componentes planctónicos son la transparencia y temperatura, en cambio las que mostraron una menor influencia son el volumen y el N-total, afectando solo en forma significativa la riqueza de especies fitoplanctónicas (Tabla 5).

**Tabla 5:** P-valor estimados para la correlación de Spearman entre abundancia, riqueza y diversidad del fitoplancton y zooplancton con variables físicas y químicas. Los valores en rojo corresponde a los valores significativos ( $p < 0,005$ ) y los valores en negrita corresponde a los que expresan una mayor variabilidad de los datos ( $>50\%$ ).

Organismos	Componente	P-total	Temperatura	Volumen	N-total	Transparencia
Fitoplancton	Abundancia	-0,400448	<b>0,646898</b>	-0,001768	0,382096	<b>0,550658</b>
	Riqueza	-0,434048	-0,091869	<b>0,573067</b>	<b>0,527813</b>	<b>0,551513</b>
	Diversidad	-0,166855	-0,487971	0,474772	0,197741	0,209477
Zooplancton	Abundancia	0,258811	0,010084	-0,168981	-0,248554	0,088780
	Riqueza	<b>-0,739760</b>	<b>0,613049</b>	0,291797	0,284159	<b>0,678180</b>
	Diversidad	<b>-0,731549</b>	<b>0,589514</b>	0,247461	0,128538	<b>0,664385</b>

### **Relación entre fitoplancton y zooplancton**

La relación funcional entre las abundancias de cada taxa de fitoplancton y zooplancton para una misma campaña de muestreo, muestran que existen algunas correlaciones significativas (11 correlaciones de un total de 112 correlaciones independientes) correspondientes al 9.82% de todas las comparaciones (Tabla 6). Esto indica que existe un mayor número de comparaciones significativas que aquellas que se esperan por simple azar (en nuestro caso, se esperaba 5 a 6 comparaciones dentro del rango de error del 5%). Se observó una correlación marginalmente significativa entre el microzooplancton (< a 200  $\mu\text{m}$ ) con el fitoplancton total y con el grupo 5, y significativa para este mismo grupo con los grupos fitoplanctónicos 3 (1 a 50  $\mu\text{m}$ ), 4 (10 a 100  $\mu\text{m}$ ), en cambio el macrozooplancton (> 500  $\mu\text{m}$ ) mostró correlación con grupos de mayor tamaño como el grupo 4 (10 a 100  $\mu\text{m}$ ) y 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ).

Al dividirlos por distintos taxa se observó que los macrobranquiópoda presentaron una correlación altamente significativa con el grupo 4 (10 a 100  $\mu\text{m}$ ) y 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ), en cambio maxillopoda señaló correlación con los grupos fitoplanctónicos de tamaños mayores como 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ), 6 (100 a 200  $\mu\text{m}$ ) y 7 (>200  $\mu\text{m}$ ).

Tabla 6: Relación entre fitoplancton y zooplancton diferenciado por tamaño

P-valor estimados para la correlación de Spearman entre fitoplancton y zooplancton diferenciado por tamaño. \*\* corresponde a valores de  $p < 0,01$  (altamente significativo), \* corresponde a valores de  $p < 0,05$ , Los valores entre paréntesis corresponden al r estimado.

		Zooplancton														
		Zooplancton				Branchiopoda			Maxillopoda				Monogonta			
		Total	Micro	Meso	Macro	Total	Meso	Macro	Total	Micro	Meso	Macro	Total	Micro	Meso	
Fitoplancton	Total	0,91 (-0,07)	0,07 (0,75)	0,78 (-0,14)	0,17 (0,61)	0,78 (-0,14)	0,78 (-0,14)	0,07 (0,75)	<b>*0,03</b> <b>(0,82)</b>	0,17 (0,61)	0,44 (0,36)	0,23 (0,52)	0,69 (0,18)	0,16 (0,59)	0,70 (-0,18)	
	1	0,44 (-0,36)	0,27 (0,5)	0,556 (0,29)	0,56 (0,29)	0,556 (0,29)	0,56 (0,29)	0,50 (0,32)	0,35 (0,43)	0,30 (0,46)	0,35 (0,43)	0,40 (0,38)	0,63 (-0,22)	0,36 (0,41)	0,28 (-0,47)	
	2	0,44 (-0,36)	0,27 (0,5)	0,56 (-0,29)	0,56 (0,29)	0,56 (-0,29)	0,56 (-0,29)	0,49 (0,32)	0,35 (0,43)	0,30 (0,46)	0,35 (0,43)	0,40 (0,38)	0,63 (0,22)	0,36 (0,41)	0,28 (-0,47)	
	3	0,78 (0,14)	<b>* 0,02</b> <b>(0,86)</b>	0,71 (0,18)	0,2 (0,57)	0,71 (0,18)	0,71 (0,18)	0,11 (0,68)	0,17 (0,60)	0,07 (0,75)	0,66 (0,21)	0,13 (0,63)	0,87 (0,07)	0,19 (0,63)	0,58 (-0,26)	
	4	0,66 (0,21)	<b>* 0,01</b> <b>(0,89)</b>	0,79 (0,14)	<b>*0,03</b> <b>(0,82)</b>	0,78 (0,14)	0,78 (0,14)	<b>**0,01</b> <b>(0,93)</b>	0,14 (0,64)	<b>*0,05</b> <b>(0,79)</b>	0,71 (-0,18)	0,71 (0,72)	0,63 (0,22)	0,46 (0,33)	0,93 (0,04)	
	5	0,96 (0,03)	0,09 (0,71)	0,84 (-0,11)	<b>*0,02</b> <b>(0,86)</b>	0,84 (-0,11)	0,84 (-0,11)	<b>**0,01</b> <b>(0,93)</b>	<b>*0,03</b> <b>(0,82)</b>	0,14 (0,64)	0,96 (0,04)	0,09 (0,69)	0,81 (0,11)	0,75 (0,15)	0,93 (0,04)	
	6	0,71 (-0,18)	0,30 (0,47)	0,40 (-0,39)	0,11 (0,67)	0,40 (-0,40)	0,40 (-0,39)	0,14 (0,64)	<b>*0,01</b> <b>(0,89)</b>	0,27 (0,5)	0,20 (0,57)	0,13 (0,63)	0,69 (0,19)	0,69 (0,18)	0,73 (-0,16)	
	7	0,59 (-0,25)	0,30 (0,46)	0,24 (-0,54)	0,54 (0,54)	0,24 (-0,54)	0,24 (-0,54)	0,17 (0,61)	<b>*0,01</b> <b>(0,89)</b>	0,40 (0,39)	0,17 (0,61)	0,36 (0,41)	1,00 (0,00)	0,40 (0,39)	0,64 (-0,22)	

### **Relación entre GFBM y zooplancton**

El microzooplancton (< a 200  $\mu\text{m}$ ) presentó correlación significativa con los GFBM I (pequeños organismos), III (grandes filamentos con aerotopos) y IV (organismos de tamaño medio carente de rasgos especializados) y marginalmente significativos con el grupo VII (grandes colonias mucilaginosas) y el macrozooplancton (> 500  $\mu\text{m}$ ) mostró una correlación significativa con el grupo I y marginalmente significativa con el grupo IV. Al separarlos en taxa, los macrobranchiopoda presentaron una correlación significativa con el grupo I, grupo IV y marginalmente significativa con el grupo VII. Los maxillopoda mostraron correlación significativa con los grupos IV y VII y marginalmente significativa con el grupo V (flagelados unicelulares de tamaño mediano a grande), dentro de este mismo grupo los macromaxillopoda exhibieron una correlación significativa con el grupo I, en cambio, los micromonogonta presentaron una correlación significativa con el grupo III (tabla 7).

Tabla 7: Relación entre GFBM y zooplancton

P-valor estimados para la correlación de Spearman entre fitoplancton (agrupado en GFBM) y zooplancton diferenciado por tamaño. \* corresponde a valores de  $p < 0,05$ , •corresponde a valores de  $p < 0,1$  (marginalmente significativo). Los valores entre paréntesis corresponden al r estimado.

		Zooplancton				Branchiopoda			Maxillopoda				Monogonta		
		Todo	Micro	Meso	Macro	Total	Meso	Macro	Total	Micro	Meso	Macro	Total	Micro	Meso
Fitoplancton (GFBM)	I	0,26 (0,49)	*0,03 (0,82)	0,26 (0,49)	*0,03 (0,80)	0,26 (0,49)	0,26 (0,49)	*0,03 (0,80)	0,43 (0,36)	*0,03 (0,80)	0,32 (-0,45)	*0,03 (0,81)	0,84 (0,09)	0,84 (0,09)	0,71 (0,17)
	III	0,78 (-0,14)	*0,03 (0,82)	0,91 (-0,07)	0,24 (0,54)	0,91 (-0,07)	0,91 (-0,07)	0,17 (0,61)	0,24 (0,53)	0,07 (0,75)	0,78 (0,14)	0,16 (0,59)	0,47 (0,34)	*0,03 (0,82)	0,97 (0,02)
	IV	1,00 (0,00)	*0,03 (0,82)	0,91 (-0,07)	0,07 (0,75)	0,91 (-0,07)	0,91 (-0,07)	*0,03 (0,86)	*0,03 (0,86)	-0,09 (0,71)	0,59 (0,25)	0,10 (0,67)	0,63 (0,22)	0,19 (0,56)	0,93 (0,04)
	V	0,50 (0,32)	0,79 (-0,14)	0,40 (0,39)	0,44 (-0,36)	0,40 (0,39)	0,40 (0,39)	0,50 (-0,32)	-0,09 (-0,71)	0,71 (-0,18)	0,14 (0,64)	0,50 (-0,31)	1,00 (0,00)	0,97 (-0,02)	0,57 (-0,26)
	VI	0,66 (-0,21)	0,71 (0,18)	0,96 (0,04)	0,59 (-0,25)	0,96 (-0,04)	0,96 (-0,04)	0,66 (-0,21)	0,44 (-0,36)	0,78 (0,14)	0,78 (-0,14)	0,85 (-0,09)	0,69 (0,19)	0,27 (0,48)	0,87 (-0,08)
	VII	0,91 (-0,07)	0,07 (0,75)	0,78 (-0,14)	0,17 (0,61)	0,78 (-0,14)	0,78 (-0,14)	0,07 (0,75)	*0,03 (-0,82)	0,17 (0,61)	0,44 (0,36)	0,69 (0,19)	0,16 (0,59)	0,70 (-0,18)	0,26 (0,49)

## DISCUSIÓN

Un embalse es una acumulación artificial de agua que tiene como particularidad poder ser parcial y/o totalmente vaciado por gravedad o por aspiración (Dussart 1984). Además, en regiones mediterráneas, donde la lluvia es irregular y fuertemente temporal, el agua es utilizada intensamente por las poblaciones locales, por lo tanto, los embalses están a menudo sujetos a marcadas fluctuaciones en el nivel de agua (Tundisi et al. 2006).

En Chile central (32° a 34,5°S), que corresponde a la zona mediterránea carece de lagos naturales, con la excepción de los lagos de montaña (Vila et al. 2003). En esta zona se localizan tres sistemas artificiales los cuales se ubican en la cordillera de la costa cercana a Valparaíso, estos son el Embalse Rapel, un gran embalse hidroeléctrico, Embalse Peñuelas un reservorio de agua potable, y la Laguna El Plateado, un pequeño lago protegido del viento por las montañas (Geller 1992). De estos lagos, el Embalse El Plateado y el Embalse Rapel corresponden a sistemas monomícticos templados y el Embalse Peñuelas a un sistema polimíctico temperado (Margalef 1983, Vila et al. 1987).

Como ha sido descrito anteriormente, el embalse Peñuelas posee mezcla completa de la columna de agua, ya que corresponde a un lago somero y homogéneo, lo que aunado al efecto de corte de viento, se mantiene en permanente mezcla (Uraoka 2003, Vila et al. 2006). Este comportamiento polimíctico se corrobora en el período de estudio, ya que no presentó estratificación térmica en ninguna de las estaciones estudiadas (Fig 13); la mayor diferencia térmica entre superficie y profundidad se registró en Primavera I y correspondió a 1,15°C. Además, el sistema no posee afluentes fijos, por lo que su volumen depende exclusivamente de las lluvias y de las extracciones de la planta de agua potable de Valparaíso (DGA 1993), mostrando una gran variabilidad temporal e interanual. Durante el período de estudio se observó el efecto Niño – Oscilación Sur (ENSO) de débil intensidad entre Primavera I y Otoño I,

siendo reemplazado por el efecto Niña – Oscilación Sur (ENSO) en Invierno II (NOAA Climate Prediction Center [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/)). Sin embargo, a pesar de las lluvias ocurridas en el año 2009 se observó una disminución progresiva del volumen y profundidad del embalse debido principalmente a la extracción de agua de parte de la Empresa Sanitaria de Valparaíso.

Durante el período de estudio el sistema presentó oscilaciones progresivas en sus valores de N-total y P-total, correspondiendo a un estado eutrófico según Ryding y Rast (1992), siendo el valor máximo de N-total a comienzos de otoño y el valor máximo de P-total al invierno temprano II, siendo atribuible al cambio de volumen y profundidad que fue más evidente a comienzo de otoño, concentrando estos nutrientes ya que Vila et al. (2006) han descrito que disminuciones de los volúmenes de agua de Peñuelas se asocian con cambios en los nutrientes.

Además se puede observar que el volumen se correlaciona positivamente con Transparencia del agua, principalmente dado por la alta abundancia fitoplanctónica presente en otoño I que disminuyó la transparencia del agua, estación donde el volumen tuvo una brusca disminución. Por otro lado el volumen se relaciona negativamente con Temperatura y Conductividad, esto se debe a que el volumen de agua define la cantidad de calor que un lago puede almacenar, ya que pequeñas masas de agua son más susceptibles a grandes variaciones estacionales y diarias en la temperatura del agua, pudiendo aumentar rápidamente su temperatura, mientras que grandes masas de agua pueden tener una temperatura constante a lo largo del año, (Mazunder & Taylor, 1994), además al disminuir el volumen aumenta la cantidad de Sólidos Totales Disueltos, lo que a su vez aumenta la conductividad del sistema.

### Variación fitoplanctónica.

Los cambios en el volumen y profundidad del embalse han sido asociados anteriormente a variaciones en las características de trofia de Peñuelas, ya que a profundidades de 12 metros, Vila et al. (2006) describieron al embalse Peñuelas como un sistema mesotrófico, sin embargo, la Dirección General de Agua (1993) lo clasifica como un sistema eutrófico cuando presentó una profundidad cercana a los 8 metros. En el presente estudio el sistema alcanzó una profundidad máxima de 6 metros llegando a alcanzar los 4 metros en Invierno II, con características de eutrófico para los valores de N-total, P-total y clorofila *a*, durante todo el período estudiado, en cambio para transparencia del agua el sistema mostró características de eutrófico entre Invierno I y Verano, variando a hipertrófico entre otoño I e Invierno II (Ryding & Rast 1992). Sin embargo, es necesario estudios posteriores con un monitoreo de varios años para lograr comprender la dinámica asociada de los cambios de trofia al volumen del embalse.

Al relacionar las variables físicas y químicas es interesante la relación positiva que ocurre entre clorofila *a* y temperatura, debido a que en verano se produce la aparición de *Closterium aciculare*, un alga verde de gran tamaño, la cual ha sido cultivada en laboratorio a temperatura de 20°C (Naito et al. 2006), temperatura similar a la que fue encontrada en el embalse en verano. Cabe destacar que las algas verdes poseen principalmente clorofila *a* y *b* que enmascaran carotenos y xantofilas (Roldán 1992), por otro lado el menor valor de clorofila *a* corresponde a la menor abundancia fitoplanctónica en el periodo de estudio correspondiendo a Invierno II, lo que se relaciona con el valor de la clorofila *a* como un indicador de la biomasa fitoplanctónica. Otra relación interesante es la relación inversa entre el OD y la temperatura, lo que es debido a que la solubilidad del oxígeno disminuye a medida que aumenta la temperatura (Roldán 1992, Horne & Golman 1994).

La transparencia del agua alcanzó su menor valor en Otoño I, debido a dos factores: la alta abundancia fitoplanctónica y la presencia de organismos coloniales como *Coelastrum*

*microporum* y organismos filamentosos de gran tamaño como *Dolichospermum planctonicum*. Por este motivo la transparencia del agua ha sido utilizada de forma muy generalizada para estimar la densidad aproximada de las poblaciones de fitoplancton (Horne & Goldman 1994), sin embargo esto puede llevar a errores ya que en nuestro caso los periodos con menor abundancia fitoplanctónica no se relacionan con la máxima transparencia del disco de Secchi, esto es debido a que la transparencia se encuentra influenciada por la características de absorción tanto del agua como de la materia particulada y disuelta existente en ella (Wetzel 2001).

Sommer et al. (1986) describieron 2 máximos de abundancia fitoplanctónica para lagos eutróficos, el primero que ocurrió en primavera con presencia de Cryptophyceae y pequeñas diatomeas y el segundo en verano con Cryptophyceae y algas verdes no edibles. Sin embargo Peñuelas, se diferencia a lo descrito anteriormente, al presentar dos máximos de abundancia fitoplanctónica, los que ocurren en primavera y otoño, el primero con abundancia de Zygnemaphyceae en primavera II y de Chlorophyceae en Otoño I, esto es debido a la alta relación N:P presente en el embalse, cercanas a los valores descritos por Bulgakov & Levich (1999) los cuales proponen que una alta relación N:P (20-50:1) puede favorecer el desarrollo de algas verdes, mientras relaciones menores promueven el desarrollo de Cyanobacterias y otras clases.

En este estudio se encontró 37 taxa fitoplanctónicos, número cercano al descrito por Vila et al. (2006), de los cuales 19 habían sido descritos con anterioridad por Navarro y Avaria (1971). Se pudo observar que la riqueza de especies encuentra su mayor valor en Primavera I cuando el sistema se encuentra dominado solo por las clases Chlorophyceae y Zygnemaphyceae y menor valor en Otoño II cuando el sistema se encuentra dominado por especies de las clases Chlorophyceae y Cyanophyceae. Este cambio se puede explicar por la naturaleza tóxica y alelopática de las cianobacterias que inhiben el crecimiento de otras microalgas (Mandal 2005). La mayor diversidad biológica tanto en riqueza como en diversidad de Shannon se evidenció en las 2 primeras campañas (Invierno I y Primavera I), lo que podría

estar relacionado a que el volumen de agua acumulado en el embalse durante estos períodos fue el mayor de todo el período de estudio. Este hecho ha sido descrito anteriormente por Vila et al. (2006) quienes señalan que el volumen del embalse sería una variable forzante en las variaciones temporales de la concentración de nutrientes y de la biomasa y estructura fitoplanctónica. Estos autores describieron además períodos con dominancia de Bacillariophyceae y Cyanophyceae, y episodios de florecimientos de cianobacterias a bajo volumen de agua y clorofíceas a mayor volumen. Sin embargo en el presente estudio, el embalse solo presentó dominancia de Chlorophyceae y Zygnemaphyceae. Cabe destacar que ambos inviernos presentaron dominancia de *Desmodesmus communi* (Zygnemaphyceae), especie que había sido descrita como la más abundante por Acuña et al. (2008) el cual realizó su experimento en otoño. Debido a esto no se rechaza la predicción a, debido a que si bien el fitoplancton presentó su menores riquezas cuando existe una mayor abundancia de Cyanophyceae, el sistema se encuentra dominado durante todo el período de estudio por la clase Chlorophyceae.

Todas las especies dominantes anteriormente descritas pertenecen al grupo funcional IV (Kruk 2010) lo que explica que este es el grupo que presentó la mayor dominancia durante todo el período estudiado. En este se agrupan organismos de tamaño medio que carecen de rasgos especializados, los organismos que se encuentran descritos en este grupo tienen una limitada tolerancia a la limitación por nutrientes y baja a moderada tasa de decantación, con algunas especies de pequeño tamaño y alta calidad como comida (Kruk 2010). Otra especie con gran abundancia es la Cyanophyceae *Dolichospermum planctonicum*, organismo que se encuentra principalmente en lagos eutróficos (Bellinger & Sigeo 2010) y en este trabajo se encontró además asociada positivamente con el N-total, relación que reflejaría su capacidad de fijar nitrógeno. Además, *D. planctonicum* clasifica dentro del grupo III (grandes filamentos con vesículas de gas) caracterizado como estrategia K, ya que son grandes y de crecimiento lento, con una alta relación S/V que le confiere gran tolerancia a las condiciones limitantes de luz y nutrientes y una baja tasa de decantación, además presentó una potencial toxicidad lo que le

proporciona gran resistencia al pastoreo, por lo que puede llegar a formar florecimientos tóxicos (Kruk et al. 2010). Entre las diatomeas (grupo VI), cabe destacar la presencia constante de *Aulacoseira granulata*, especie común en el fitoplancton chileno, característica de aguas alcalinas (Vila & Pardo 2003, Alvial et al. 2008) correspondiendo a una especie de gran tamaño, tolerante a eutrofia y que de acuerdo con Reynolds et al. (2002) es exitosa en sistemas turbulentos por recuperarse de los sedimentos (Vila & Pardo 2003). Además se observó las especies *Fragilaria* spp, *N. acicularis*, *Nitzschia* spp, *Synedra* spp y *Navicula* spp que presentaron su óptimo de distribución a mayores concentraciones de P-total y N-total, debido a que su abundancia aumenta en la temporada de otoño temprano en la cual se encuentra el máximo de N-total y comienza a aumentar el P-total. Siendo Peñuelas un sistema donde se ha descrito limitación por sílice (Gonzalez 2008) se podría deducir que también existe un aumento de este nutriente, lo que provocaría el aumento de estos taxa, nutriente necesario para la formación de sus paredes silíceas. Similarmente, este aumento de diatomeas en otoño y principios de invierno ha sido descrito por Wetzel (2001) para lagos muy productivos. El grupo VI está formado por individuos con estrategias de vida R y K, los cuales debido a sus paredes silíceas pueden decantar rápidamente (Kruk et al. 2010), pero que en un sistema polimíctico como Peñuelas, pueden permanecer en la columna de agua (Reynolds et al. 2002).

