

UCH-FC
B Ambiental
G 6435
C-I

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

SÍLICE (SiO_2) EN EL EMBALSE PEÑUELAS (V REGIÓN, CHILE).
¿LIMITANTE PARA EL CRECIMIENTO DE DIATOMEAS?

Seminario de Título
Entregado a la
Universidad de Chile
en cumplimiento parcial de los requisitos
para optar al Título de

BIÓLOGO CON MENCIÓN EN MEDIO AMBIENTE

Por

Claudia Alejandra González González

Marzo, 2008

Santiago-Chile



Director de Seminario de Título: Profesora Irma Vila Pinto.



SÍLICE (SiO₂) EN EL EMBALSE PEÑUELAS (V REGIÓN, CHILE). ¿LIMITANTE PARA EL CRECIMIENTO DE DIATOMEAS?

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Biólogo con Mención en medio Ambiente.

CLAUDIA ALEJANDRA GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Prof. M.C.s Irma Vila Pinto
Directora Seminario de Título

Comisión de Evaluación Seminario de Título

Dr. David Véliz Baeza
Presidente de la Comisión

Dr. Italo Serey Estay
Evaluador



SANTIAGO, _____ de 2008

FOTO Y RESEÑA



Datos personales:

Nombre: Claudia Alejandra González González.

Fecha de nacimiento: 19 de octubre de 1979.

Nacionalidad: Chilena.

Estado civil: Soltera.

Domicilio: 26 de enero 1252, Puente Alto.

E-mail: claudia_aguas@yahoo.es

Antecedentes académicos:

Estudios secundarios: Liceo A-43 de Providencia (Liceo 7 de niñas), Santiago, Región Metropolitana.

Estudios superiores: Licenciatura en Ciencias Ambientales con Mención en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile. Egreso 2005.

Actividades académicas actualmente en curso:

Seminario de título: Sílice (SiO_2) en el embalse Peñuelas (V región, Chile). ¿Limitante para el crecimiento de diatomeas? (actualmente en proceso de revisión).

Magíster en Ciencias biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.

Antecedentes profesionales:

Práctica realizada en la empresa FISHING PARTNERS LTDA. Puerto Montt.



Agradecimientos

Con las siguientes palabras espero agradecer a todas las personas que me apoyaron, de distintas formas, para lograr el desarrollo de este trabajo.

Comienzo por la profesora Irma Vila, a la cual le agradezco la orientación, apoyo y disposición a trabajar conmigo. Agradezco también a todos los que trabajan en el laboratorio de Limnología.

Mis más sinceros agradecimientos a mis amigas, que me acompañaron en todo este largo proceso de vida universitaria y en especial a Tania, por sus tiradas de orejas y a la Verito por su gran ayuda en la realización de las fotos y por su apoyo y comprensión en mis días negros.

Por último, y no por eso menos importante, quiero agradecer a mi familia, a mi Tata, a mi Mamí Tina, a mi Mamí Chabel y a mi hermana, la Andy, que siempre me han apoyado incondicionalmente en todo lo que emprendo en esta vida y que son el puerto donde me resguardo durante la tempestad.

Papi gracias por todo, lo logré.



ÍNDICE

	Nº de Página
Resumen.	8
Abstract.	9
1.- Introducción.	10
1.1.- Objetivos.	15
1.1.1.-Objetivo general.	15
1.1.2.- Objetivos específicos.	15
2.-Descripción del área de estudio.	16
2.1.-Antecedentes históricos.	16
2.2.-Embalse Peñuelas.	17
2.3.-Clima.	18
2.4.-Vegetación.	18
2.5.-Fauna.	19
2.6.-Morfología.	20
2.7.-Geología.	21
2.8.-Suelos.	22
2.9.-Hidrografía.	22
3.-Materiales y métodos.	26
3.1.-Variables físicas.	26
3.2.-Variables químicas.	26
3.3.-Variables biológicas.	27
3.4.-Diseño del experimento.	28
3.5.-Análisis estadístico.	29
4.-Resultados.	31
4.1.-Variables físicas del agua del embalse Peñuelas.	31
4.2.- Variables químicas del agua del embalse Peñuelas.	31
4.3.- Variables biológicas del agua del embalse Peñuelas.	31
4.4.- Experimento de limitación por sílice.	35
4.4.1 Especies dominantes en el experimento.	36
4.5.-Tests de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov.	42
4.6.- Análisis de varianza (ANOVA) de una vía.	42
4.7.- Clorofila <i>a</i> de la comunidad fitoplanctónica del experimento.	48
4.8.- Fotografías de la comunidad fitoplanctónica.	50
5.-Discusión.	55
6.-Conclusión.	62
7.-Bibliografía.	63

INDICE DE TABLAS

	N° de Página
Tabla 1. Resumen de las variables medidas en los estudio de la D.G.A. (1993) y de Vila y col. (2006).	14
Tabla 2. Miligramos de sílice añadidos en los distintos tratamientos.	28
Tabla 3. Clasificación taxonómica del fitoplancton de la superficie y de 1,5 m de profundidad, en condiciones naturales en el embalse Peñuelas.	32
Tabla 4. Abundancia del fitoplancton detectado en condiciones naturales en el embalse Peñuelas (cel 15 ml ⁻¹).	34-35
Tabla 5. Miligramos de sílice (SiO ₂) en el control y los tratamientos en el experimento de adición de sílice.	35
Tabla 6. Clasificación taxonómica de las especies detectadas y su abundancia (cel 15ml ⁻¹) en el experimento.	38-40
Tabla 7. Resultados del análisis de χ^2 de muestras paradas de las proporciones de las clases de fitoplancton.	41
Tabla 8. Resultados de los tests estadísticos para normalidad.	43
Tabla 9. Resumen de los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de una vía entre los distintos tratamientos y tiempo 0.	45
Tabla 10. Valores de Clorofila a en los experimentos de adición de sílice.	48
Tabla 11. Resumen de los resultados del ANOVA de una vía de la clorofila a entre los distintos tratamientos.	48
Tabla 12. Resumen de las variables medidas en los estudios de la D.G.A. (1993), Vila y col. (2006) y resultados de este trabajo.	55
Tabla 13 Concentración de sílice en sistemas lacustre.	58