En general se observó que el sistema se encontró dominado por las clases Chlorophyceae y Zygnemaphyceae, representantes del grupo IV. Este grupo se encuentra compuesto por organismos que presentaron un tamaño medio y un alto contenido de nutrientes, por lo que son muy vulnerables a la depredación por organismos zooplanctónicos (Sterner & Elser 2002, Pacheco et al. 2010). Además concordando con lo descrito por Montecinos & Pizarro (2006), en sistemas poco productivos, 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 microfitoplancton dominan en aguas eutróficas, que corresponden a sistemas más productivos, ricos en fósforo y nitrógeno, acorde con esto, el embalse presentó dominancia de organismos de gran tamaño.

Al evaluar la estructura comunitaria se aprecia que abundancia, riqueza y diversidad fitoplanctónica presentaron diferencias significativas en cada una de las temporadas de muestreo, al asociar estos parámetros de estructura comunitaria con las variables ambientales se puede apreciar que las variables que exhibieron un mayor efecto son la transparencia y temperatura, principalmente porque la transparencia se ve afectada por la abundancia y/o características morfológicas de los individuos presentes en el embalse, presentando su menor valor cuando existe la mayor cantidad de organismos, a su vez que las mayores abundancia fitoplanctónicas se observó en las temporadas con mayores temperaturas, lo que coincide con lo descrito por Sommer et al (1986).

### Variación zooplanctónica

En general, la presencia y dominancia de las especies zooplanctónicas corresponderían a los taxa descritos como frecuentes en los antecedentes acerca de la distribución del zooplancton para los sistemas lacustres tanto naturales como artificiales de la zona temperada del país y de calidad mesotrófica a eutrófica del agua (Soto y Zúñiga 1991, Schmid-Araya & Zúñiga 1992, Ruiz & Bahamonde 2003, Villalobos 2006, Montecino et al. 2011). Por ejemplo, *Tumeodiaptomus diabolicus* especie característica de la zona de Chile central en sistemas acuáticos que se encuentran a baja altura y de baja profundidad (Villalobos 2006).

Entre las 12 especies zooplanctónicas encontradas, cabe destacar la presencia de *Bosmina longirostris*, la cual se mantuvo dominante durante todo el período estudiado, excepto en verano donde se presentó una de las menores abundancias zooplanctónicas y *B. longirostris* fue reemplazada por *Metacyclops mendocinus*, una posible explicación es la dominancia en este período de *Closterium aciculare* (Chlorophyceae), especie algal de gran tamaño y forma alargada similar a un filamento. Gliwicz (1990) describió que las formas filamentosas dificultan la manipulación de algunos cladóceros para su alimentación, lo que podría explicar la no dominancia del cladóceros *B. longirostris* en este período, y la dominancia de un copépodo ciclopoide el cual es capaz de manipular este alimento (Lampert & Sommer 2007, Wetzel 2001). Debido a esto no se acepta la predicción B, ya que la forma similar a un filamento que puede provocar interferencia mecánica para la filtración del zooplancton no fue producida por la Clase Cyanophyceae sino por una microalga de la Clase Chlorophyceae, además las menores valores de abundancia zooplanctónica se presentaron en Verano y Otoño II, época en la cual dominaba la clase Chlorophyceae.

En el hemisferio norte, en sistemas altamente mesotróficos y eutróficos, la declinación del zooplancton en la mitad del verano ha sido asociada con el reemplazo de formas comestibles de fitoplancton con formas menos comestibles como cianofíceas filamentosas, los cuales hacen decrecer la tasa de filtración del zooplancton por interferencia mecánica

(Wolfenbarger 1999). Algo similar ha sido citado para sistemas cercanos como el Embalse El Plateado, donde se aprecia que en verano *Bosmina longirostris* es reemplazada por un copépodo (Ramos-Jiliberto et al. 1998), sin embargo en este estudio no se encuentra considerado el fitoplancton, por lo que no podemos saber si se encuentra asociado a cambios en la comunidad fitoplanctónica.

El zooplancton del embalse Peñuelas mostró los máximos de primavera y otoño que han sido descritos por literatura para sistemas eutróficos (Sommer et al. 1986, 2012) quienes describieron que el zooplancton presentó un período de población máxima en primavera y a menudo un segundo máximo en otoño; mientras que en invierno se observan poblaciones poco densas de las especies permanentes, y una ausencia casi total de las especies estivales. En primavera, asociado al aumento de alimento proporcionado por la fotosíntesis, y al aumento de la temperatura, las poblaciones de cladóceros aumentan a partir de adultos invernantes o de huevos de resistencia, ya que la temperatura hace incrementar la tasa de mudas y la producción de puestas, mientras que al aumentar la cantidad de alimentos aumenta el número de huevos por puesta, en cambio, en verano existe una reducción de alimento disponible, variación en la calidad del alimento hacia especies no comestibles y la depredación a cargo de otros componentes del zooplancton, peces y otros organismos (Sommer et al. 1986). Sin embargo el máximo poblacional ocurre en Invierno II, lo que puede estar asociado a la disminución del volumen del embalse y al consecuente aumento de nutrientes que puede haber afectado a sus especies depredadoras (*Odontesthes bonariensis*) (Burbrige 1973, Ramos-Jiliberto et al. 2004) la cual se ve limitada por procesos de eutrofización (Fernández et al. 2010), o a que esta disminución del volumen concentró el número de organismos o a la presencia de pequeñas diatomeas y *Cryptomonas* que son recursos de mayor calidad que las diatomeas grandes y algas verdes según estudios experimentales (Infante & Litt 1985), no obstante, es necesario efectuar estudios posteriores para confirmar estas hipótesis.

Conjuntamente se observó una relación positiva entre el zooplancton y P-total, debido principalmente a que los mayores valores de ambos en Invierno II. Roldán (1992) describió que

el aumento de fósforo se ve asociado a la alta abundancia zooplanctónica debido a la excreción de fósforo soluble, sin embargo esta variable se correlaciona de forma negativa con la riqueza y diversidad zooplanctónica, principalmente porque a los mayores valores de P-total el sistema se encuentra dominado por una especie (*B. longirostris*).

Por este motivo no se rechazó la hipótesis 1) ya que se puede apreciar que si bien el volumen no se relaciona en forma significativa con los parámetros de estructura comunitaria fitoplanctónica y zooplanctónica (abundancia, riqueza y diversidad), si lo hace con las variables como que presentaron una relación con estos parámetros, por lo que se puede asumir que el volumen afecta de forma indirecta la estructura comunitaria planctónica presente en el embalse Peñuelas.

### Relación fitoplancton – zooplancton

Al considerar el tamaño como factor para agrupar el zooplancton se observa que el microzooplancton (<200  $\mu\text{m}$ ) (Anexo Tabla 12) se encuentra relacionado con el fitoplancton 3 (1a 50  $\mu\text{m}$ ) y 4 (10 a 100  $\mu\text{m}$ ) (Anexo Tabla 13) y marginalmente con el fitoplancton grupo 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ), en cambio el macrozooplancton (> 500  $\mu\text{m}$ ) se encuentra relacionado al fitoplancton del grupo 4 y 5 (10 a 200  $\mu\text{m}$ ), en general se observa que los distintos tamaños de zooplancton compiten por el fitoplancton de tamaño medio (10 a 100  $\mu\text{m}$ ) y que el microzooplancton se asocia a fitoplancton de menos tamaño, en cambio el macrozooplancton a fitoplancton de mayor tamaño (10 a 200  $\mu\text{m}$ ) ya que el zooplancton de gran tamaño puede atrapar partículas más grandes, lo que ha sido planteado anteriormente por la teoría tamaño-eficiencia (Brooks & Dodson 1965).

Se ha descrito que maxillopoda se alimenta con tamaños de presa mayores que branchiopoda (DeMott 1986, 1988), ya que branchiopoda al ser filtradores, crean una presión selectiva en la comunidad fitoplanctónica causando la eliminación de los organismos que no exceden un tamaño definido (Gliwicz 1980). Por otro lado, Sommer & Sommer (2006) describieron que maxillopoda puede ser alimentados con algas de pequeño tamaño, pero al estar con una mezcla natural de comida rechazan la comida pequeña si es que existe suficiente para elegir de tamaños grandes, ejerciendo una fuerte influencia en la comunidad fitoplanctónica suprimiendo el fitoplancton grande (Sommer et al. 2003). En general, los copépodos prefieren partículas de alimento de mayor tamaño que los cladóceros, aunque se encuentra una alta sobreposición en el espectro de tamaños de comida (Gliwicz 1980). Los resultados actuales coinciden con lo descrito anteriormente ya que en general los branchiopoda se relacionan con fitoplancton de menor tamaño que los maxillopoda.

Además se ha descrito que las especies filtradoras como *Daphnia* son especialmente sensibles a las perturbaciones de su mecanismo filtrador causado por algas de gran tamaño

(Dawidowicz 1990), lo que concuerda con nuestros resultados ya que se observó que branchiopoda no presentaron relación con los organismos considerados no comestibles, donde se encuentran las algas grandes y los largos filamentos y además a la baja abundancia relativa de esta clase cuando se presentó una gran abundancia de la microalga *Closterium aciculare* la que mostró una forma alargada.

Al considerar varias características morfológicas y agruparlos en Grupos Funcionales Basados en Morfología (Kruk et al. 2010) se observa que los grupos I y IV son los que se encuentran mayormente relacionados con los distintos grupos de zooplancton, el grupo I está compuesto por la alga verde de tamaño pequeño *Chlorella* sp de fácil captación y asimilación (Martinez 1999), características que la harían atractiva para un alto espectro de tamaños y taxa zooplanctónicas. El grupo IV (organismos de tamaño medio carente de rasgos especializados) es el grupo de mayor dominancia durante todo el período de estudio, este grupo presentó organismos de diversos tamaños razón por la cual se relaciona con distintos tamaños de organismos zooplanctónicos.

Debido a estos resultados se aprueba la hipótesis 2) debido a que el zooplancton de mayor tamaño se asociaría al fitoplancton de mayor tamaño, así como el zooplancton de menor tamaño se asociaría el fitoplancton de menor tamaño (según teoría tamaño-eficiencia) y el zooplancton presentaría una mayor asociación en abundancia con los GFBM de la presa que presenten organismos de tamaño pequeño y medio, sin estructuras especializadas (mucilago, producción de sustancias alelopáticas). Sin embargo hay que tomar con cautela estos resultados, debido a que no fue considerado el contenido estomacal del zooplancton con lo que se hubiese obtenido una relación directa entre el tamaño y morfología presentes en el fitoplancton, con el tamaño y morfología del cual efectivamente se alimenta el zooplancton.

Además, este trabajo se realizó considerando los tradicionales organismos planctónicos (fitoplancton y zooplancton), sin embargo diversos estudios (Sherr et al. 1997, Sommer et al.

2012) revelan la importancia del anillo microbiano, el cual se encuentra compuesto por bacterias y protistas heterotróficos, los cuales pueden contribuir al retorno de nutrientes e incluso a la dieta de consumidores ya que en se encuentran organismos de tamaños similares al fitoplancton, aunque solo constituyen una menor parte en términos de carbón de la dieta de los consumidores (Sommer et al 2012). Sin embargo se han considerado que la metodología asociada al estudio del anillo microbiano requiere de especialización en el tema, sin embargo se considera una investigación de importancia en trabajos futuros.

## CONCLUSIONES:

1. El embalse Peñuelas presentó un decrecimiento de su volumen durante todo el periodo estudiado lo cual se puede asociar a que su principal aporte son las aguas lluvias y a su condición de embalse, por ende a la extracción de aguas requerida por la empresa sanitaria correspondiente. Esta disminución no se relacionó con la estructura comunitaria fitoplanctónica y zooplanctónica directamente.
2. El sistema posee características de eutrófico durante todo el período estudiado, lo cual concuerda con la literatura que indica que esta caracterización se asocia al volumen del embalse.
3. La composición fitoplanctónica presentó dos máximos de abundancia descritos por literatura para sistemas eutróficos, principalmente asociado a Chlorophyceae y Zygnemaphyceae.
4. El zooplancton presentó 2 máximos de abundancia los cuales también han sido descritos para sistemas eutróficos. Sin embargo el sistema desarrolla su mayor abundancia (no descrita en literatura) en Invierno II; la cual no es posible explicar con la información recolectada por lo que se podría deber a factores no considerados en este estudio como por ejemplo la posible disminución de organismos zooplanctófagos.
5. Con respecto a la relación fitoplancton-zooplancton, se apreció que zooplancton de menor tamaño presentó una mayor relación con el fitoplancton de menor tamaño comparado con el zooplancton de mayor tamaño. Sin embargo en los tamaños medios del fitoplancton existió una relación significativa tanto para organismos zooplanctónicos de menor tamaño como para los de tamaños mayores.

6. Al considerar la agrupación basada en rasgos morfológicos, se apreció que la mayor relación estuvo asociada al grupo que con la mayor abundancia (grupo IV) que presenta una buena calidad alimenticia.
7. No se rechaza la hipótesis 1) ya que se puede apreciar que si bien el volumen no se relaciona en forma significativa con los parámetros de estructura comunitaria fitoplanctónica y zooplanctónica, si lo hace con las variables que presentan una relación con estos parámetros,
8. Se acepta la hipótesis 2) debido a que el zooplancton de mayor tamaño se asociaría al fitoplancton de mayor tamaño, así como el zooplancton de menor tamaño se asociaría el fitoplancton de menor tamaño (según teoría tamaño-eficiencia) y el zooplancton presentaría una mayor asociación en abundancia con los GFBM de la presa que presenten organismos de tamaño pequeño y medio, sin estructuras especializadas.
9. No se rechaza la predicción a, debido a que si bien el fitoplancton presenta su menor riqueza cuando existe una mayor abundancia de Cyanophyceae, el sistema se encuentra dominado durante todo el período de estudio por la clase Chlorophyceae.
10. No se acepta la predicción B debido a que los menores valores de abundancia zooplanctónica se presentaron en Verano y Otoño II, época en la cual dominaba la clase Chlorophyceae.

## BIBLIOGRAFÍA

Acuña, P., I. Vila, & V.H. Marin. 2008. Short-term responses of phytoplankton to nutrient enrichment and planktivorous fish predation in a temperate South American mesotrophic reservoir. *Hydrobiologia*. 600:131-138.

Alvial, I.E., F.B. Cruces, A.E. Araneda, M. Grosjean & R. Urrutia. 2008 Estructura comunitaria de diatomeas presentes en los sedimentos superficiales de ocho lagos andinos de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural*. 81: 83-94.

Araya, J.M. & L. Zúñiga. 1985. Manual taxonómico del zooplancton lacustre de Chile. *Boletín Informativo Limnológico, Chile*. 8:1-110.

Arocena, R. & D. Conde. 1999. Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos de Limnología en Uruguay. DI.R.A.C. - Facultad de Ciencias. Universidad de la Republica. Uruguay. 233 pp.

Bellinger, E.G. & D.C. Sigeo. 2010. Freshwater algae identification and use as bioindicators. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK. 271 pp.

Bicudo, C.E. & M. Menezes. 2005. Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições. 1 ed. São Carlos: RiMa Editora. 489 pp.

Brooks, J.L. & S.I. Dodson. 1965. Predation, body size, and composition of plankton. *Science*.150: 28-35.

Burbridge, R.G., Mc. Carrasco & P.A. Brown. 1973. Age, growth, length-weight relationship, sex ratio and food habits of the Argentine pejerrey, *Basilichthys bonariensis* (Cuv. and Val.) from lake Peñuelas, Valparaíso, Chile. *Journal of Fish Biology*. 6: 229-305.

Burns, C.W. 1968. The relationship between body size of filter-feeding Cladocera and the maximum size of particle ingested. *Limnology and Oceanography*. 13:675-678.

Bulgakov, N.G. & A.P. Levich. 1999. The nitrogen: phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure. *Archiv fur Hydrobiologie*. 146(1): 3-22.

Dawidowicz, P. 1990. Effectiveness of phytoplankton control by large-bodied and small-bodied zooplankton. *Hydrobiologia*. 200/201:43-47.

DeMott, W.R. 1986. The role of taste in food selection by freshwater zooplankton. *Oecologia*. 69: 334-340.

DeMott, W.R. 1988. Discrimination between algae and artificial particles by freshwater and marine copepods. *Limnological and Oceanography*. 33(3): 397-408.

Dirección General de Aguas. 1993. Estudio limnológico del Embalse Peñuelas, V región, Departamento de Estudios, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas. 60 pp.

Domínguez, P. & L.R. Zúñiga. 1976. Análisis fenológico de los cladóceros limnéticos (Crustacea, Entomostraca) de la laguna El Plateado (Valparaíso). *Anales del Museo Historia Natural de Valparaíso*. 9: 35-44.

Dussart, B. 1984. Lagos naturales y embalses. Analogías y diferencias. In: N. Bahamonde & S.Cabrera (eds.), Embalses — Fotosíntesis y productividad primaria: 13-17. (UNESCO, MAB, Campo de acción No5, efectos ecológicos de las actividades humanas sobre el valor y los recursos de los lagos pantanos, ríos, deltas, estuarios y zonas costeras). Alfabetá Impresores, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Elosegi, A. & S. Sabater (eds.). 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA, Bilbao. ISBN: 978-84-96515-87-1. 444 pp.

Falkowski, P.G., M.E. Katz, A. Knoll, A. Quigg, J.A. Raven, O. Schofield & F.J.R Taylor. 2004. The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science*. 305(5682):354-360.

Fernández, A., N. Schesone, A. Pérez & A. Volpedo. 2010. Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina. *Asociación de Universidades Grupo Montevideo*. 1:45-66. ISSN:1852-2181.

Field, C.B., M.J. Behrenfeld, J.T. Randerson & P. Falkowski. 1998. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science*. 281: 237-40.

Geller, W. 1992. The temperature stratification and related characteristic of Chilean lakes in midsummer. *Aquatic Science*. 54:37-57.

Gliwicz, Z.M. & E. Siedlar. 1980. Food size limitation and algae interfering with food collection in *Daphnia*. *Archiv für Hydrobiologie*. 88: 155-177.

Goldyn, R. & K. Kowalczevska-Madura. 2007. Interactions between phytoplankton and zooplankton in the hypertrophic Swarzędzkie Lake in western Poland. *Journal of Plankton Research*. 30(1): 33-42.

González, C. 2008. Sílice (SiO<sub>2</sub>) En El Embalse Peñuelas (V Región, Chile). ¿Limitante Para El Crecimiento De Diatomeas?. Seminario de título para optar al título de Biólogo con Mención en Medio Ambiente. Facultad de Ciencias. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 68 pp.

Gosselain, V., L. Viroux & J.P. Descy. 1998. Can a community of small bodied grazer control phytoplankton in rivers? *Freshwater biology*. 39:9-24.

Hartmann, H.J. & D.D. Kunkel. 1991. Mechanisms of food selection in *Daphnia*. *Hydrobiologia*. 225 : 129-154.

Hillebrand, H., C. D. Dürselen, D. Kirschtel, D. Pollinger & T. Zohary. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *J. Phycol.* 35: 403–424.

Horne, A. J. & C. R. Goldman. 1994. *Limnology* Second Edition. McGraw Hill, Inc. New York.

Holm N. P. G. G. Ganf & J. Shapiro. 1983. Feeding and assimilation rates for *Daphnia pulex* fed *Aphanizomenon flosaquae*. *Limnology and Oceanography*. 28: 677–687

Hutchinson, G.E. 1957. *A treatise on limnology*. Vol I Wiley New York NY. 1015 pp.

Hutchinson, G.E & H. Löffler. 1956. The thermal classification of lakes. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 42:84-86

Infante, A. & A.H. Litt. 1985. Differences between two species of *Daphnia* in the use of species of algae in Lake Washington. *Limnol. Oceanogr.* 30: 1053-1059.

Kimmel B. L., O. T. Lind & L. J. Paulson. 1990. Reservoir primary production. Willey, New York, pp 133–194.

Kruk, C., V. Huszar, E. Peeters, S. Bonilla, L. Costa, M. Lurling, C. Reynolds & M. Scheffer. 2010. A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*. 55: 614 – 627.

Lampert, W. 1981. Inhibitory and toxic effects of blue-green algae on *Daphnia*. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.* 66: 285–298.

Lampert W. 1987. Laboratory studies on zooplankton-cyanobacteria interactions. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 21: 483-490.

Lampert, W & U Sommer. 2007. *Limnoecology. The ecology of lakes and streams.* Oxford University Press, New York. 335 pp.

Lepš, J. & P. Šmilauer. 2003. *Multivariate analysis of ecological data using canoco.* Cambridge University Press, Cambridge, UK. 269 pp.

Mandal, S. 2005. Harmful phytoplankton blooms indicate the existence of allelopathic Interactions. *Proceedings of the 4th World Congress on Allelopathy, "Establishing the Scientific Base"*, Wagga Wagga, New South Wales, Australia, 21-26 August 2005: 355-358.

Margalef, R. 1983. *Limnología.* Ediciones Omega, Barcelona, 1010 pp.

Martinez, G. 1999. Estrategias de alimentación de tres especies del zooplancton límnico (Cladocera) Revista Chilena de Historia Natural. 72: 671-676.

Mazunder, A. & W. D. Taylor. 1994. Thermal structure of lakes varying in size and water clarity. Limnol. Oceanogr. 39:968-976

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

Montecino, V., J.P. Oyanedel, I. Vila & L. Zúñiga. 2011. Limnetic Zooplankton of Chilean Lakes and Reservoirs: A Tribute to Bernard Dussart. Studies on Freshwater Copepoda: a volume in honour of Bernard Dussart (eds. D. Defaye, E. Suarez-Morales, J.C. von Vaupel Klein) Crustaceana Monographs. Brill, Leiden NL. 16: 367-382.

Naito, K., M. Suzuki, S. Mito, H. Hasegawa, M. Matsui & I Imai. 2006. Effects of the substances secreted from *Closterium aciculare* (Charophyceae, Chlorophyta) on the growth of freshwater phytoplankton under iron-deficient conditions. Plankton Benthos Res. 1(4): 191-199.

Navarro, N. & S. Avaria. 1971. Fitoplancton del lago Peñuelas. Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso. 4:287-337.

Naselli-Flores L. & R. Barone. 1997 Importance of water-level fluctuation on population dynamics of cladocerans in a hypertrophic reservoir (Lake Arancio, south-west Sicily, Italy). Hydrobiologia 360:223-232

Naselli-Flores, L. & R. Barone. 2011. Fight on plankton! Or, phytoplankton shape and size as adaptative tools to get ahead in the struggle for life. *Cryptogamic, Algologie*. 32 (2):157-204.

Olguín, H.F. & P. Domínguez. 1995. Corrientes, turbulencias y distribución de las algas dominantes en el sector poniente del embalse Peñuelas (Valparaíso, Chile). *Anales del Museo de Historia Natural de Valparaíso (Chile)*. 23: 5-20.

Pacheco, J.P., C. Iglesias, M. Meerhoff, C. Fosalba, G. Goyenola, F. Teixeira-de Mello, S. García, M. Gelós & F. García-Rodríguez. 2010. Phytoplankton community structure in five subtropical shallow lakes with different trophic status (Uruguay): a morphology-based approach. *Hydrobiologia*. 646:187–197.

Padisák, J., E. Soroczki-Pinter & Z. Reznér. 2003. Sinking properties of some phytoplankton shapes and the relation of form resistance to morphological diversity of plankton an experimental study. *Hydrobiologia*. 500: 243–257.

Padisák, J. 2004. Phytoplankton, en O'Sullivan, P.E., and Reynolds, C.S. (eds). *The lakes Handbook. Limnology and Limnetic Ecology*: Oxford, Blackwell Science. 1: 251–308.

Parra, O., M. González, V. Dellarossa, P. Rivera y M. Orellana. 1982a. Manual taxonómico del fitoplancton de Chile. I. Cyanophyceae. Universidad de Concepción. 70 pp.

Parra, O., M. González, V. Dellarossa, P. Rivera y M. Orellana. 1982b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. III Cryptophyceae - Dinophyceae - Euglenophyceae. Universidad de Concepción. 99 pp.

Parra, O., M. González y V. Dellarossa. 1983a. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. V. Chlorophyceae Parte I: Volvocales, Tetrasporales, Chlorococcales y Ulothricales. Universidad de Concepción. 151 pp.

Parra, O., M. González y V. Dellarossa. 1983b. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. V. Chlorophyceae Parte II: Zygnematales. Universidad de Concepción. 353 pp.

Parra, O. & C. Picudo. 1995. Introducción a la biología y sistemática de las algas continentales. Gráfica Andes Ltda. Santiago. Chile. 268 pp.

Pinel-Alloul, B., G. Méthot & N. Malinsky-Rushansky. 2004. A short-term study of vertical and horizontal distribution of zooplankton during thermal stratification in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia*. 526: 85-98.

Porter K. G. 1973. Selective grazing and differential digestion of algae by zooplankton. *Nature* 244: 179-180

Quinn, G. & M.J. Keough. 2002. *Experimental Design and data analysis for biologist*. Cambridge: Cambridge University Press. 557 pp.

R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Ramos-Jiliberto, R., C. Trapp, F. Flores, A. Brignardello, O. Siebeck & L. Zúñiga. 1998. Seasonal succession of planktonic crustaceans in a small eutrophic temperate lake (El Plateado,

Valparaíso, Chile). Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte. Limnologie. 26: 1997-2000.

Ramos-Jiliberto, R., J.L. Carvajal, M. Carter. & L. Zúñiga. 2004. Diel vertical migration patterns of three zooplankton populations in a Chilean lake. *Revista Chilena de Historia Natural*. 77(1): 29-41.

Reynolds, C. S., V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo. 2002. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *Journal of Plankton Research*. 24: 417-428.

Reynolds, C. S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*: Cambridge University Press, 550 pp.

Roldán, G. 1992 *Fundamentos de limnología neotropical*. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín-Colombia. 529 pp.

Ruiz, R. & N. Bahamonde 1989. Cladóceros y copépodos límnicos en Chile y su distribución geográfica. Lista sistemática. Publicación Ocasional Museo Nacional de Historia Natural, Santiago de Chile, 45: 1-48 pp.

Ruiz, R. & N. Bahamonde. 2003. Distribución estacional de cladóceros y copépodos en el Lago Rapel, Chile Central. Publicación ocasional. Museo Nacional de Historia Natural. 58: 5-58.

Ryding, S.O. & W. Rast. 1992. *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. Ediciones Pirámide Madrid. 375 pp.

Sant'Anna, C., M.T. Azevedo, L.F. Agujaro, L.R.M. de Carvalho & R.C.R. Souza. 2006. Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência. 58 pp.

Sarma, S.S., S. Nandini & H.J. Dumont. 1998 Feeding preference and population growth of *Asplanchna brightwelli* (Rotifera) offered two non-evasive prey rotifers. *Hydrobiologia*. 361: 77–87.

Sarma, S.S., P.S. Larios-Jurado & S. Nandini. 2002. Population growth of *Asplanchna sieboldi* fed two *Brachionus* spp. (Rotifera) raised on green alga and baker's yeast. *Hydrobiologia*. 467: 63–69.

Schmid-Araya, J. M. & L.R. Zuñiga. 1992. Zooplankton community structure in two Chilean reservoirs. *Archiv für Hydrobiologie*. 123: 305-335.

Sherr E. B, Sherr B. F. & L. Fessenden. 1997 Heterotrophic protists in the Central Arctic Ocean. *Deep Sea Res* 44:1665-1682

Sommer, U., Z. M. Gliwicz, W. Lampert & A. Duncan. 1986. The PEG model of a seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.* 106:433–71.

Sommer, U., F. Sommer, B. Santer, C. Jamieson, M. Beersma, C. Becker & T. Hansen. 2001. Complementary impact of copepods and cladocerans on phytoplankton. *Ecol Lett.* 4:545–550.

Sommer, U., F. Sommer, B. Santer, E. Zöllner, K. Jürgens, C. Jamieson, M. Boersma & K. Gocke. 2003. *Daphnia* versus copepod impact on summer phytoplankton: functional compensation at both trophic levels. *Oecologia*. 135:639–647.

Sommer, U. & F. Sommer. 2006. Cladocerans versus copepods: The cause of contrasting top-down controls on freshwater and marine phytoplankton. *Oecologia*. 147: 183–194.

Sommer, U., R. Adrian, L. Senerpont Domis, J. J. Elser, U. Gaedke, B. Ibelings, E. Jeppesen, M. Lurling, J. C. Molinero, M. W. Mooij, E. van Donk. & M. Winder. 2012. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) model: mechanisms driving plankton succession. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 43:429-448.

Soto, D., I. Vila & B. Villalobos. 1984. Temporal and spatial distribution of Rotifera in a Chilean reservoir: A possible effect of impoundment hydrodynamics. *Hydrobiologia*. 114: 67-74.

Soto, D. & L. Zúñiga. 1991. Zooplankton assemblages of Chilean temperate lakes: a comparison with North American counterparts. *Rev. Chilena Hist. Nat.* 64: 569-581.

StatSoft Inc. 2007. *Statistica for Windows (Computer program manual)* StatSoft. Inc. Tulsa. OK. 958 pp

Sterner R. W. & J. J. Elser. 2002. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press

Ter Braak, C. J. F. & P. Smilauer. 2002. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Ithaca, NY: Microcomputer Power. 500 pp.

Thorp, J. H. & A. P. Covich (eds). 1991. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. New York: Academic. 1073 pp.

Tundisi, J. G., T. Matsumura-Tundisi & C. S. Galli. 2006. Eutrofização na América do Sul: causas, consequências e tecnologias de gerenciamento e controle. Sao Carlos: IIE.

Uraoka, T. 2003. Modelación hidrodinámica del lago Peñuelas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. 75 pp.

Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*. 9:1-3.

Vanni, M. J. 1987. Effects of Nutrients and Zooplankton Size on the Structure of a Phytoplankton Community. *Ecology*. 68(3). 624-63.

Vila, I., I. Barends & V. Montecino. 1987. Abundancia y distribución temporal del fitoplancton del embalse Rapel, Chile Central. *Revista Chilena de Historia Natural*. 60:37-55.

Vila, I. 2003. Los sistemas acuáticos continentales, su ontogenia natural acelerada por efecto antrópico: la eutrofización y la salinidad. En: *El Agua en Iberoamérica. Tópicos Básicos y Estudios de casos*. CYTED-XVIII: 11:22.

Vila, I. y R. Pardo. 2003. Respuesta de la estructura fitoplanctónica a las perturbaciones antrópicas de un lago templado. *Limnetica* 22(1-2): 93-102.

Vila, I., P. Acuña & R. Pardo. 2006. Trophic changes in a temperate reservoir: Peñuelas lake, Chile. En Tundisi, J.G., T. Matsumura-Tundisi & C.S. Galli (eds), *Eutrofização na América do Sul: Causas, Consequências e Tecnologías de Gerenciamiento e Controle*. Internacional Institute of Ecology, São Carlos, SP-Brazil: pp 183-195.

Villalobos, L. 2006. Estado de conocimiento de los crustáceos zooplanctónicos dulceacuícolas de Chile. *Gayana*. 70 (1): 31-39.

Wallace, R. L. & T.W. Snell. 2010. Rotifera. Cap. 8. En *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates* (eds. Thorp, J.H. and A.P. Covich). Elsevier. Oxford. pp. 173-235.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology Lake and river ecosystems*. Academic Press. San Diego, California. Third Edition EEUU. 1006 pp.

Wilcox, D., B. Dove, McD. & D. Creer. 2002. UTHSCSA Imagen Tool for Windows Version 3.00 The University of Texas Health Science Center in San Antonio. 4:204-11.

Wolfenbarger, W.C. 1999 .Influences of biotic and abiotic factors on seasonal succession of zooplankton in Hugo Reservoir, Oklahoma, U.S.A. *Hydrobiologia*. 400: 13–31.

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. Third editions Prentice-Hall International Editions, New Jersey. 662 pp.

Zúñiga, L.R. & J.M. Araya. 1982. Estructura y distribución, durante un período otoñal del zooplancton en el embalse Rapel. *Anales Museo Historia Natural Valparaíso*. 15: 45-57.

Zúñiga, L.R. & M.A. Carvajal. 1990. Cyanobacterial blooms in lake Peñuelas, a drinking water reservoir. *Proceedings Second Biennial Water Quality Symposium*. Microbiological.

**Tabla 9:** Caracterización fitoplanctónica según los Grupos Funcionales Basados en Morfología

Especies	Grupos Funcionales Basados en Morfología (GFBM)					
	I	III	IV	V	VI	VII
<i>Navicula</i> spp					X	
<i>Nitzschia acicularis</i>					X	
<i>Nitzschia</i> spp					X	
<i>Aulacoseira granulata</i>					X	
<i>Cyclotella</i> sp					X	
<i>Asterionella formosa</i>					X	
<i>Fragilaria</i> sp					X	
<i>Synedra</i> spp					X	
<i>Chlamydomonas</i> sp				X		
<i>Ankistrodesmus</i> sp			X			
<i>Kirchneriella</i> sp			X			
<i>Coelastrum microporum</i>			X			
<i>Desmodesmus communis</i>			X			
<i>Scenedesmus acuminatus</i>			X			
<i>Scenedesmus ecornis</i>			X			
<i>Monactinus simplex</i>			X			
<i>Stauridium tetras</i>			X			
<i>Tetraedron minimum</i>			X			
<i>Tetraedron caudatum</i>			X			
<i>Tetraedron trigonum</i>			X			
<i>Chlorella</i> sp	X					
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>						X
<i>Oocystis</i> sp						X
<i>Botryococcus braunii</i>						X
<i>Elakatrothix gelatinosa</i>						X
<i>Closterium acutum</i>			X			
<i>Closterium aciculare</i>			X			
<i>Cosmarium</i> spp			X			
<i>Staurastrum johnsonii</i>			X			
<i>Staurastrum paradoxum</i>			X			
<i>Staurodesmus cuspidatus</i>			X			
<i>Chroococcus</i> sp						X
<i>Microcystis aeruginosa</i>						X
<i>Dolichospermum planctonicum</i>		X				
<i>Ceratium hirundinella</i>				X		
<i>Peridinium</i> sp				X		
<i>Cryptomonas</i> sp				X		

Tabla 8: Abundancia de las especies fitoplanctónicas presentes en el embalse Peñuelas en el periodo estudiado.

Clase	Familia	Especie	Invierno I		Primavera I	
			Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie
Bacillariophyceae	Coscinodiscophyceae	<i>Navicula</i> spp	0,00	0,00	0,00	0,00
		<i>Nitzschia acicularis</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
		<i>Nitzschia</i> spp	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fragilariophyceae	<i>Aulacoseira granulata</i>	41955,75	44365,24	77740,80	127833,98
		<i>Cyclotella</i> spp	22030,80	17037,21	118617,30	106617,39
		<i>Asterionella formosa</i>	73608,96	87560,72	226266,88	232133,89
		<i>Fragilaria</i> spp	0,00	0,00	0,00	0,00
	Chlamydomonadaceae	<i>Synedra</i> spp	48478,49	38053,09	9916,64	12395,80
		<i>Chlamydomonas</i> sp	236836,92	129482,88	379664,31	292940,70
		<i>Ankistrodesmus</i> sp	1293,48	1565,79	4958,32	0,00
Chlorococccaceae	<i>Tetraedron caudatum</i>	3305,55	2974,99	16609,40	15557,63	
	<i>Tetraedron minimum</i>	91686,70	104165,99	1705564,54	2032732,26	
	<i>Stauridium tetras</i>	1101,85	1565,79	14081,94	7882,11	
	<i>Stauridium</i> spp	3747,59	0,00	4958,32	0,00	
	<i>Scenedesmus ecomis</i>	6925,02	11944,64	13150,33	0,00	
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	37006,03	44732,23	17609,60	33944,74	
	<i>Scenedesmus communis</i>	568630,56	718765,39	492096,19	507087,20	
	<i>Coelastrum microporum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<i>Kirchnerella</i> sp	0,00	4756,26	12934,75	16527,74	
	<i>Ankistrodesmus</i> sp	1293,48	1565,79	4958,32	0,00	
Oocystaceae	<i>Chlorella</i> sp	0,00	0,00	21491,43	23965,22	
	<i>Oocystis</i> sp	33210,87	35054,21	77905,99	65181,27	
	<i>Dityosphaerium pulchellum</i>	20454,85	64420,39	193708,34	131503,32	
	<i>Botryococcus braunii</i>	12703,42	6062,47	42503,33	14349,49	
	<i>Botryococcus</i> spp	1352,27	1487,50	3233,69	3233,69	
	<i>Elakrothrix gelatinosa</i>	147801,17	107894,26	103266,12	153164,53	
	<i>Closterium acutum</i>	0,00	0,00	5312,49	0,00	
	<i>Closterium aciculare</i>	0,00	0,00	23826,14	9090,26	
	<i>Cosmarium</i> spp	3644,12	5859,83	1711324,84	1900519,33	
	<i>Staurastrum johnsonii</i>	74992,50	54587,92	1711324,84	1900519,33	
Zygnemaphyceae	<i>Staurastrum paradoxum</i>	43470,78	81559,77	481569,65	227903,15	
	<i>Staurastrum</i> spp	1222,60	0,00	1090418,08	565810,08	
	<i>Stauradesmus cuspidatus</i>	1352,27	3131,57	11572,68	0,00	
	<i>Chroococcus</i> sp	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Dolichospermum planctonicum</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium hirundinella</i>	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> sp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> sp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>Nostocaceae</i>	112619,67	28692,00	150260,99	139695,33	
	<i>Ceratium</i> spp	1190,00	901,51	44203,54	2644,38	
	<i>Peridinium</i> spp	12453,46	7212,10	15657,86	18593,71	
	<i>Cryptomonas</i> spp	1802,552,34	1751,270,73	7400,533,84	7063,196,69	
	<i>Cryptophyceae</i>					
	<i>Dimorphaceae</i>					
	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
Cyanophyceae	<i>Chroococccaceae</i>	10361,30	7594,06	30113,90	48914,02	
	<i>Microcystaceae</i>	178065,37	139842,92	299995,45	349175,44	
	<i>N</i>					

## ANEXO

Primavera II		Verano		Otoño I		Otoño II		Invierno II	
Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad
0,00	0,00	0,00	0,00	209423,85	193610,66	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	319681,27	208735,62	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	146326,41	114291,40	104124,76	0,00	0,00	0,00
12395,80	46749,89	10624,98	32038,39	51975,39	145374,66	61979,02	74374,83	25027,72	41902,84
43798,51	73312,33	46484,27	44035,44	46942,51	130583,03	304936,79	24791,61	90383,12	125529,85
12395,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12891,64	9039,40
0,00	0,00	0,00	0,00	84160,99	298679,86	594998,61	0,00	0,00	0,00
31402,70	21249,95	0,00	17163,42	699570,73	746012,14	0,00	0,00	0,00	0,00
74374,83	61093,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	29513,82	5721,14	125480,34	37777,69	0,00	24791,61	0,00	0,00
74374,83	21249,95	27890,56	81136,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	50999,88	223124,48	776116,05	5842742,19	7422621,53	3331992,21	1456507,01	108799,75	114643,63
438811,47	587561,13	372316,84	249597,76	499001,03	822442,52	855310,50	74374,83	882250,71	623590,26
0,00	0,00	21249,95	49669,90	94164,62	99930,32	0,00	0,00	6044,43	2479,16
56194,31	31874,93	0,00	0,00	84999,80	37777,69	37187,41	0,00	4793,04	5741,21
0,00	10624,98	9296,85	5721,14	12395,80	21249,95	0,00	24791,61	4320,82	782,89
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
186763,45	278374,35	635875,25	796920,19	263636,08	278457,68	537977,91	136353,85	0,00	91777,13
0,00	18593,71	29218,68	19157,15	7828,93	10624,98	0,00	24791,61	0,00	5741,21
0,00	0,00	0,00	0,00	85465,81	51249,88	0,00	0,00	0,00	0,00
202464,80	169999,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
111562,24	65343,60	19921,83	12395,80	18453,90	-21249,95	54541,54	0,00	55674,87	19624,52
171062,10	179562,08	57404,38	39441,20	83228,97	187485,67	74374,83	0,00	6611,10	1565,79
0,00	127499,70	65373,11	71704,96	63190,64	84999,80	0,00	0,00	0,00	0,00
8263,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2833,33	0,00
0,00	31874,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18383,93
83465,08	146093,41	5306289,67	5689188,76	12395,80	8749,98	59499,86	0,00	0,00	2288,46
12395,80	25499,94	135468,43	12482,49	57412,15	8749,98	0,00	24791,61	9562,48	2479,16
128916,37	123780,96	91492,84	155684,37	24791,61	33055,48	0,00	0,00	27105,49	16155,70
69416,50	190718,30	17560,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17590,24	13449,70
6926775,47	7070389,72	27890,56	39666,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16527,74	0,00	0,00	0,00	0,00	8749,98	0,00	0,00	0,00	0,00
87597,02	50468,63	191249,55	199806,50	126474,48	314138,15	185937,07	49583,22	1652,77	2288,46
2493209,45	2411338,11	296909,03	289004,28	4147965,45	3345825,51	810685,60	663175,53	1416,66	0,00
0,00	0,00	47812,39	0,00	47377,45	0,00	0,00	0,00	11829,14	0,00
12395,80	0,00	9296,85	0,00	47812,39	0,00	0,00	49583,22	0,00	0,00
0,00	0,00	25824,59	5721,14	68503,13	82416,47	163624,62	0,00	294784,03	110215,26
11.254.563,96	11.794.253,67	7.698.089,64	8.592.372,83	13.271.401,71	14.714.840,59	7.177.170,72	2.627.910,52	1.563.571,34	1.207.678,55
22	23	23	21	27	26	14	12	18	19
0,56	0,60	0,53	0,58	0,69	0,68	0,64	0,53	0,61	0,69
0,18	0,19	0,17	0,19	0,21	0,21	0,24	0,21	0,21	0,23
11.524.408,81		8.145.231,23		13.993.121,15		4.902.540,62		1.385.624,95	
27		24		28		19		22	
0,58		0,55		0,68		0,58		0,65	
0,19		0,18		0,21		0,23		0,22	



Tabla 10: Abundancia de las especies zooplanktonicas presentes en el embalse Pehuelas en el periodo estudiado.