INDICE DE FIGURAS

Nº de Página

Figura 1.- Mapa de la ubicación del embalse Peñuelas, en la región de Valparaíso.	17
Figura 2.- Mapa batimétrico del embalse Peñuelas.	24
Figura 3.- Mapa del embalse Peñuelas y subcuencas.	25
Figura 4.- Promedio de la abundancia de la comunidad fitoplanctónica en la superficie y a 1,5 m en el embalse Peñuelas en condiciones naturales.	33
Figura 5.- Abundancia de la comunidad fitoplanctónica en los distintos tratamientos y tiempo 0.	37
Figura 6.- Especies más abundantes en los tratamientos de adición de sílice y el control.	40
Figura 7.- Porcentaje de las clases de fitoplancton en el experimento.	42
Figura 8.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Bacillariophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.	46
Figura 9.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Chlorophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.	46
Figura.- 10 Abundancia (valores promedio) de la Clase Dinophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.	47
Figura 11.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Cyanophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.	47
Figura 12.- Valores promedio de clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$) en los tratamientos de adición de sílice.	49
Figura 13.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tiempo 0.	50
Figura 14.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tiempo 0.	50
Figura 15.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del control.	51
Figura 16.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del control.	51
Figura 17.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 5 mg de sílice.	52

Figura 18.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 5 mg de sílice. 52

Figura 19.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 10 mg de sílice. 53

Figura 20.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 10 mg de sílice. 53

Figura 21.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 15 mg de sílice. 54

Figura 22.- Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 15 mg de sílice. 54



RESUMEN

El embalse Peñuelas (V región, Chile), descrito con características de meso a eutrofia, presenta valores menores de 1 mg l^{-1} de sílice (SiO_2) que indicarían limitación por este nutriente, especialmente para el crecimiento de microalgas. Para analizarlo experimentalmente se montó una batería de ensayos a temperatura y luz controlada por 72 hrs. en el laboratorio. El experimento consistió en agregar 5, 10 y 15 mg de sílice (SiO_2) a 250 ml de agua extraída del embalse. Los resultados de éste, señalaron que la clorofila *a* y la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, de la Clase Bacillariophyceae y de la Clase Cyanophyceae, tienen una tendencia a aumentar a medida que se incrementa la concentración de sílice, tendencia contraria a la que presentó la Clase Chlorophyceae. La especie más abundante en el embalse fue *Tetraedron minimum* (Braun) Hansging, pero en el experimento a mayor concentración de sílice la diatomea *Aulacoseira granulata* (Ehr) Simonsen pasó a ser la más abundante. Por lo tanto, los resultados obtenidos permitieron comprobar experimentalmente que los bajos valores de sílice presentes en el embalse, determinaron un menor crecimiento en la clase Bacillariophyceae, sobre todo de *A. granulata*. Por lo que se puede concluir que la abundancia baja de diatomeas (Navarro y Avaria, 1971; Vila y col., 2006) en el embalse Peñuelas se debería a la baja concentración de sílice.



ABSTRACT

Peñuelas reservoir (V region, Chile), described with characteristics of meso to eutrophic presents values of 1 mg l^{-1} silica (SiO_2) indicating silica limitation specially for the abundance of diatoms. To analyze it experimentally a battery was mounted with controlled temperature and light for a period of 72 hrs. in the laboratory. The experiment consisted of the addition of 5, 10 and 15 mg of silica to 250 ml of water from the reservoir. Results of the experiment showed that chlorophyll *a* and the abundance of phytoplankton community, of the Class Bacillariophyceae and Class Cyanophyceae, had a tendency to increase as it increases the concentration of silica, an opposite trend presented the Class Chlorophyceae. The most abundant species in the reservoir was *T. minimum*, but in the experiment with the highest concentration of silica, the diatom *A. granulata* became the most abundant. Therefore, the results revealed experimentally that lower values of silica present in the reservoir (2.33 mg l^{-1}), determined slower growth of the class Bacillariophyceae, especially *A. granulata*. We can conclude that the low abundance of diatoms (Navarro y Avaria, 1971; Vila y col., 2006) is due to the concentration of silica. Peñuelas reservoir would be limited by silica that limits the growth of diatoms.

1.- INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es la unidad básica de la producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos. Con nutrientes suficientes, las algas son capaces de acumular energía lumínica solar y transformarlos en compuestos orgánicos mediante la fotosíntesis. Los lagos poseen asociaciones diversas de microalgas cuya variedad, abundancia y distribución son intrínsecas a las características del lago de donde provienen.

La biomasa del fitoplancton depende de variables abióticas tales como, temperatura, luz, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes y bióticas, como la herbivoría y la competencia (Hutchinson, 1957; Wetzel, 2001). Por lo tanto, el desarrollo de la comunidad fitoplanctónica depende de las características, distribución y relación de las variables físicas y químicas en el sistema, lo cual guarda directa relación con la geomorfología de la cuenca.