Phylum	Clase	Subclase	Grupos	Orden	Familia	Especie		Abundancia por profundidad (Ind/L)	Riqueza por profundidad (n° de taxa)	Índice de Shannon H'(log <sub>10</sub> )	Equitatividad de Shannon	Abundancia promedio (Ind/L) (por estación)	Riqueza total (por estación)	Índice de Shannon H'(log <sub>10</sub> ) (por estación)	Equitatividad de Shannon (por estación)				
						Superficie	Profundidad												
						Inverno I													
						Superficie		Profundidad											
						Primavera I		Profundidad											
Crustacea	Branchiopoda	Cladocera	Anomopoda	Bosminidae	<i>Bosmina longirostris</i>	129,24	124,95	73,89	108,90	0,11	0,00	73,89	108,90	0,11	0,00				
				Daphnidae	<i>Daphnia ambigua</i>	0,00	0,09	0,00	0,00	0,11	0,00								
				Daphnidae	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	0,89	0,91	34,24	61,09	0,00	0,00								
				Moinidae	<i>Moina micrura</i>	0,12	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00								
				Chydoridae	<i>Chydorus sphaericus</i>	0,03	0,20	15,04	19,57	0,00	0,00								
				Ctenopoda	Sididae	<i>Daphanosoma chilense</i>	0,00	0,00	10,83	11,97	0,00	0,00							
				Calanoida	Diaptomidae	<i>Tumediaptomus diabolicus</i>	0,00	0,00	1,97	5,22	0,00	0,00							
						<i>Topocyclops prasinus</i>	0,00	0,12	0,05	0,46	0,00	0,00							
				Maxillopoda	Copepoda		Cyclopoidae	<i>Metacyclops mendocinus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								<i>Nauplius spp</i>	0,07	0,03	1,68	5,99	0,00	0,00					
								<i>Copepodito spp</i>	0,00	0,24	0,43	1,00	0,00	0,00					
								<i>Asplanchna brighwelli</i>	0,06	0,04	4,45	8,45	0,00	0,00					
Rotifera	Monogonta		Plotimida	Asplanchnidae	<i>Brachionus calyciflorus</i>	0,00	0,00	4,05	6,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
					<i>Keratella cochlearis</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00								
						130,41		126,75		146,64		229,43		Abundancia por profundidad (Ind/L)					
						6		10		10		11		Riqueza por profundidad (n° de taxa)					
						0,02		0,04		0,55		0,62		Índice de Shannon H'(log <sub>10</sub> )					
						0,01		0,02		0,24		0,26		Equitatividad de Shannon					
						128,58		188,03						Abundancia promedio (Ind/L) (por estación)					
						10		11						Riqueza total (por estación)					
						0,03		0,58						Índice de Shannon H'(log <sub>10</sub> ) (por estación)					
						0,02		0,25						Equitatividad de Shannon (por estación)					

Primavera II		Verano		Otoño I		Otoño II		Invierno II	
Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad	Superficie	Profundidad
242,29	125,39	24,05	7,09	83,87	193,73	64,59	69,71	5220,757	1939,20
0,00	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55,84	83,07	0,83	3,36	0,08	0,80	0,03	0,05	0,00	0,00
0,00	0,00	0,43	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,48	76,61	0,93	2,24	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00
10,64	17,76	0,61	1,65	0,63	1,60	0,21	0,00	0,00	0,00
1,87	10,40	0,85	1,95	0,11	0,48	1,31	1,55	0,00	0,00
0,05	0,00	6,40	2,83	5,63	6,40	0,05	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	41,87	33,39	1,41	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00
44,69	4,93	0,00	0,13	1,08	0,45	2,21	2,05	0,00	0,00
2,88	3,89	2,21	12,83	0,04	5,12	3,55	3,71	0,00	0,00
23,04	2,53	5,28	4,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00
6,05	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,16	0,00	0,00
0,21	0,00	0,00	0,00	2,33	1,36	0,11	0,00	0,00	0,00
394,05	325,97	83,47	72,32	95,19	211,76	72,93	77,23	5230,00	1940,00
11	9	10	12	9	9	11	6	0,00	0,00
0,53	0,63	0,59	0,75	0,24	0,17	0,23	0,18	0,00	0,00
0,22	0,29	0,25	0,30	0,11	0,08	0,10	0,10	0,00	0,00
360,01		77,89		153,47		75,08			
11		12		9		11			
0,58		0,67		0,20		0,21			
0,25		0,28		0,09		0,10			

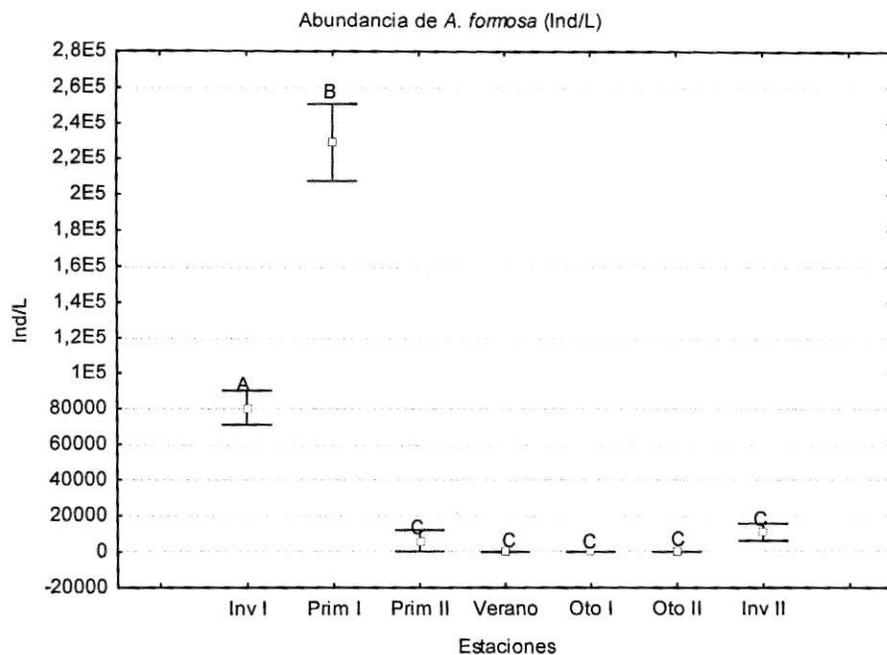
**Tabla 11:** Especies fitoplanctónicas agrupadas según su máxima dimensión lineal. Grupo 1 corresponde a organismos menores a 20  $\mu\text{m}$ , 2 a organismos menores a 30  $\mu\text{m}$ , 3 menores a 50  $\mu\text{m}$ , 4 entre 10 a 100  $\mu\text{m}$ , 5 entre 10 a 200  $\mu\text{m}$ , 6 entre 100 a 200  $\mu\text{m}$  y 7 a organismos superiores a 200  $\mu\text{m}$ .

Taxa	Promedio MDL $\pm$ DE	Grupos						
		1	2	3	4	5	6	7
<i>Navicula</i> sp	30,134 $\pm$ 3,54			x	x	x		
<i>Nitzschia acicularis</i>	117,901 $\pm$ 9,87					x	x	
<i>Nitzschia</i> spp	50,26 $\pm$ 3,24				x	x		
<i>Aulacoseira granulata</i>	119,757 $\pm$ 54,24					x	x	
<i>Cyclotella</i> sp	9,73 $\pm$ 2,32	x	x	x				
<i>Asterionella formosa</i>	88,826 $\pm$ 5,97				x	x		
<i>Fragilaria</i> sp	34,399 $\pm$ 2,84			x	x	x		
<i>Synedra</i> spp	37,427 $\pm$ 5,32			x	x	x		
<i>Chlamydomonas</i> sp	21,23 $\pm$ 5,45		x	x	x	x		
<i>Ankistrodesmus</i> sp	23,58 $\pm$ 7,86		x	x	x	x		
<i>Kirchneriella</i> sp	32,16 $\pm$ 12,16			x	x	x		
<i>Coelastrum microporum</i>	17,25 $\pm$ 3,75	x	x	x	x	x		
<i>Desmodesmus communis</i>	48,57 $\pm$ 15,32			x	x	x		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	17,45 $\pm$ 3,26	x	x	x	x	x		
<i>Scenedesmus ecornis</i>	15,17 $\pm$ 2,98	x	x	x	x	x		
<i>Monactinus simplex</i>	104,19 $\pm$ 17,84					x	x	
<i>Stauridium tetras</i>	13,67 $\pm$ 2,72	x	x	x	x	x		
<i>Tetraedron minimum</i>	13,891 $\pm$ 2,4	x	x	x	x	x		
<i>Tetraedron caudatum</i>	14,351 $\pm$ 1,58	x	x	x	x	x		
<i>Tetraedron trigonum</i>	11,03 $\pm$ 2,02	x	x	x	x	x		
<i>Chlorella</i> sp	2,87 $\pm$ 0,54	x	x	x				
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	30,65 $\pm$ 4,71			x	x	x		
<i>Oocystis</i> sp	18,62 $\pm$ 4,63	x	x	x	x	x		
<i>Botryococcus braunii</i>	62,45 $\pm$ 5,25							x
<i>Elakatrothix gelatinosa</i>	64,07 $\pm$ 5,36				x	x		
<i>Closterium acutum</i>	60,19 $\pm$ 3,87				x	x		
<i>Closterium aciculare</i>	188,91 $\pm$ 15,24					x	x	
<i>Cosmarium</i> spp	43,61 $\pm$ 10,35			x	x	x		
<i>Staurastrum johnsonii</i>	47,87 $\pm$ 3,33			x	x	x		
<i>Staurastrum paradoxum</i>	49,54 $\pm$ 2,54			x	x	x		
<i>Staurodesmus cuspidatus</i>	35,6 $\pm$ 3,25			x	x	x		
<i>Chroococcus</i> sp	12,58 $\pm$ 2,36	x	x	x	x	x		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	352,82 $\pm$ 58,69							x
<i>Dolichospermum planctonicum</i>	285,02 $\pm$ 78,89							x
<i>Ceratium hirundinella</i>	200,40 $\pm$ 4,63							x
<i>Peridinium</i> sp	30,95 $\pm$ 5,14			x	x	x		
<i>Cryptomonas</i> spp	13,81 $\pm$ 2,32	x	x	x	x	x		

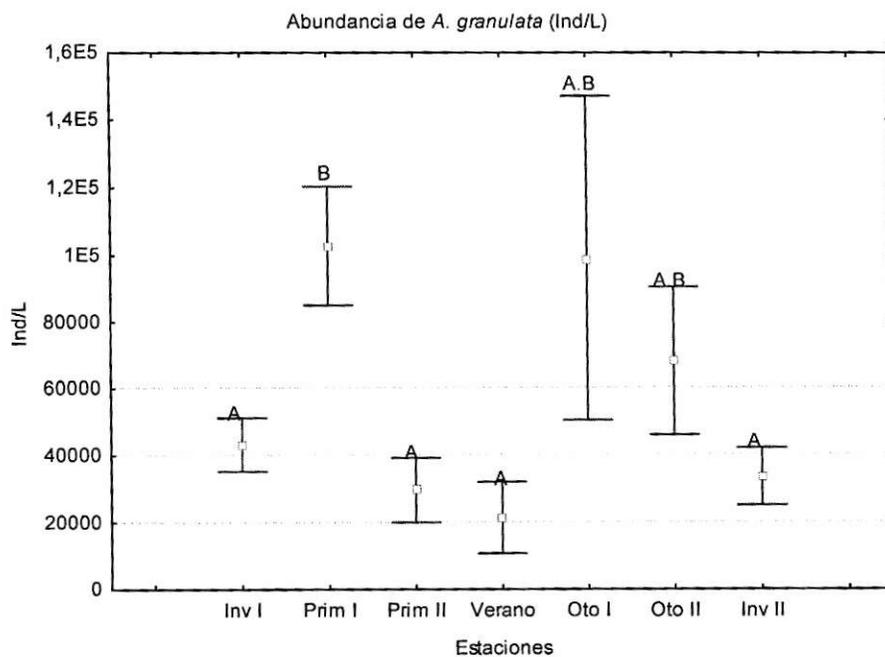
**Tabla 12:** Especies zooplanctónicas agrupadas según su máxima dimensión lineal (MDL). Microzooplancton corresponde a organismos menores a 200  $\mu\text{m}$ , mesozooplancton a organismos entre 200 y 500  $\mu\text{m}$  y macrozooplancton a organismos mayores s 500  $\mu\text{m}$ .

Clase	Especies	MDL $\pm$ DE	Microzooplancton	Mesozooplancton	Macrozooplancton
Branquiopoda	<i>Bosmina longirostris</i>	393,03 $\pm$ 36,54		x	
	<i>Daphnia ambigua</i>	673,47 $\pm$ 49,98			x
	<i>Diaphanosoma chilense</i>	610,54 $\pm$ 67,66			x
	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	481,49 $\pm$ 72,82		x	
	<i>Chydorus sphaericus</i>	232,03 $\pm$ 84,01			
	<i>Moina micrura</i>	910 $\pm$ 32,54			x
Maxillopoda	<i>Tumeodiaptomus diabolicus</i>	863,21 $\pm$ 75,38			x
	<i>Tropocyclops prasinus</i>	391,41 17,63		x	
	<i>Metacyclops mendocinus</i>	432,71 $\pm$ 82,89		x	
	<i>Nauplius spp</i>	183,99 $\pm$ 9,68	x		
	<i>Copepodito spp</i>	279,88 $\pm$ 91,23		x	
Monogonta	<i>Asplanchna brightwelli</i>	352,62 $\pm$ 59,96		x	
	<i>Brachionus calyciflorus</i>	279,32 $\pm$ 19,78		x	
	<i>Keratella cochlearis</i>	84,73 $\pm$ 5,13	x		

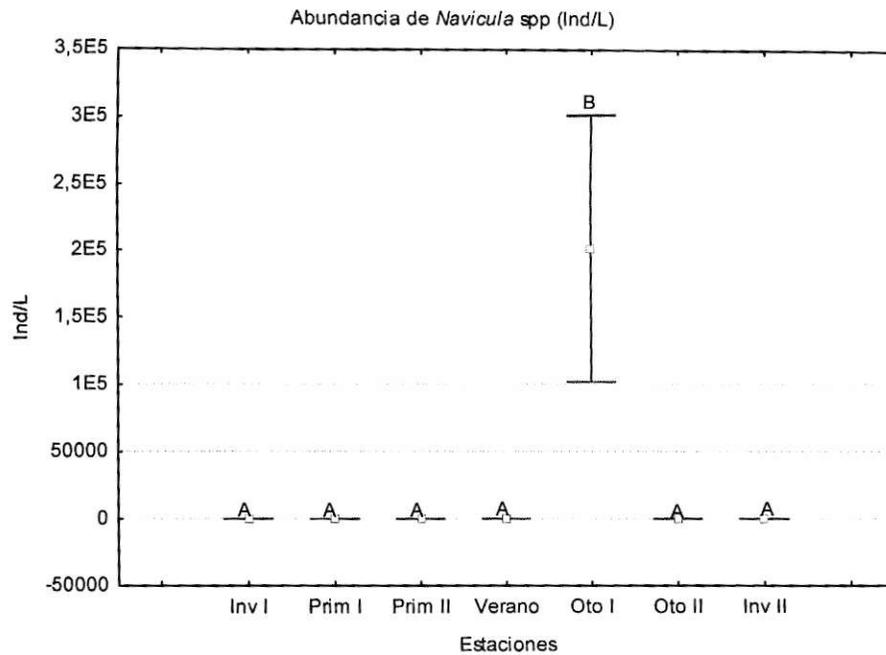
Especies fitoplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor estación según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:



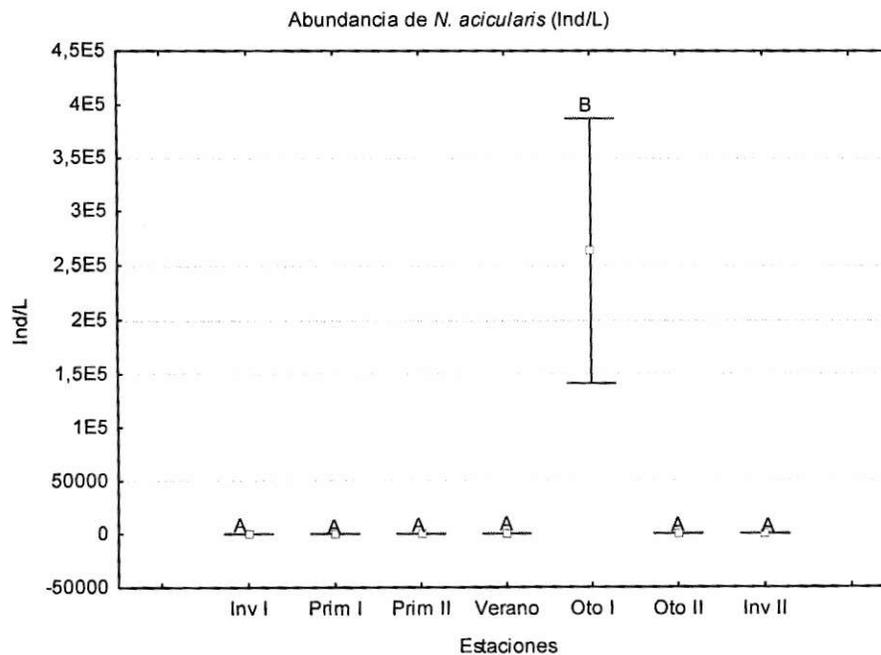
**Figura 24:** Valores promedio de abundancia de *A. formosa*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



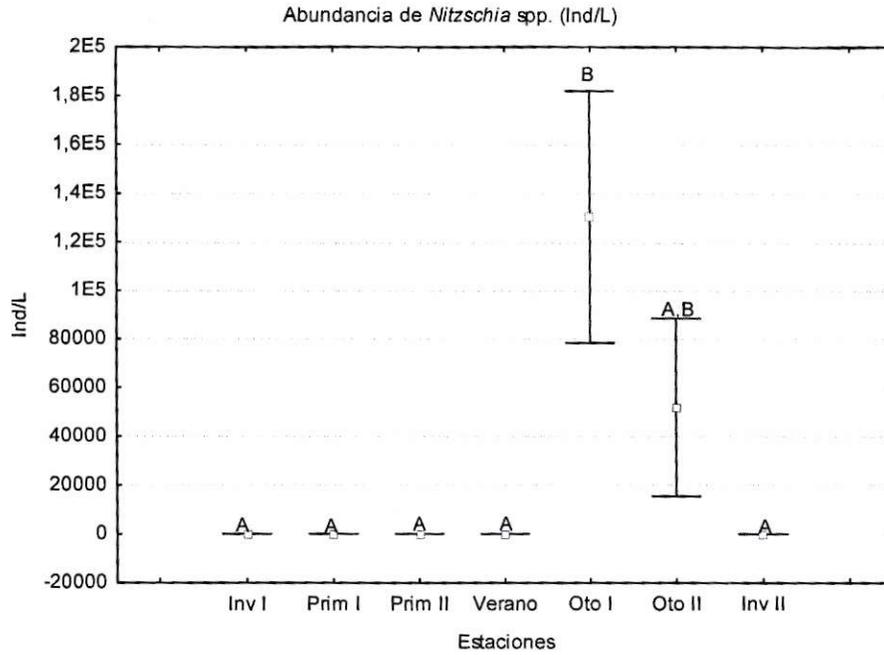
**Figura 25:** Valores promedio de abundancia de *A. granulata*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



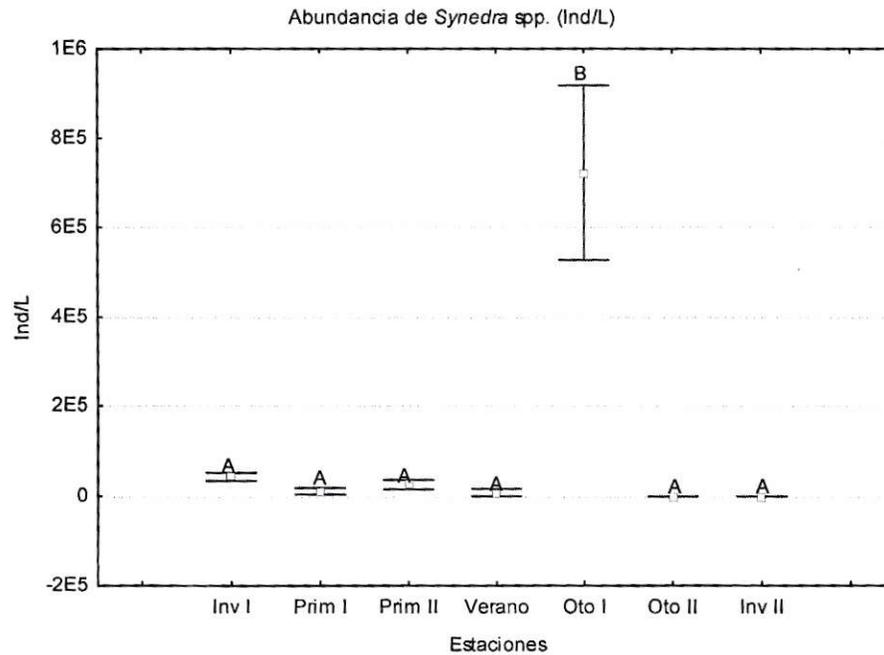
**Figura 26:** Valores promedio de abundancia de *Navicula* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