Los nutrientes inorgánicos de mayor importancia para la producción del fitoplancton, son los compuestos de nitrógeno (N) y de fósforo (P). En especial este último, es citado con frecuencia como el factor limitante de la producción (Ryding y Rast, 1992). Se entiende por nutriente límite o limitante, aquel nutriente que se encuentra disponible para el organismo en la menor cantidad y que controla su tasa de crecimiento (Horne y Goldman, 1994; Salas y Martino, 2001).

Otro nutriente limitante, para parte importante de los organismos que componen el fitoplancton y que generalmente no se considera como tal, dada su abundancia natural, es la sílice (SiO_2). Como lo señala Hutchinson (1957), este elemento es especialmente indispensable en el crecimiento de las diatomeas o microalgas amarillas (Clase Bacillariophyceae).

Las diatomeas son los principales organismos con estructura silícica en el medio acuático y sus células, requieren sílice para formar una estructura llamada frústulo. Por esta razón, la disponibilidad de silicio (Si), es un factor clave en la regulación del crecimiento y abundancia de las poblaciones de diatomeas (Hutchinson, 1957; Wetzel, 2001).

La sílice, presenta una concentración variable en sistemas acuáticos, siendo mayor en aguas continentales que marinas. Generalmente en sistemas lacustres, la sílice muestra concentraciones superiores a las del fósforo y nitrógeno, observándose como valor promedio mundial $13 \text{ mg l}^{-1}(\text{SiO}_2)$. Wetzel (2001), indica que concentraciones inferiores a los 5 mg l^{-1} , limitarían el crecimiento de las diatomeas.

El embalse Peñuelas ($33^{\circ}10'S$; $71^{\circ}29'W$), es parte de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, que se encuentra en la V región, comuna de Valparaíso. Se ubica cercano a la costa, a una altitud de 347 m.s.n.m. su forma es dendrítica y es un sistema temperado polimíctico de la zona central de Chile. No posee afluentes fijos, siendo las aguas embalsadas de origen pluvial, dependiendo su volumen del régimen de precipitaciones y su uso como agua potable.

En general, la abundancia del fitoplancton del embalse Peñuelas es alta, debido a que la calidad del agua determina variaciones de trofia, las cuales varían de mesotrófico a eutrófico a escala de temporalidad interanual. En el año 1993, un estudio conjunto del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la Dirección General de Aguas (DGA) y el Departamento de Ciencias Ecológicas de la Universidad de Chile, concluyó que el estado del lago era eutrófico y posteriormente, en un estudio realizado por Vila y col. (2006) señala a Peñuelas como un sistema mesotrófico.

En el embalse Peñuelas, las microalgas que predominan en la composición y abundancia, forman parte de las Clases Chlorophyceae, Cyanophyceae y Bacillariophyceae (Navarro y Avaria, 1971; Vila y col., 2006). A la fecha se ha detectado un total de 113 especies de microalgas, siendo la más abundante para el período de 1983-1984 *Microcystis incerta* Lemmermann y *Anabaena circinalis* Rabenhorst, aunque en otros períodos domina *Microcystis aeruginosa* Kütz (Olguín y Domínguez, 1995). El embalse históricamente ha presentado cambios en la estructura poblacional del fitoplancton, es así como en el trabajo de Navarro y Avaria (1971), el grupo más abundante perteneció a la Clase Cyanophyceae, seguida por Chlorophyceae y por último, Bacillariophyceae. En el estudio de Vila y col. (2006), la composición muestra predominancia de la Clase Chlorophyceae durante los 10 primeros meses y sólo durante el mes de verano del estudio predomina Bacillariophyceae, Cyanophyceae se incrementa durante los meses de octubre y noviembre. Finalmente, en el embalse es frecuente encontrar florecimientos masivos de cianobacterias (Navarro y Avaria, 1971; Zúñiga y Carvajal, 1990).

La distribución del fitoplancton, temperatura y nutrientes en el embalse Peñuelas, es bastante uniforme, debido a su baja profundidad y al efecto del viento, situación que lo mantiene en mezcla permanente (Olguín y Domínguez, 1995; Vila y col., 2006).

En los lagos chilenos que presentan un régimen térmico de monomixis templada y extensos periodos de mezcla turbulenta por el efecto del viento y el clima oceánico como moderador de la temperatura, se favorece la predominancia de diatomeas especialmente de *Aulacoseira granulata* (Ehr) Simonsen, la cual alcanza en algunos casos hasta el 90% de abundancia en el fitoplancton (Campos, 1984; Reynolds y col., 1985; Vila y col., 1987). El embalse Peñuelas, a diferencia de otros sistemas lacustres y a pesar de permanecer en mezcla permanente, no ha presentado históricamente valores importantes de diatomeas (Navarro y Avaria, 1971; Vila y col., 2006).

Las variables físicas y químicas del embalse Peñuelas, han sido estudiadas en diversos trabajos, la Tabla 1, muestra los rangos de las variables más importantes encontrados en los estudios de la D. G. A. (1993) y de Vila y col. (2006).

Según el estudio de Navarro y Avaria (1971), ni la temperatura ni el oxígeno actúan directamente sobre el fitoplancton del lago, por tanto se puede esperar que el factor limitante de éste, sean los nutrientes. A pesar que los valores de fósforo total corresponden a valores de mesotrofia, basados en la relación nitrógeno total (N_T) a fósforo total (P_T) propuesta por Vollenweider (1983), el fósforo sería el nutriente limitante para el embalse. Los valores encontrados para sílice son bajos, por lo que éste sería también un nutriente limitante en el sistema.

De acuerdo con estos antecedentes, se puede establecer que, a pesar de que los rangos de nitrógeno y fósforo son suficientes para el desarrollo del fitoplancton, las diatomeas son menos abundantes que en otros sistemas lacustres templados de la zona central de Chile. Los estudios de limitación de sílice son reducidos en sistemas lacustres, principalmente por la escasez de lugares que presenten estas condiciones. Las investigaciones actuales están orientadas sólo al efecto metabólico de la sílice en las diatomeas (Del Amo y Brzezina, 1999; Martín-Jézéquel y col., 2000).

Expuesto lo anterior, es de interés comprobar experimentalmente si los bajos valores de sílice encontrados en el embalse Peñuelas, son la causa real del bajo número de diatomeas en el sistema.

Tabla 1.-Resumen de las variables medidas en los estudio de la D.G.A. (1993) y de Vila y col. (2006).

Variable	D.G.A. (1993)	Vila y col. (2006)
N total	1086,57 $\mu\text{g l}^{-1}$ - 1531,78 $\mu\text{g l}^{-1}$	800 $\mu\text{g l}^{-1}$ a 1600 $\mu\text{g l}^{-1}$
P total	22,13 $\mu\text{g l}^{-1}$ - 78,78 $\mu\text{g l}^{-1}$	10 $\mu\text{g l}^{-1}$ a 40 $\mu\text{g l}^{-1}$
Sílice	54,11 $\mu\text{g l}^{-1}$ - 128,02 $\mu\text{g l}^{-1}$	0,1 mg l^{-1} y 1,5 mg l^{-1}
Oxígeno Disuelto	8,51 mg l^{-1} - 10,19 mg l^{-1}	Valores sobre el 100% de saturación
Temperatura	10,57 °C - 23,19 °C	13 °C - 25 °C
pH	6,98 - 8,04	7 - 9
Conductividad	173,14 - 251,57 $\mu\text{S/cm}$	-
Disco Secchi	0,57 m - 0,90 m	0,7 m - 1,60 m
Clorofila a	13,17 $\mu\text{g l}^{-1}$ - 22,88 $\mu\text{g l}^{-1}$	10 $\mu\text{g l}^{-1}$ - 30 $\mu\text{g l}^{-1}$

1.1.-Objetivos.

1.1.1.-Objetivo general.

Determinar experimentalmente si los valores de sílice (SiO_2) que presenta el embalse Peñuelas (V región, Chile), condicionan un menor crecimiento en las diatomeas de este sistema.

1.1.2.- Objetivos específicos.

Establecer la composición de la comunidad fitoplanctónica en condiciones naturales del embalse Peñuelas (V región, Chile).

Determinar experimentalmente como responde el fitoplancton al ser sometido a un incremento en la concentración de sílice (SiO_2).

2.-DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

2.1.-Antecedentes históricos:

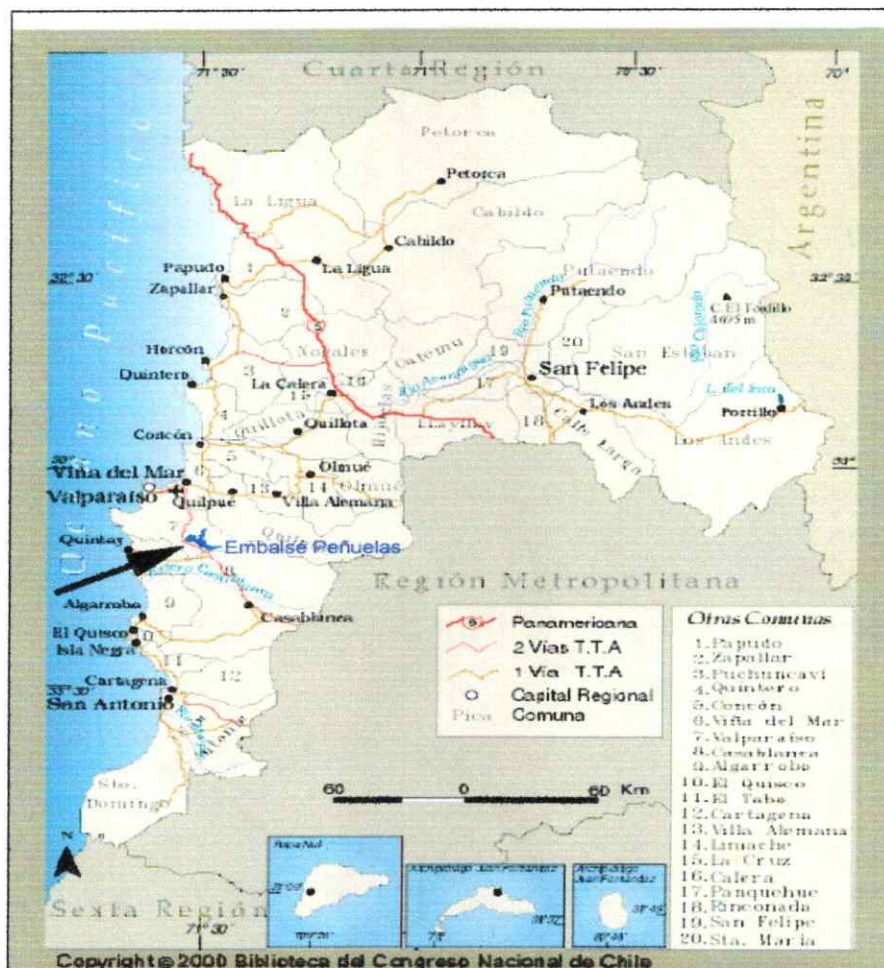
El lago Peñuelas es un embalse artificial, creado por la gestión del Presidente de la Republica, Don Federico Errázuriz. En 1889, los ingenieros Lyon y Rengifo presentaron su primer proyecto para la construcción del embalse, con el principal objetivo de abastecer de agua potable a los sectores altos de las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar. Las obras se terminaron a fines de 1900, siendo inauguradas en el mes de enero del año siguiente. Desde hace varios años, se utiliza sólo como fuente suplementaria de agua potable.