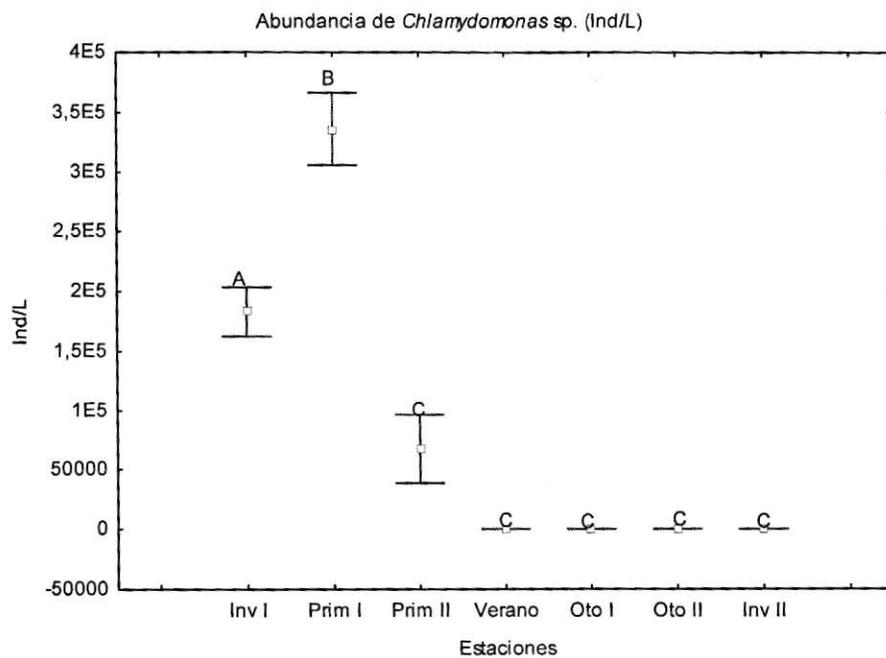
**Figura 27:** Valores promedio de abundancia de *N. acicularis*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



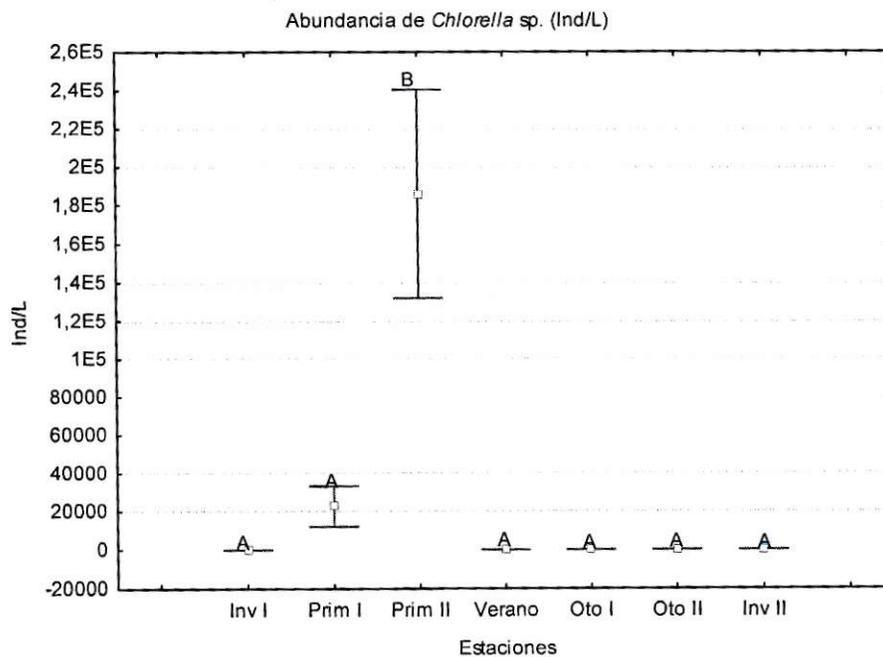
**Figura 28:** Valores promedio de abundancia de *Nitzschia* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



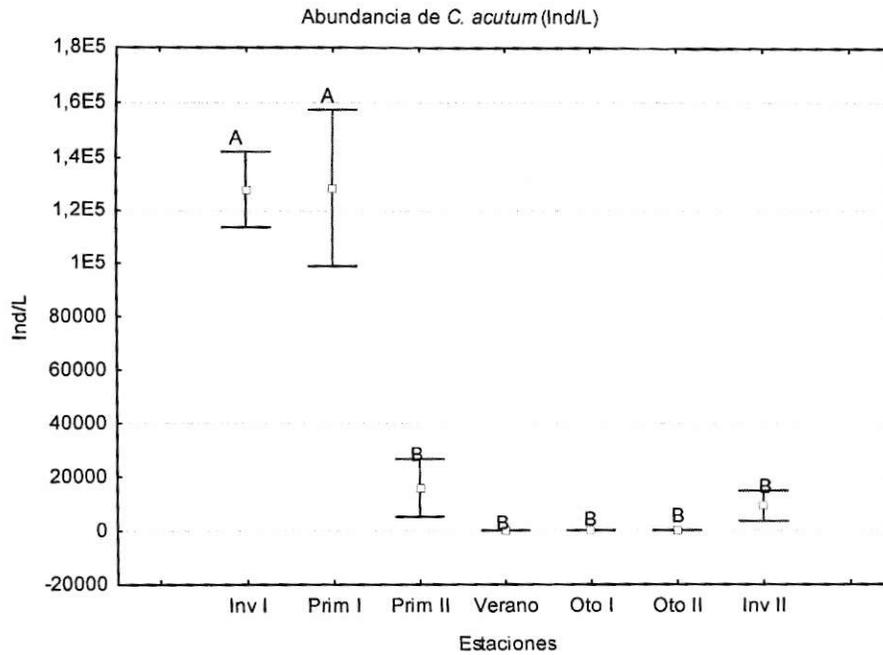
**Figura 29:** Valores promedio de abundancia de *Synedra* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



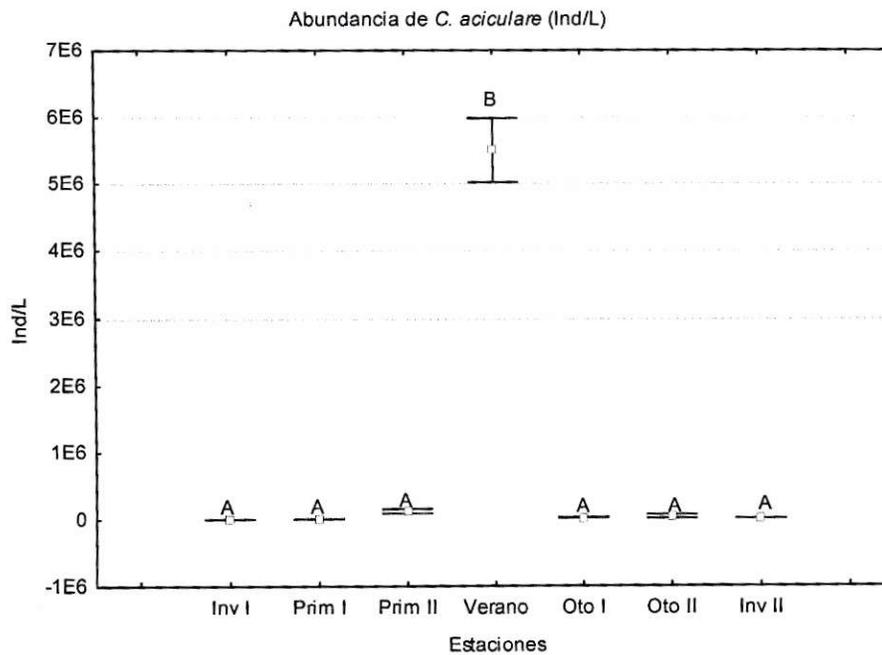
**Figura 30:** Valores promedio de abundancia de *Chlamydomonas* sp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



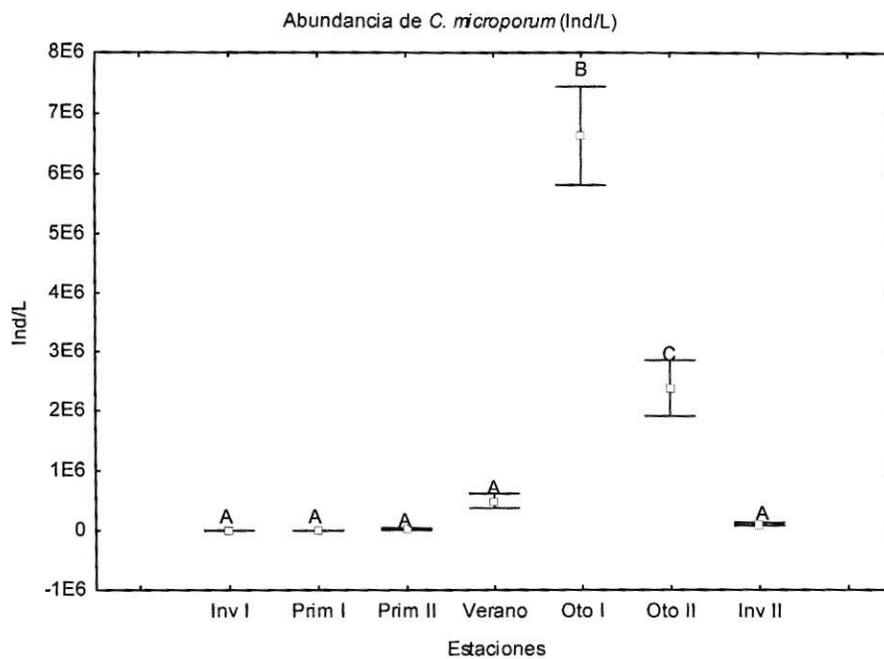
**Figura 31:** Valores promedio de abundancia de *Chlorella* sp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



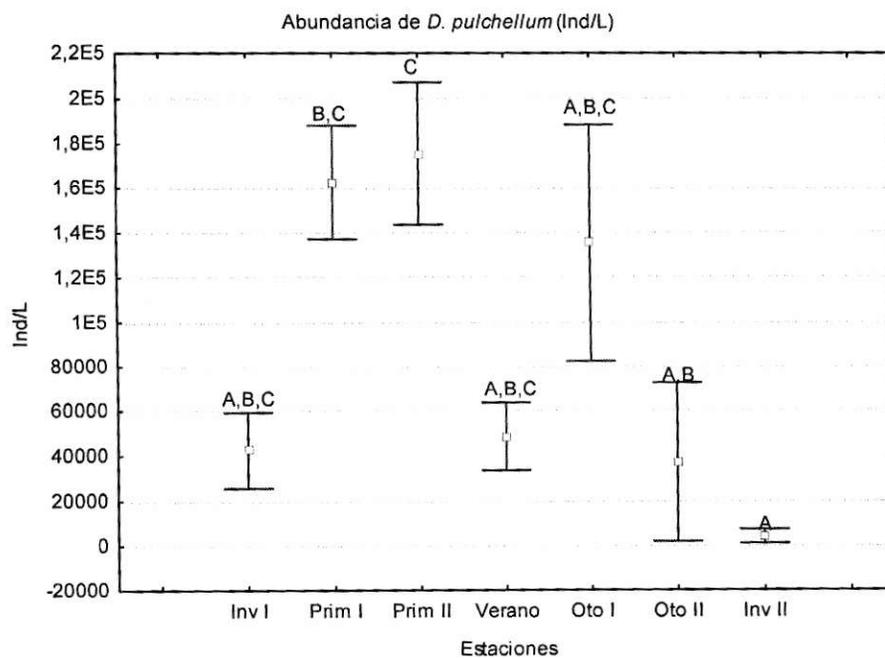
**Figura 32:** Valores promedio de abundancia de *C. acutum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



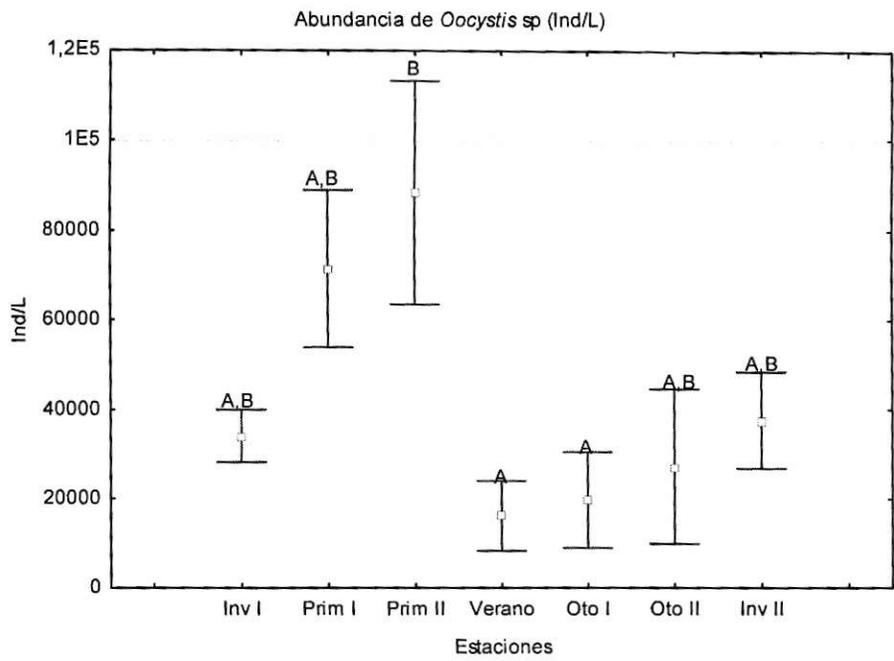
**Figura 33:** Valores promedio de abundancia de *C. aciculare*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



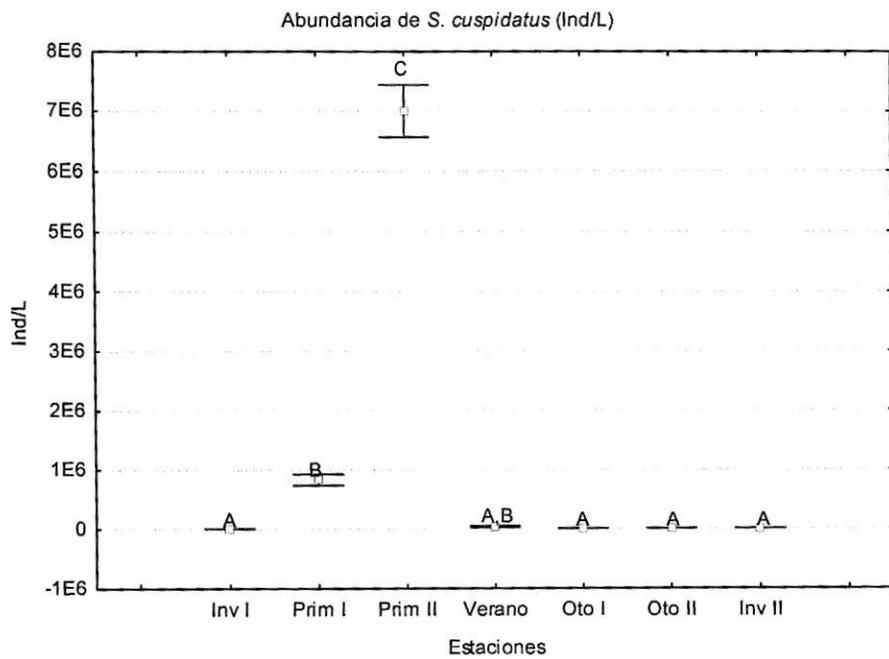
**Figura 34:** Valores promedio de abundancia de *C. microporum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



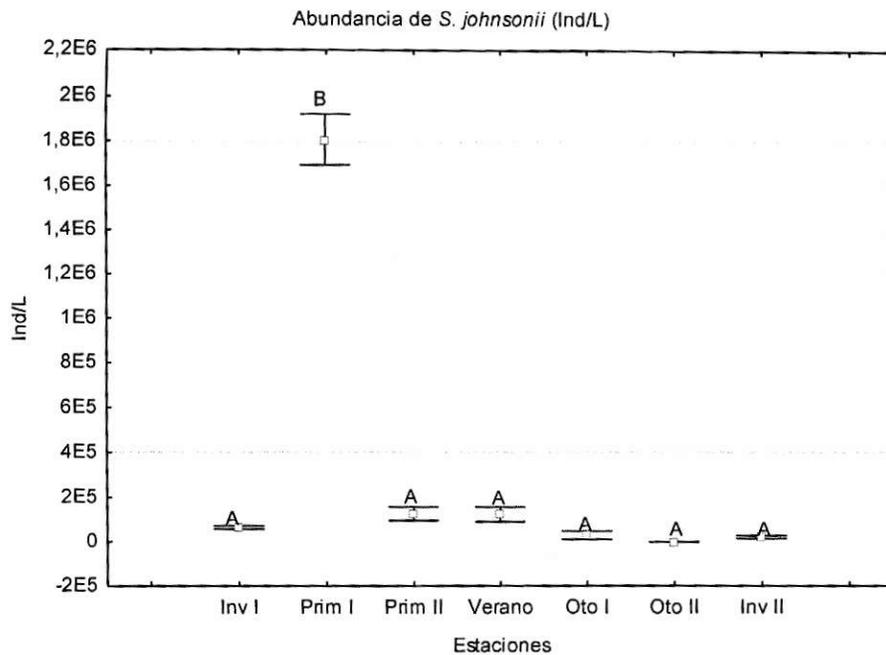
**Figura 35:** Valores promedio de abundancia de *D. pulchellum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



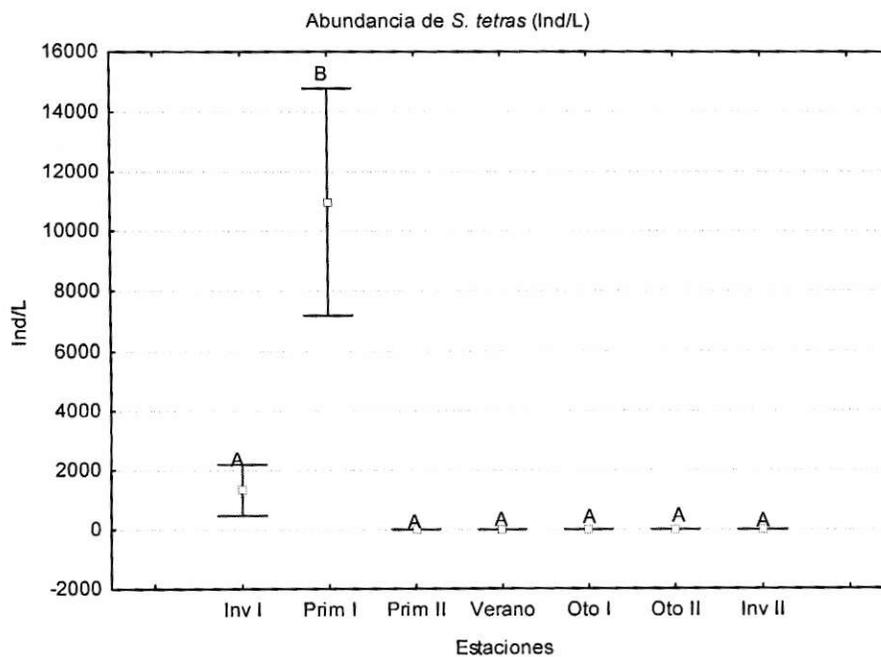
**Figura 36:** Valores promedio de abundancia de *Oocystis* sp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



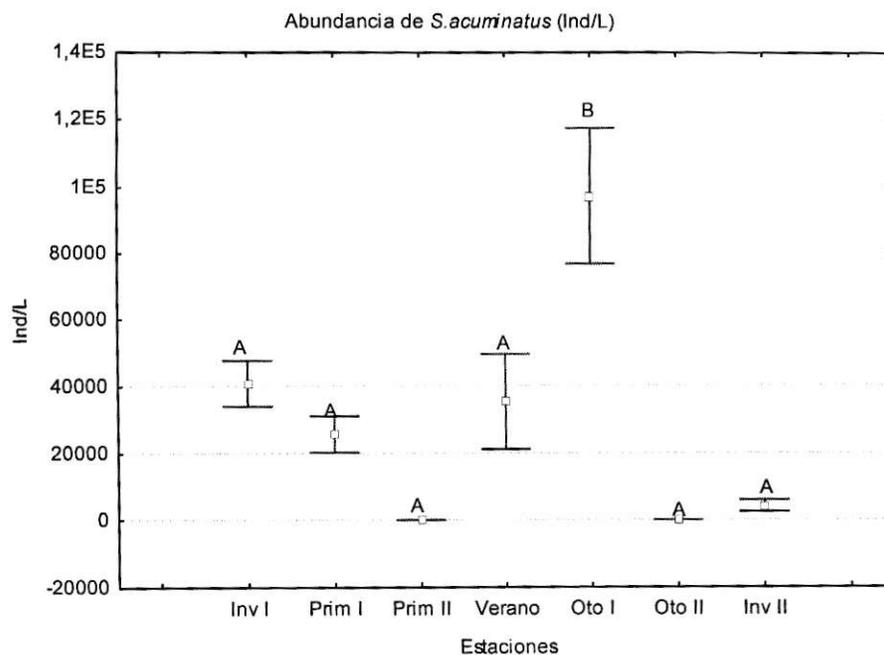
**Figura 37:** Valores promedio de abundancia de *S. cuspidatus* Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