El embalse Peñuelas se ubica dentro de la Reserva Nacional Lago Peñuelas, la cual fue creada en el año 1952 y posee una superficie de 9.260 hectáreas. Esta reserva pertenece al Sistema Nacional de Áreas Verdes Protegidas del Estado de Chile (ESNASPE) y es administrada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Junto con el Parque Nacional La Campana, es zona núcleo de la Reserva de la biosfera denominada La Campana-Peñuelas, categoría otorgada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

2.2.-Embalse Peñuelas.

El embalse está situado aproximadamente a 12 km. al S.E. de la ciudad de Valparaíso, en la V región del país, y a aproximadamente 100 km. de Santiago. Se ubica en los 33°10' de latitud Sur y 71°29' de longitud Oeste y a una altitud de 347 m.s.n.m. (ver Figura 1). No existen poblaciones humanas en sus proximidades, y el poblado más cercano es Casablanca (Navarro y Avaria, 1971).

Figura 1.-Mapa de la ubicación del embalse Peñuelas, en la región de Valparaíso.



2.3.- Clima.

El clima de la zona donde se encuentra el embalse es mediterráneo templado cálido, con lluvias invernales y estación seca bien marcada en meses de verano y que puede durar, entre 6 y 8 meses.

La precipitación es estacional, con máximas en invierno, iniciándose a fines de otoño. La precipitación es de aproximadamente 500 mm/año, concentrándose entre los meses de mayo y agosto (CONAF, 1986).

La temperatura ambiental media anual es de 14 °C, la máxima media, varía entre los 25 a 30 °C y la mínima, entre los 5 a 10 °C, rara vez baja de 0 °C (CONAF, 1986).

2.4.- Vegetación.

La vegetación está representada por tres agrupaciones características.

Bosque esclerófilo con especies como quillay (*Quillaja saponaria* Mol.), peumo (*Cryptocarya alba* (Mol.) Looser), litre (*Lithraea caustica* Mol.), boldo (*Peumus boldus* Mol.), molle (*Schinus latifolius* (Gill. ex Lindl.) Engler), trevo (*Dasyphyllum diacanthoides* (Less.) Cabr.) y espino (*Acacia caven* Mol.).

Matorral ripariano con especies como el romero (*Rosmarinus officinalis* L), zarzamora (*Rubus ulmifolius* Schott) y rosa mosqueta (*Rosa moschatta* J.Herm).

Bosque y matorral espinoso caducifolio con especies como el algarrobo (*Prosopis chilensis* (Mol.) Stunz.) y el espino (*Acacia caven* Mol.).

También se encuentran plantaciones de diversas especies, tanto nativas como introducidas, como pino insigne (*Pinus radiata* D.Don) y eucalipto (*Eucalipto globulus* Labill).

En la ribera del lago hay un tupido conjunto de ciperáceas, juncáceas y pequeñas liliáceas, además de algunas malezas de los géneros *Polygonum* y *Medicago*, también existen abundantes plantas acuáticas sumergidas, entre las cuales se destacan algunas Characeae como *Chara sp.* y *Nitella sp.*, (Navarro y Avaria, 1971).

2.5.-Fauna.

En la fauna asociada al embalse Peñuelas se encuentran 10 especies de roedores y 2 especies de lagomorfos (conejo, *Oryctolagus cuniculus* Linnaeus y liebre, *Lepus capensis* Linnaeus). Entre los mamíferos, destacan el gato colo colo (*Lynchailurus colocolo* Molina), el quique (*Galictis cuja* Molina), el chingue (*Conepatus chinga* Molina), el zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus* Molina) y el zorro chilla (*Pseudalopex griseus* Gray) (Muñoz-Pedreros y Yañez, 2000).

La avifauna del embalse es típica de Chile central, con 122 especies de aves aéreas y acuáticas (entre estas, algunas son escasas en el resto del país). Entre las aves acuáticas se encuentran el blanquillo (*Podiceps occipitales occipitales* Garnot), la huala (*Podiceps major* Boddaert), el picuro (*Podilymbus podiceps antarcticus* Lesson), la garza

chica (*Egretta thula* Molina), la garza cuca (*Ardea cocoi* Linné), la garza grande (*Casmerodius albus* Linné), la Garza boyera (*Bubulcus ibis* Linné), el huairavo (*Nycticorax nycticorax* Linné), el pato jergón chico (*Anas flavirostris flavirostris* Vieillot), el pato jergón grande (*Anas georgica* Gmelin), el pato rana pico angosto (*Oxyura vittata* Philippi), el pato cuchara (*Anas platalea* Vieillot), el pato real (*Anas sibilatrix* Poeppig), el pato silbón (*Dedrocygna autumnales* Linné), la tagua (*Fulica armillata* Vieillot), la taguita (*Gallinula melanops* Vieillot) y el cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus* Molina) (CONAF, 2000; Araya y Millie, 2000).

Se observa la presencia de reptiles como lagartijas, culebras de cola larga (*Philodryas chamissonis* Wiegmann Meyen) y cola corta (*Tachymenis chilensis* Schlegel) y de anfibios como la rana grande chilena (*Caudiverbera caudiverbera* Linnaeus) y el sapito de cuatro ojos (*Pleuroderma thaul* Lesson).

En cuanto a los peces presentes en el lago, se destaca el pejerrey argentino (*Odontesthes bonaeriensis* Valenciennes) especie introducida en el embalse y extraída con fines deportivos. Existen además, otros peces como la gambusia (*Gambusia holdbrooki* Girard), la tenca (*Tinca tinca* Linneo) y la pocha (*Cheirodon interruptus* Jenyns), todas especies introducidas (Dyer, 2000; Habit y Victoriano, 2005).

2.6.-MORFOLOGIA.

El embalse Peñuelas tiene una cuenca somera de pendiente suave. La forma del embalse es dendrítica, propia de los lagos de represa y ocupa una extensa área, sin

embargo su volumen es más bien bajo, no sobrepasando normalmente más de la cuarta parte de su volumen teórico máximo ($0,095 \text{ km}^3$) (ver Figura 2).

El embalse se encuentra ubicado en una cuenca cerrada, formada por dos cordones de cerros paralelos, orientados de sur-este a nor-este, con una extensión de 17 km. Ambos flancos están unidos por cerros en el límite este de la reserva. La mayor altura corresponde a los 613 m.s.n.m. del cerro Mutilemu. A continuación de la cadena de cerros que circunda la hoya hidrográfica del lago y en la totalidad de los pies de cerros y entre las quebradas, se encuentran formaciones de extensión variable de lomajes y piedemontes. Entre éstas y el espejo de agua se ubican las planicies (CONAF, 1986).

El embalse posee una capacidad de $0,095 \text{ km}^3$ con un área de 19 km^2 su longitud máxima es de 15 km. con un ancho de 1,85 km y uno mínimo de 0,7 km. Su profundidad máxima, en el muro, es de 15 m, mientras su profundidad promedio es sólo de 5 m. En la Figura 2, se puede apreciar la batimetría obtenida durante 1992 con 8 metros de profundidad máxima (Vila y col., 2006).

2.7.-Geología.

La hoya hidrográfica del embalse Peñuelas, se sitúa dentro de la cordillera de la costa y forma parte del batolito granodiorítico de posición intermedia, con relieves quebrados y ondulados constituidos básicamente por granito y aunque en algunos, los procesos de diferenciación magmática han determinado que la composición sea más bien la de una granodiorita. Geomorfológicamente es una hoya hidrográfica limitada por cerros de altitud moderada. Debido a la dinámica del área, se han definido numerosos planos de

sedimentación, con aportes de material desde los cerros hacia el valle, el cual está conformado básicamente por una llanura de sedimentación, antiguamente cubierta por un lago, del que el actual lago Peñuelas pasa a ser un remanente (Ingenieros Consultores S.A. (ICSA) y Corporación Nacional Forestal (CONAF), 1980).

2.8.- Suelos.

La cuenca presenta dos tipos de suelos:

- a) Suelos rojos granítico-arcillosos que abarcan una superficie de 4964 ha.
- b) Suelos depositacionales que ocupan piedemontes, valles intermontanos y llanura inferior.

Los suelos de cerros y lomas presentan una gran susceptibilidad a la erosión, debido a la presencia de grava en el perfil, el tipo de coloide arcilloso y la debilidad del sustrato granítico (CONAF, 1986).

2.9.-Hidrografía.

- c) Hidrológicamente se han identificado 85 subcuencas definidas por la presencia de un cauce principal, en la Reserva Forestal Peñuelas (ver Figura 3). De acuerdo a los indicadores hidrológicos utilizados para clasificar las subcuencas y sus cauces (capacidad, pendiente media de la subcuenca y del cauce, factor de forma), se puede concluir que la mayoría son extremadamente sensibles a las precipitaciones intensas.

Por ello, su comportamiento hidrológico es preponderantemente de tipo torrencial. El 60% de los suelos posee propiedades favorables al escurrimiento superficial, lo cual ayuda al escurrimiento de aguas lluvia hasta los cauces de drenaje. La esorrentía del 70,7% de las subcuencas (2500 ha.), termina en una planicie y su retraso para llegar al embalse favorece la evaporación (CONAF, 1986).

El embalse muestra una variación del nivel de las aguas embalsadas durante el año o entre años, lo cual está directamente asociado a una combinación de factores climáticos como la precipitación y antrópicos, como la utilización del agua para el consumo. El origen de las aguas es exclusivamente pluvial, por lo que la importancia de esta condición genera una variación no homogénea año a año, afectando así los ciclos de vida de la flora y fauna asociados a los ambientes acuáticos.

Debido a lo anterior, la situación del lago es extremadamente sensible, por lo que en años secos la empresa de servicios sanitarios Lago Peñuelas S.A. dueña de la planta, restringe el uso de esta fuente, empleando otras alternativas para el abastecimiento de agua potable (Uraoka, 2003).

Figura 2.- Mapa batimétrico del embalse Peñuelas.