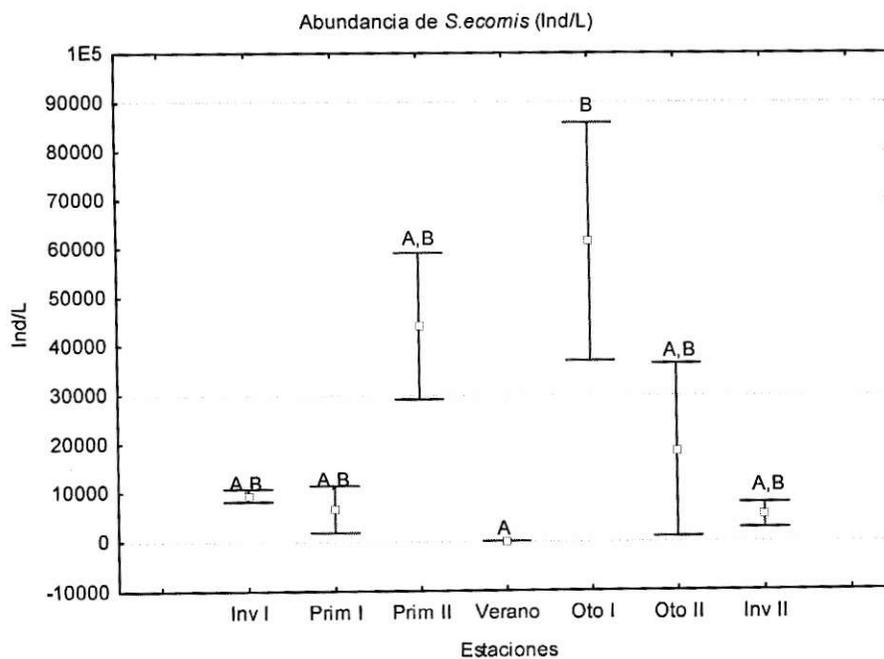
**Figura 38:** Valores promedio de abundancia de *S. johnsonii*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



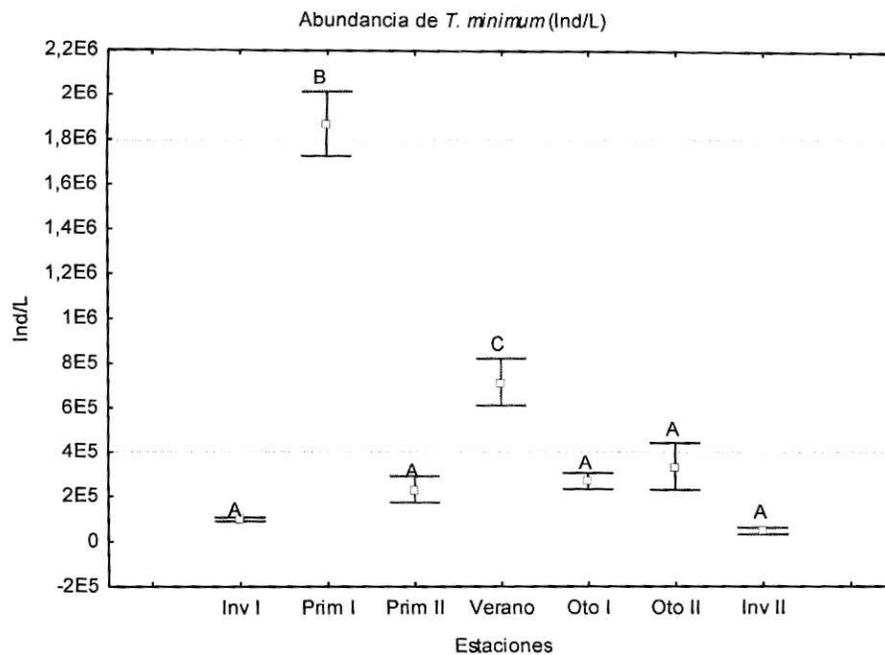
**Figura 39:** Valores promedio de abundancia de *P. tetras*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



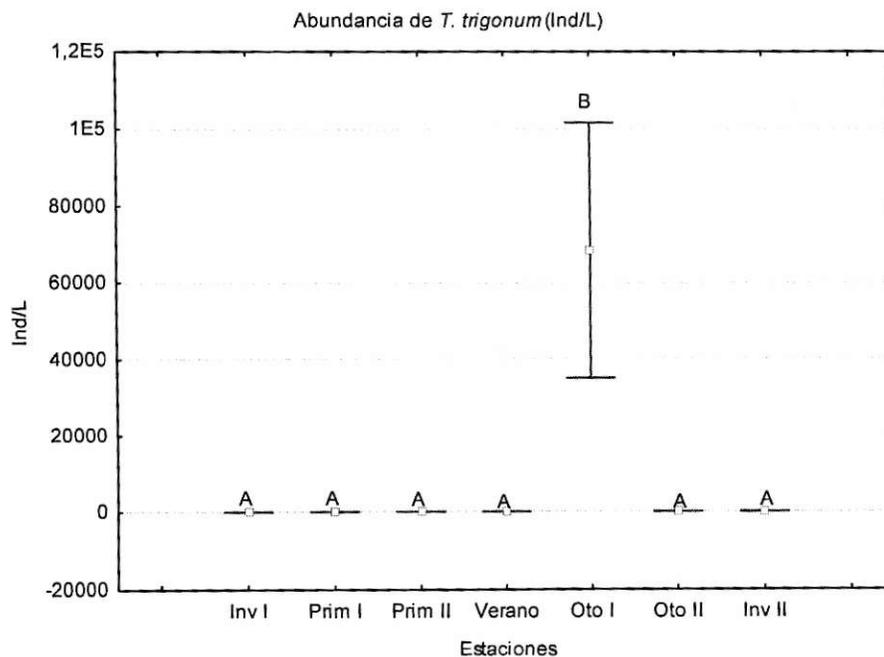
**Figura 40:** Valores promedio de abundancia de *S. acuminatus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



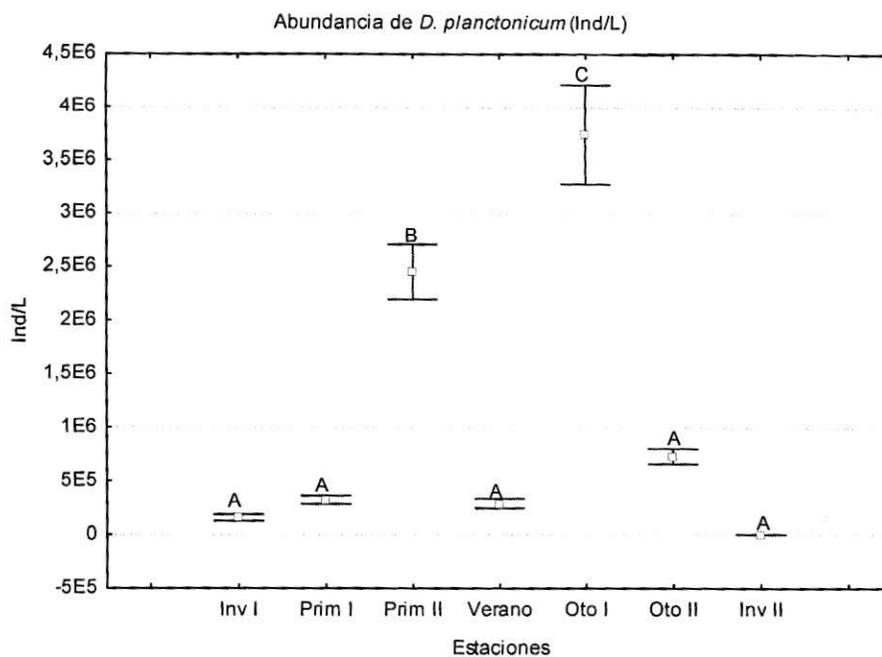
**Figura 41:** Valores promedio de abundancia de *S. ecomis*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



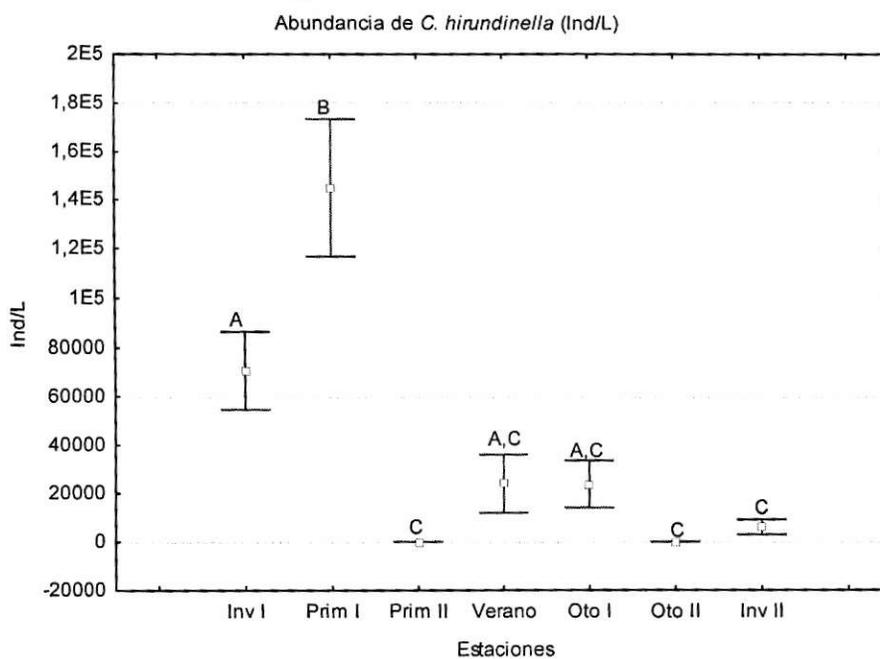
**Figura 42:** Valores promedio de abundancia de *T. minimum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas



**Figura 43:** Valores promedio de abundancia de *T. trigonum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas

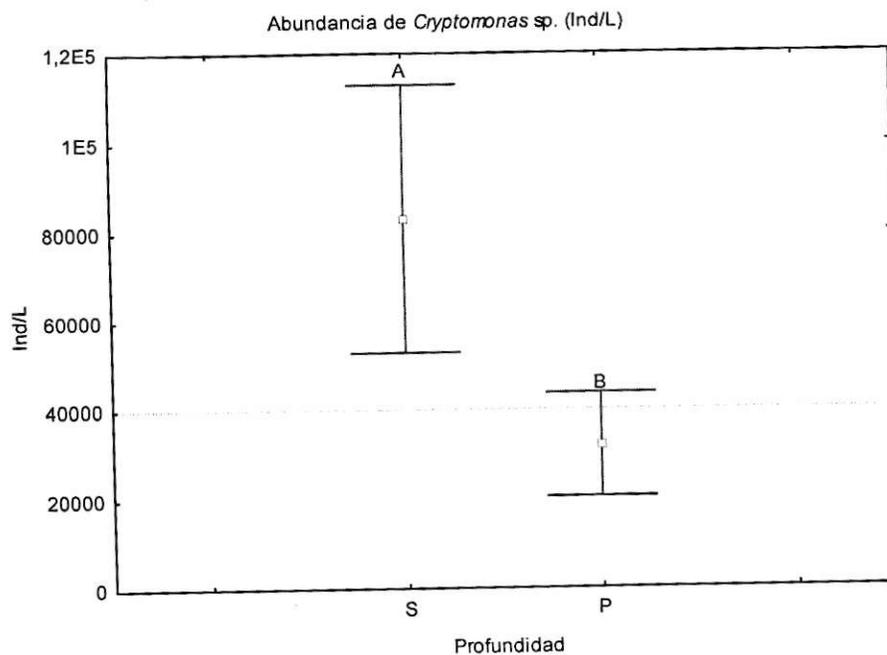


**Figura 44:** Valores promedio de abundancia de *D. planctonicum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas

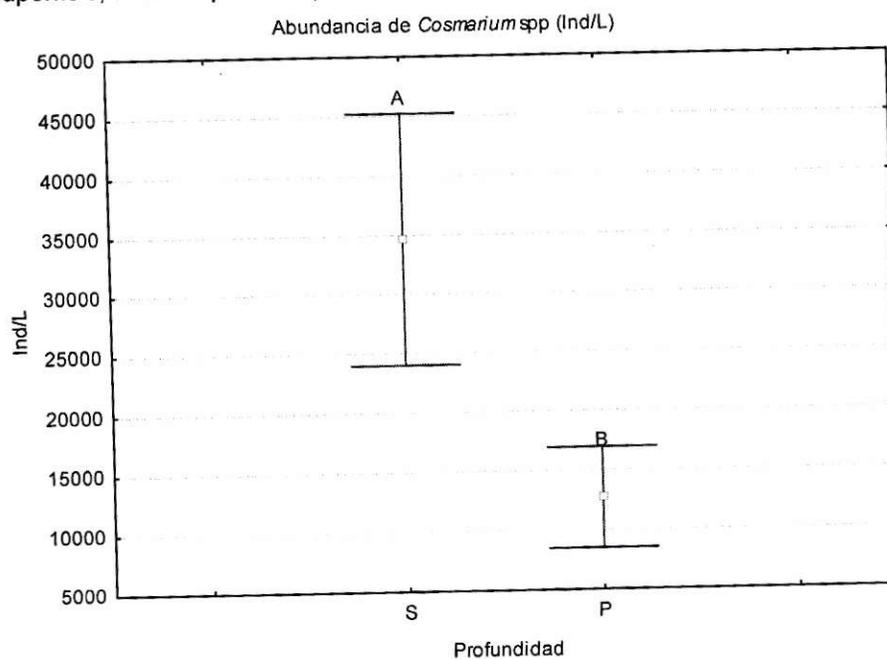


**Figura 45:** Valores promedio de abundancia de *C. hirundinella*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas

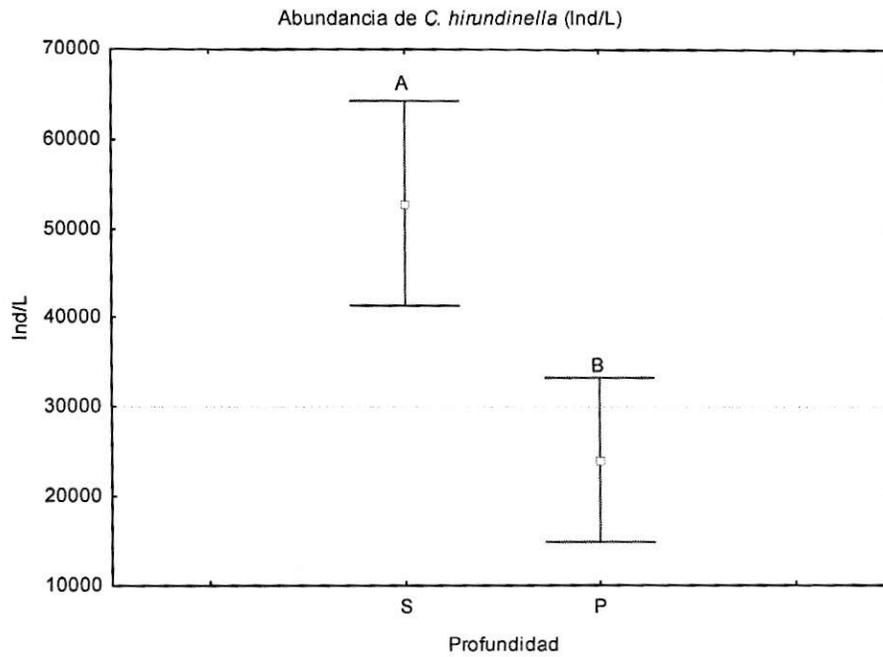
Especies fitoplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor profundidad según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:



**Figura 46:** Valores promedio de abundancia de *Cryptomonas* sp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las profundidades estudiadas, S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

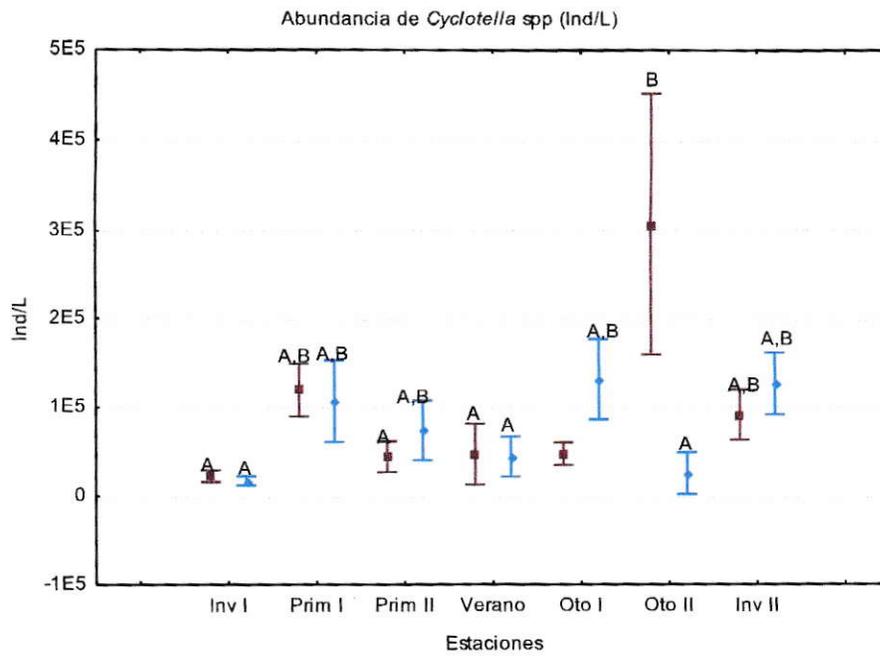


**Figura 47:** Valores promedio de abundancia de *Cosmarium* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las profundidades estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

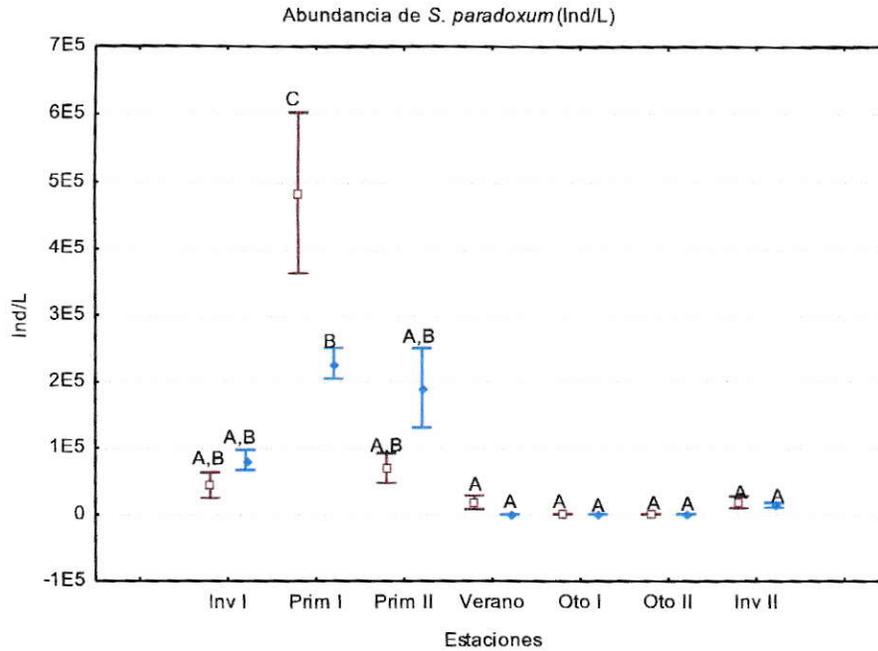


**Figura 48:** Valores promedio de abundancia de *C. hirundinella* Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las profundidades estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

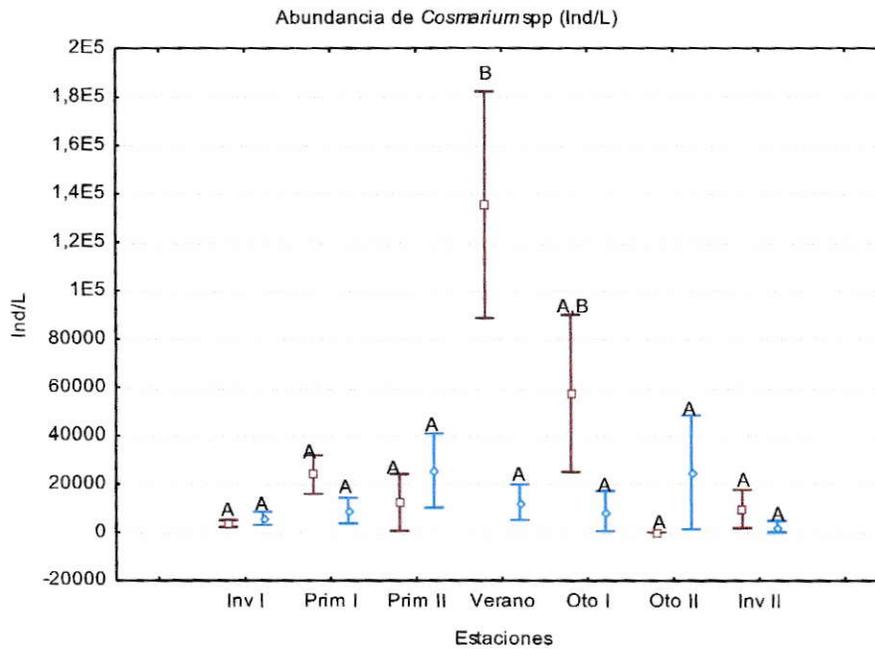
Especies fitoplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor relación entre estación y profundidad según el ANDEVA de dos vías con permutaciones.