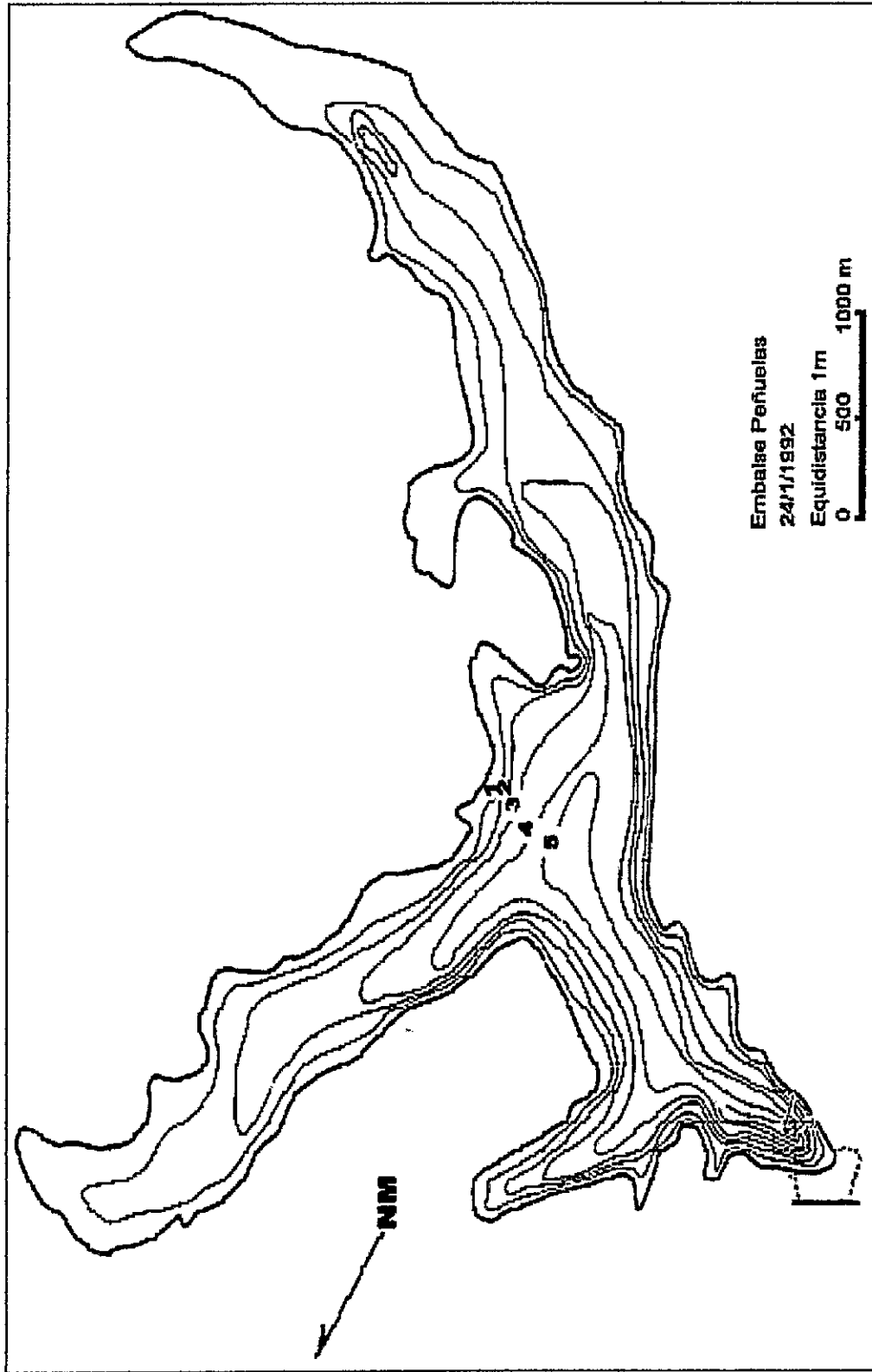
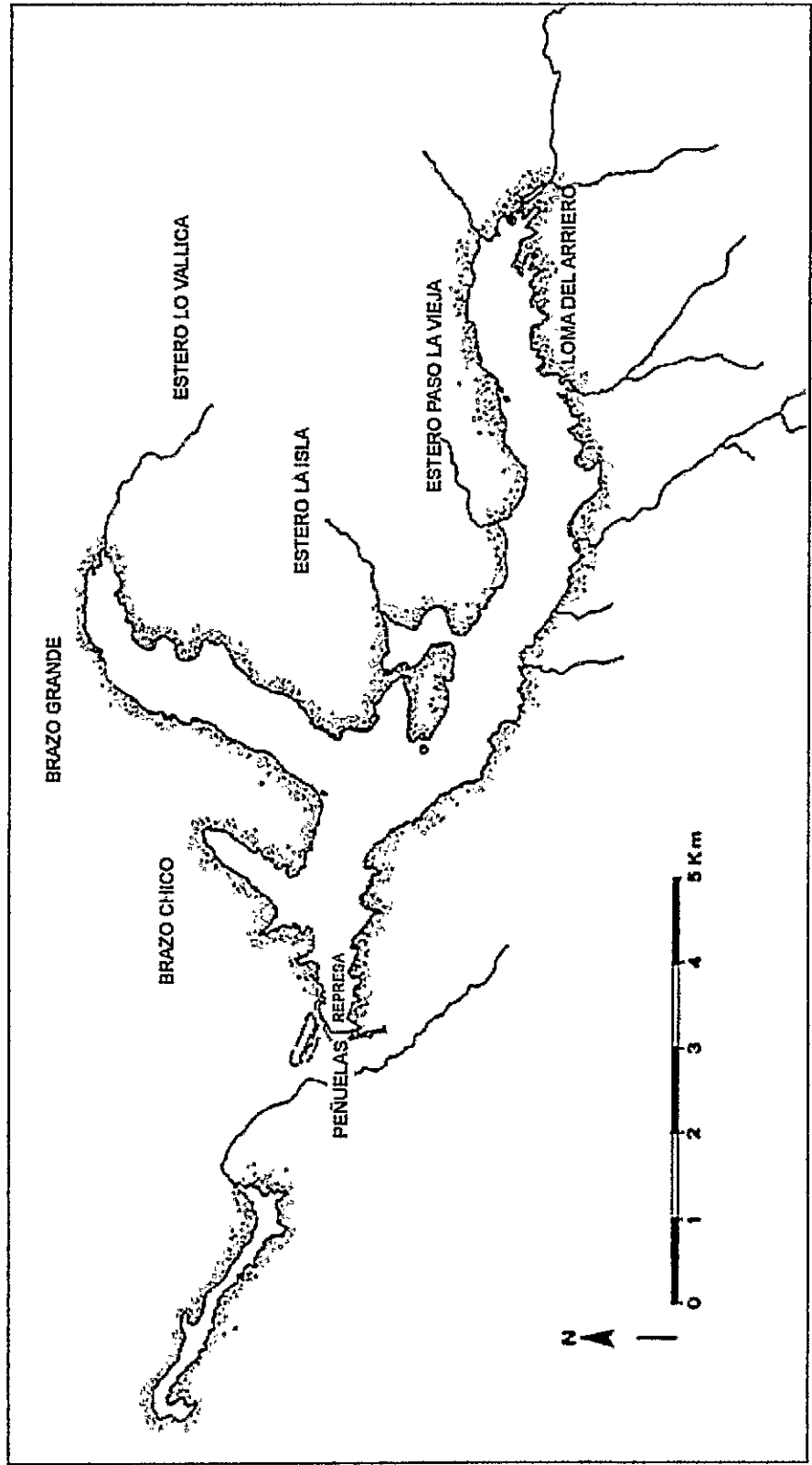