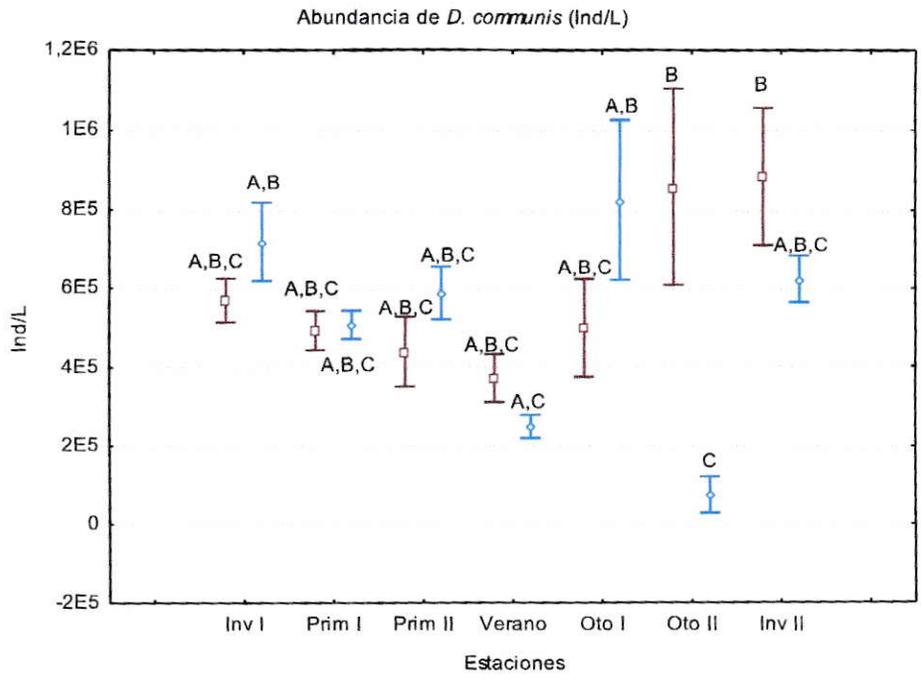
**Figura 49:** Valores promedio de abundancia de *Cyclotella* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones y profundidades estudiadas. Rojo corresponde a superficie, Azul corresponde a profundidad.



**Figura 50:** Valores promedio de abundancia de *S. paradoxum*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones y profundidades estudiadas. Rojo corresponde a superficie, azul corresponde a profundidad.

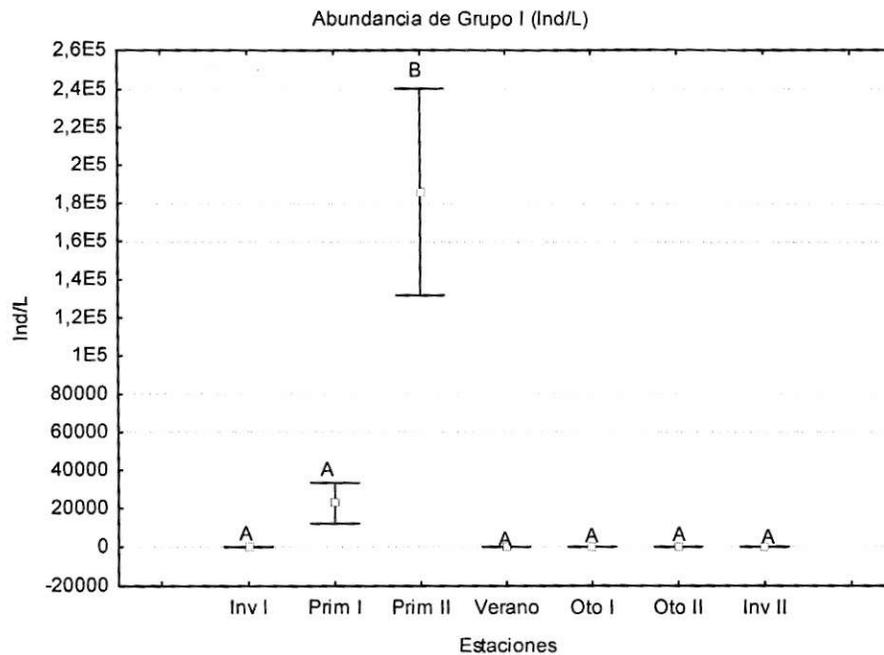


**Figura 51:** Valores promedio de abundancia de *Cosmarium* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones y profundidades estudiadas. Rojo corresponde a superficie, azul corresponde a profundidad.

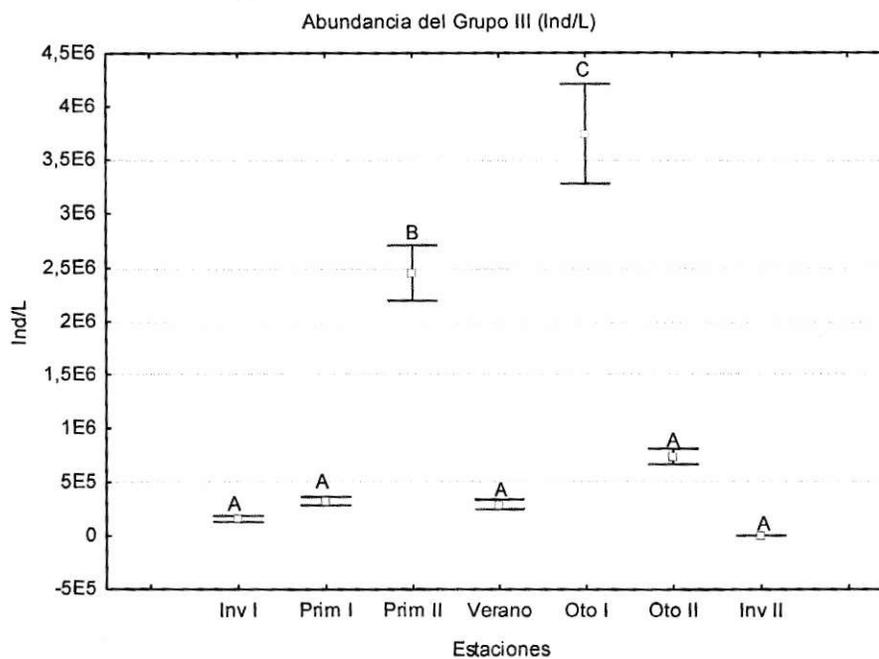


**Figura 52:** Valores promedio de abundancia de *D. communis*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones y profundidades estudiadas. Rojo corresponde a superficie, azul corresponde a profundidad

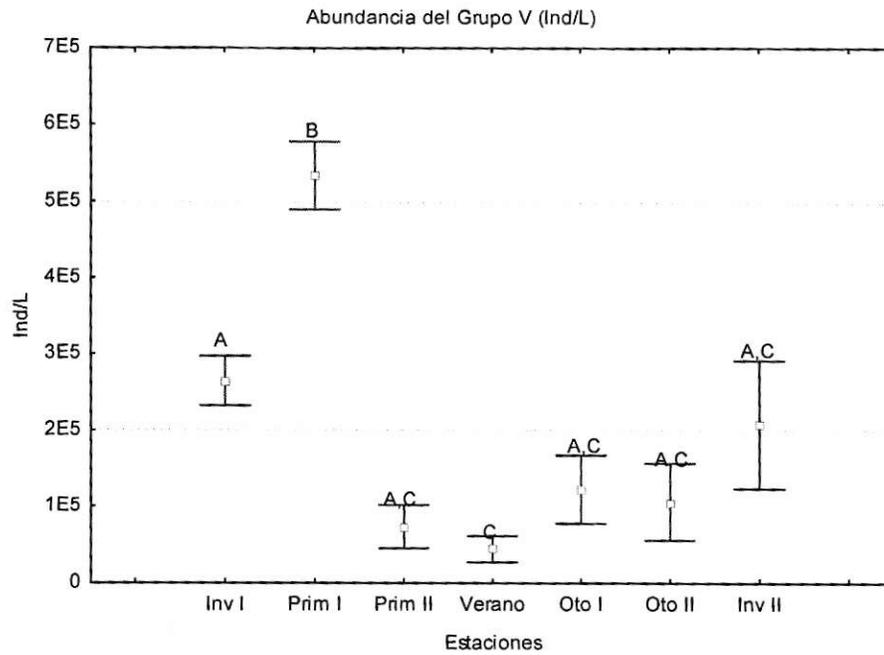
Especies fitoplanctónicas agrupadas según GFBM sobre las que tiene efecto el factor estación según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:



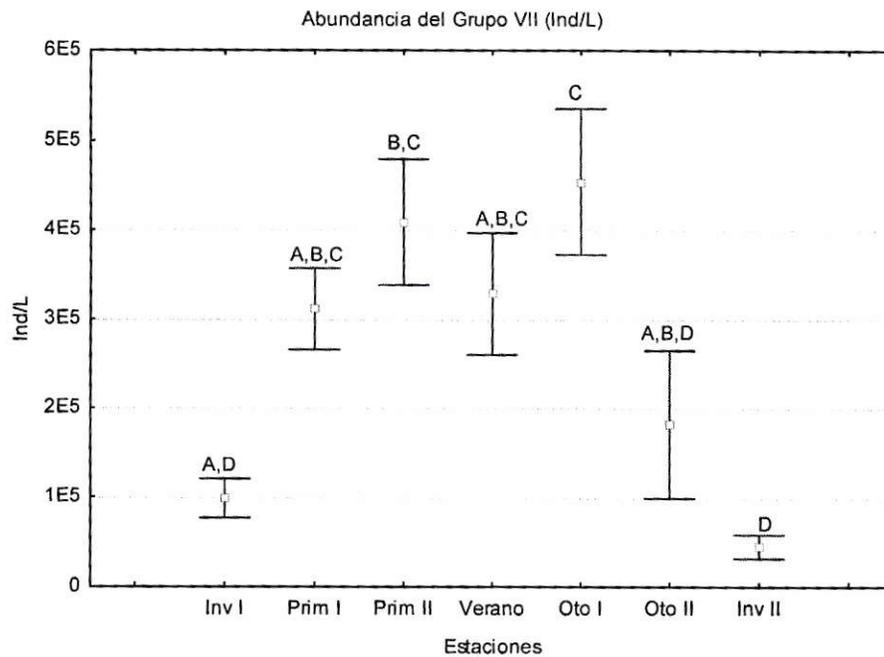
**Figura 53:** Valores promedio de abundancia de Grupo I. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



**Figura 54:** Valores promedio de abundancia de Grupo III. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

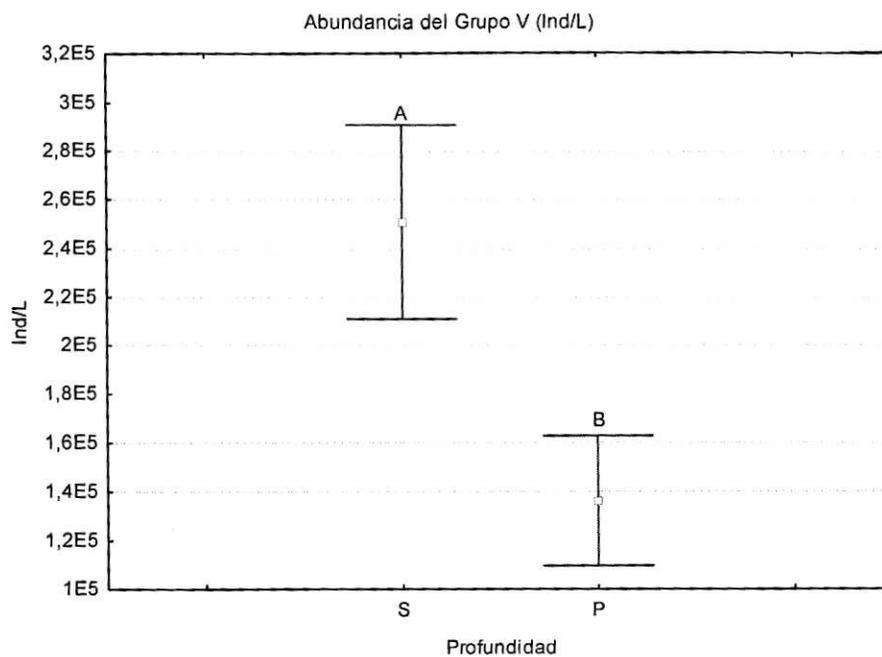


**Figura 55:** Valores promedio de abundancia de Grupo V. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



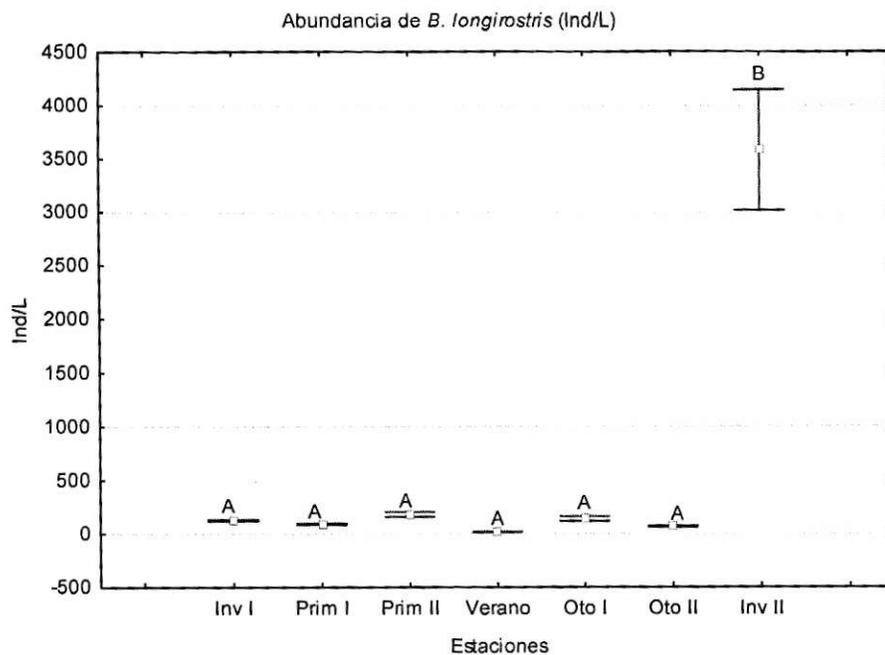
**Figura 56:** Valores promedio de abundancia de Grupo VII. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

Especies fitoplanctónicas agrupadas según GFBM sobre las que tiene efecto el factor profundidad según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:

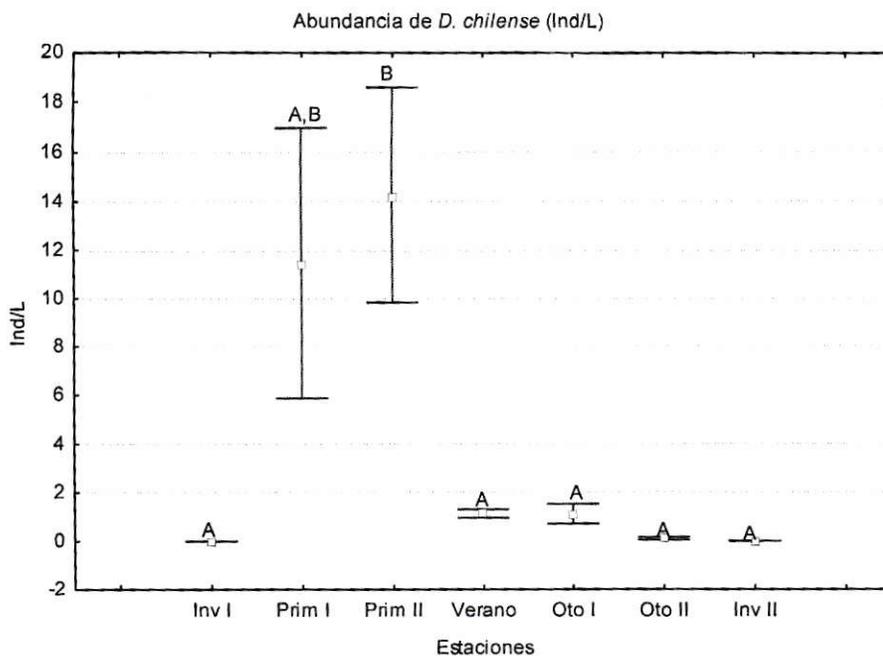


**Figura 571:** Valores promedio de abundancia de Grupo V. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

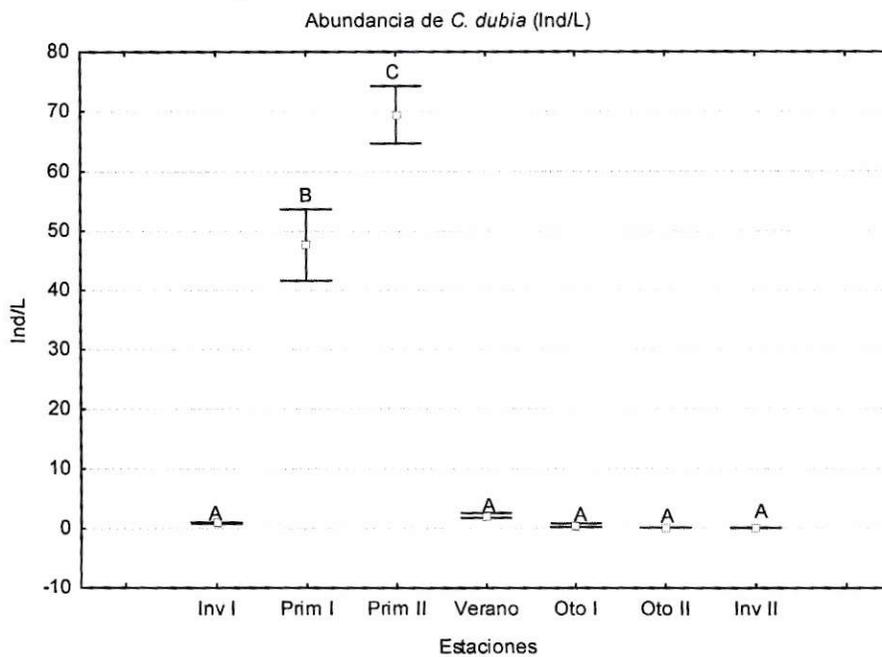
Especies zooplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor estación según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:



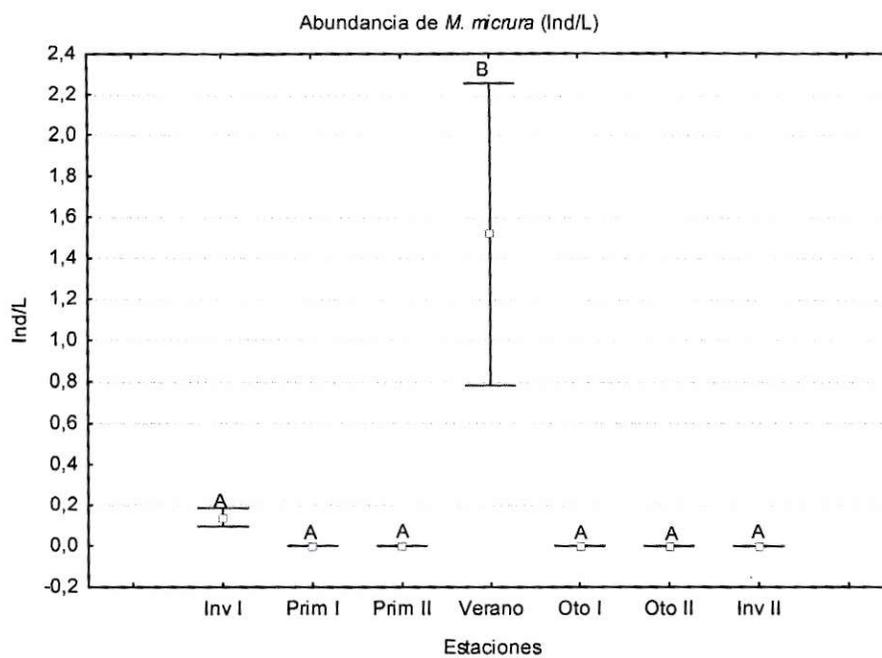
**Figura 58:** Valores promedio de abundancia de *B. longirostris*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



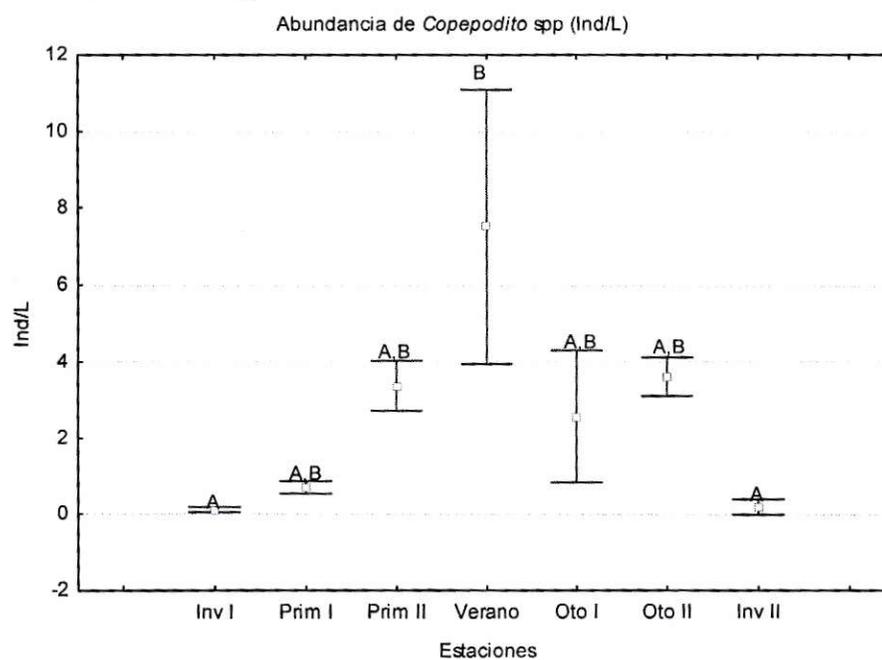
**Figura 59:** Valores promedio de abundancia de *D. chilense*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



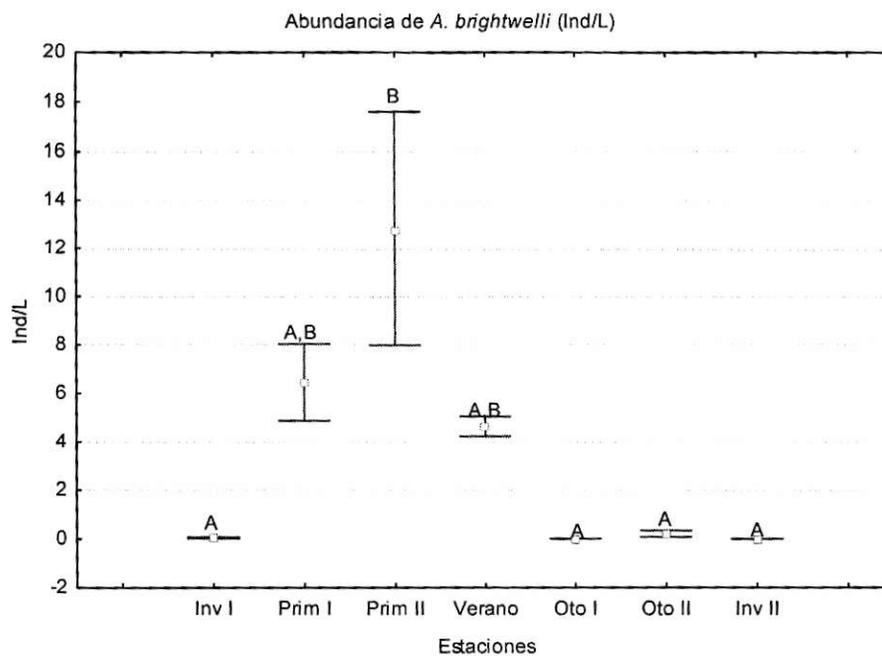
**Figura 60:** Valores promedio de abundancia de *C. dubia*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



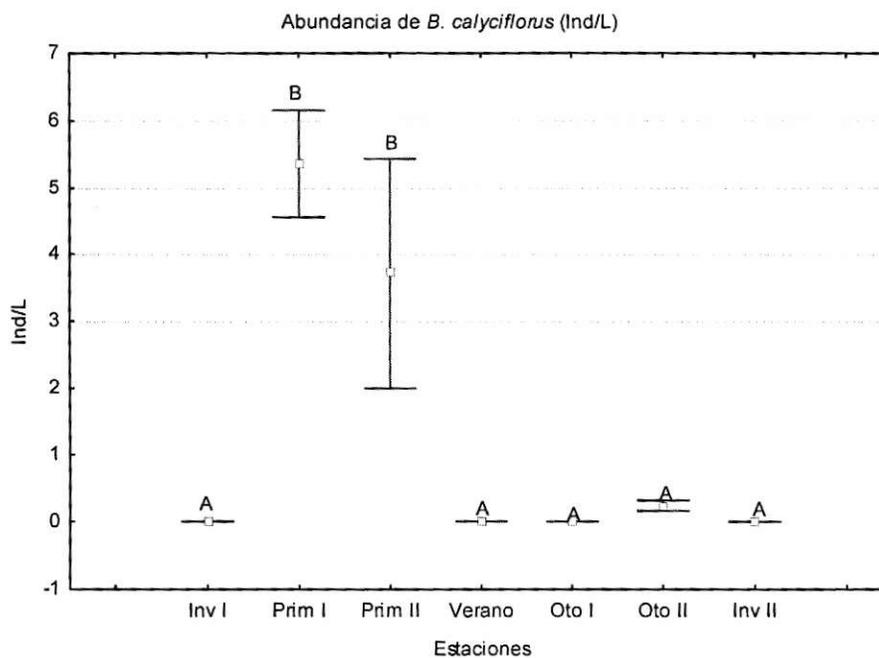
**Figura 61:** Valores promedio de abundancia de *M. micrura*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



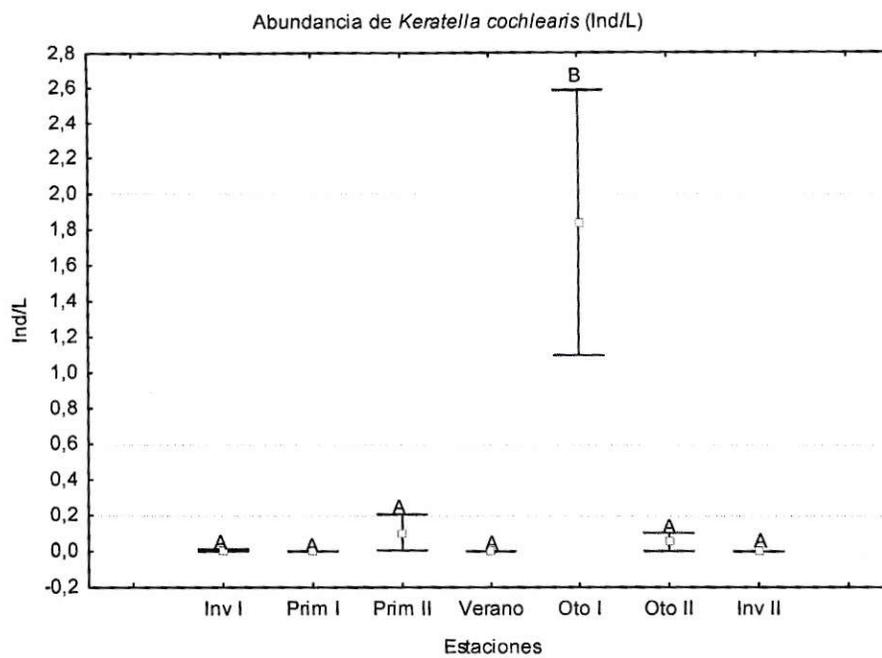
**Figura 62:** Valores promedio de abundancia de *Copepodito* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



**Figura 63:** Valores promedio de abundancia de *A. brightwelli*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

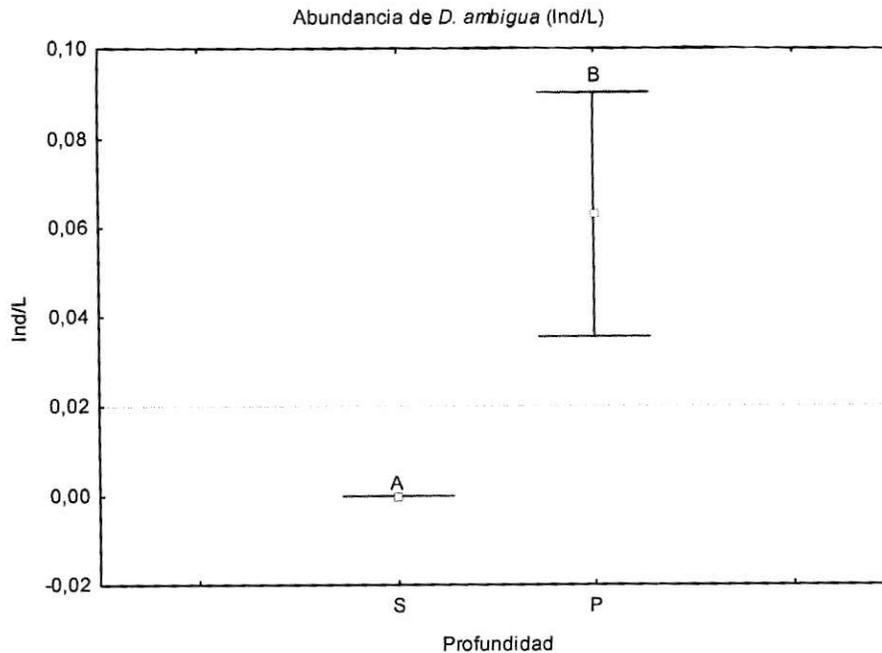


**Figura 64:** Valores promedio de abundancia de *B. calyciflorus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

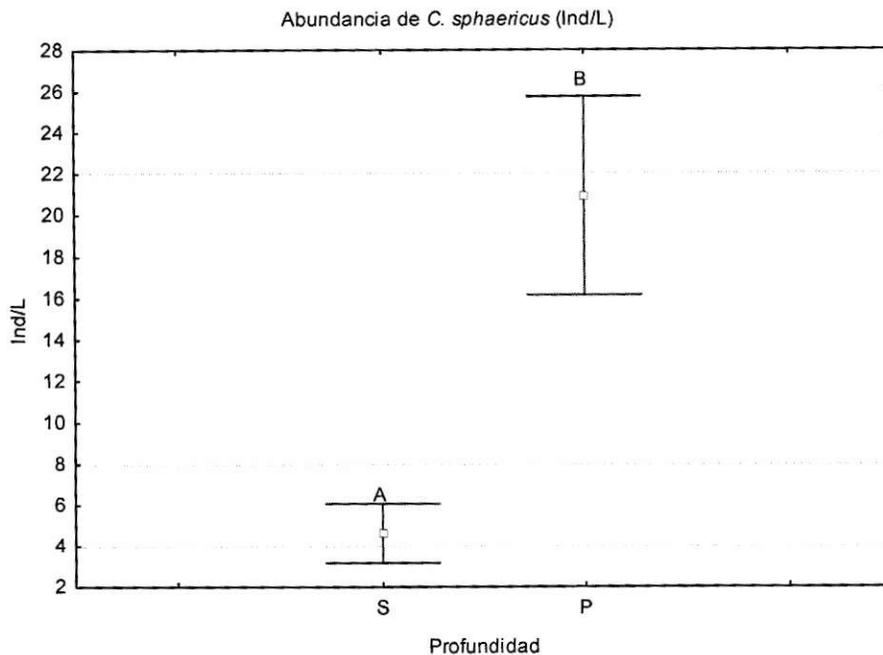


**Figura 65:** Valores promedio de abundancia de *K. cochlearis*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.

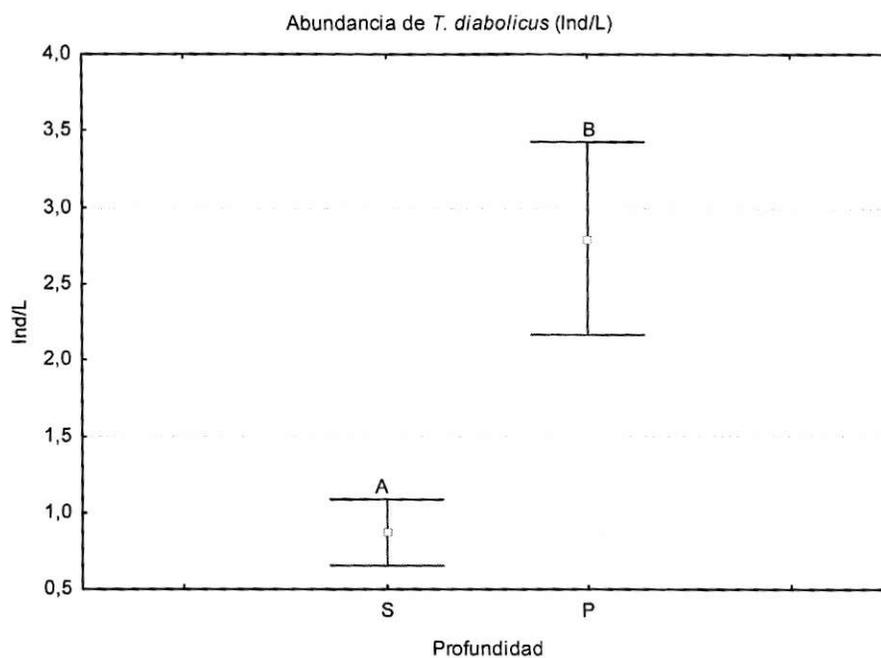
Especies zooplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor profundidad según el ANDEVA de dos vías con permutaciones:



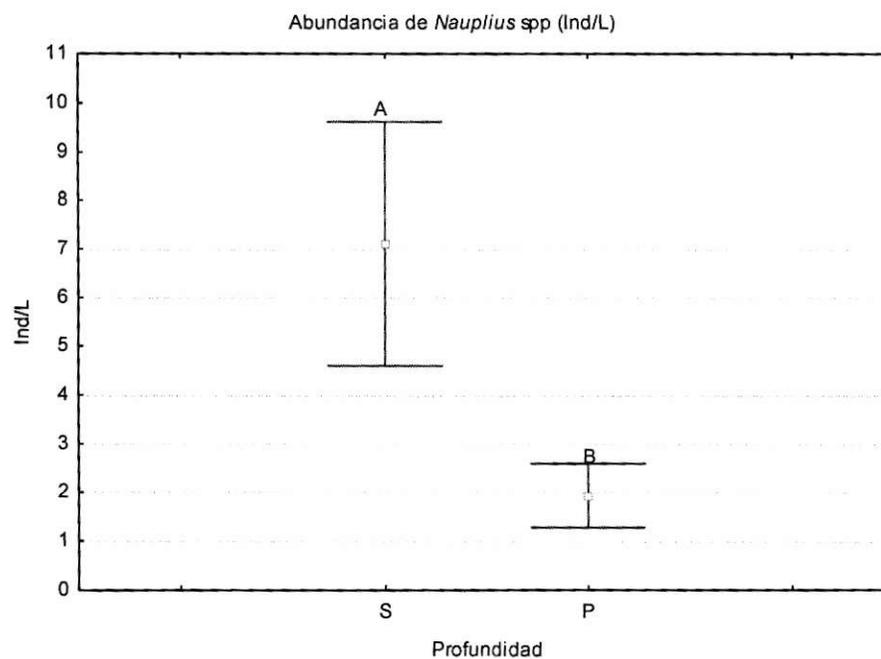
**Figura 66:** Valores promedio de abundancia de *D. ambigua*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad.



**Figura 67:** Valores promedio de abundancia de *C. sphaericus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

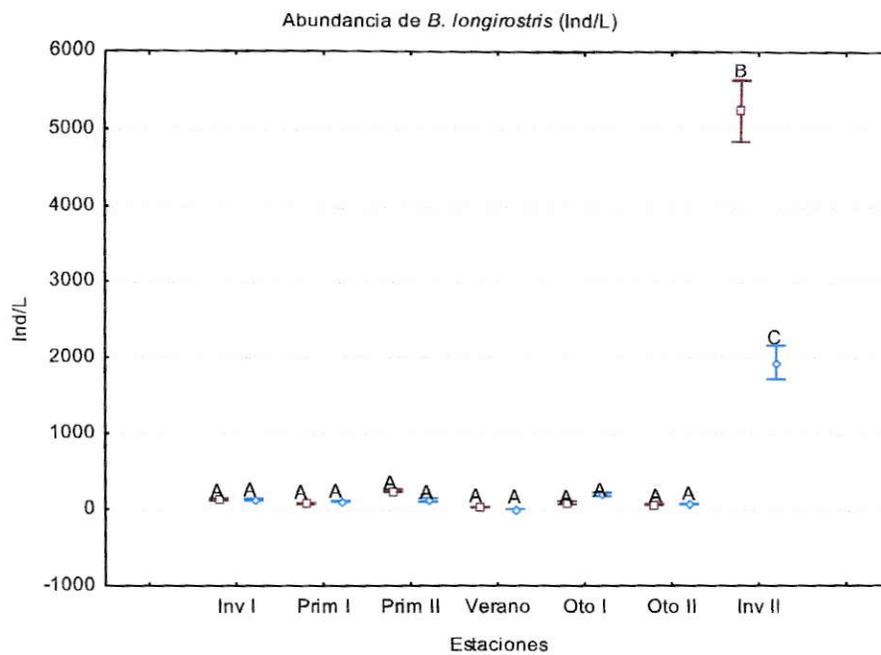


**Figura 68:** Valores promedio de abundancia de *T. diabolicus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

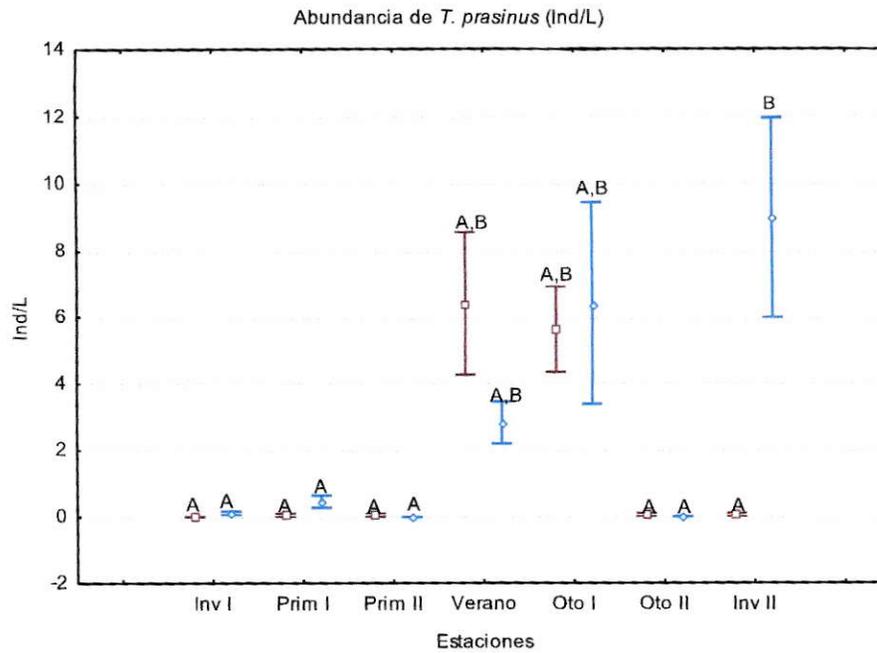


**Figura 69:** Valores promedio de abundancia de *Nauplius* spp. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas. S corresponde a superficie, P corresponde a profundidad

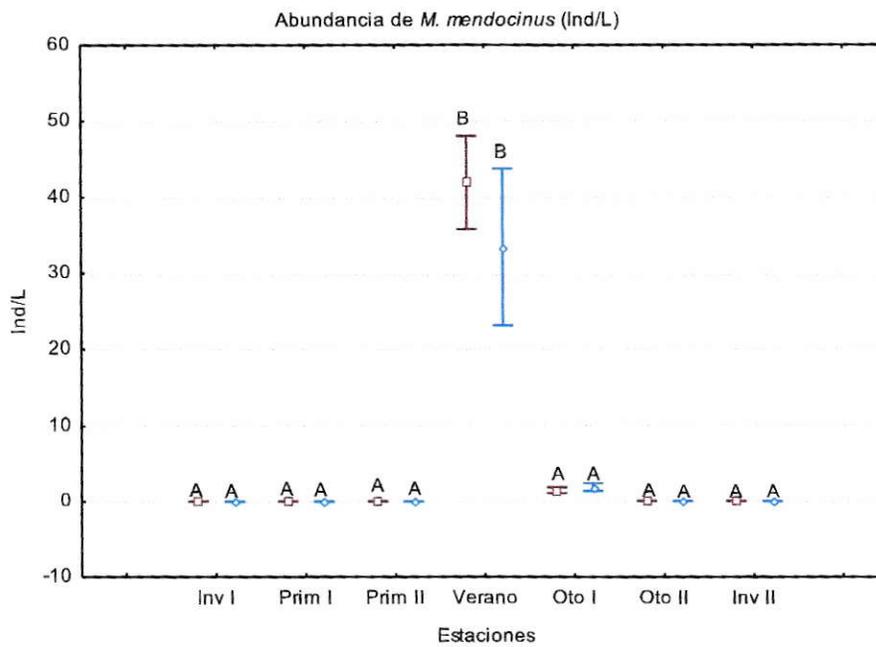
Especies zooplanctónicas sobre las que tiene efecto el factor relación entre estación y profundidad según el ANDEVA de dos vías con permutaciones.



**Figura 70:** Valores promedio de abundancia de *B. longirostris*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



**Figura 71:** Valores promedio de abundancia de *T. prasinus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.



**Figura 72:** Valores promedio de abundancia de *M. mendocinus*. Letras diferentes en barras de error indican diferencias significativas entre las estaciones estudiadas.