Figura 3.- Mapa del embalse Peñuelas y subcuencas.



3.-MATERIALES Y MÉTODOS

El material analizado en este seminario de título proviene de muestras de agua colectadas en el embalse Peñuelas y mediciones "*in situ*" en la estación de mayor profundidad ubicada cerca de la represa, el día 4 de diciembre de 2007.

Para los análisis y la realización del experimento, se obtuvieron muestras de agua a una profundidad de 1,5 m y a nivel superficial. Para tales efectos se utilizó una botella Van Dorn de 6 litros para obtener muestras de la profundidad seleccionada. Las ventajas de la utilización de esta botella radican en que atrapa eficazmente las formas más pequeñas del fitoplancton y es fácil de manejar.

3.1.-Variables físicas:

Las siguientes variables fueron medidas "*in situ*" en el embalse: la transparencia del agua, utilizando un disco de Secchi; la temperatura del agua, mediante un termómetro digital Hanna Instruments de 0,1 de precisión y la Conductividad, con un conductivímetro portátil VWR.

3.2.-Variables químicas:

El pH fue medido "*in situ*" mediante pH-metro portátil WTW, para el oxígeno disuelto las muestras fueron fijadas en el embalse y luego fueron tituladas en el laboratorio de

acuerdo con el método de Winkler (APHA, 1998), el fósforo total se determinó en el laboratorio utilizando el método de Zahradnik (1981), el nitrógeno total se midió en el laboratorio de acuerdo a Muhlhauser y col. (1986) y la sílice se determinó en el laboratorio según el método de Golterman y col. (1978).

3.3.-Variables biológicas:

Clorofila. La cantidad de clorofila *a*, fue medida en el laboratorio utilizando el método descrito en los trabajos de Cabrera (1984) y Cabrera y Montecino (1984). Para evaluar cualitativamente y cuantitativamente a la comunidad fitoplanctónica se extrajeron muestras de la superficie y a 1,5 m de profundidad, a las cuales para su conservación se les añadió una solución de lugol y fueron almacenadas en frascos de vidrios. Las muestras fueron posteriormente analizadas de acuerdo al método de Utermöhl (1958), en un microscopio invertido modelo Olympus CK2. De acuerdo a Villafañe y Reid (1995) se concentró por sedimentación en una cámara cilíndrica de 10 ml durante 24 hrs.

Para el análisis cuantitativo se contaron y clasificaron todos los individuos del campo del microscopio y se detuvo la cuenta, cuando la especie más abundante llegó a 150 individuos.

La enumeración de las células individuales dentro de las muestras no es siempre fácil, debido al mal estado de las mismas o porque algunas se presentan en colonias o filamentos. Por esta razón, se estableció *a priori*, que los recuentos, por ejemplo de *Microcystis sp.* y *Anabaena sp.*, presentes en las muestras se hicieran por colonias.

Para la identificación taxonómica de los géneros y especies, se utilizó las descripciones de Navarro y Avaria (1971) y Parra y Bicudo (1995).

3.4.- Diseño del experimento.

En el laboratorio se realizó un set de microcosmos. Para cultivar el fitoplancton del embalse Peñuelas, se contó con 12 botellas (frascos de cultivo celular estériles, marca Falcon de 250 ml), las cuales fueron llenadas con 250 ml de agua extraída a 1,5 m de profundidad del embalse sin filtrar. Estas botellas fueron depositadas en una cámara termoregulada, la que permaneció a 22°C. Esta cámara cuenta con un fotoperíodo de 14 horas de luz. Para evitar la sedimentación, las muestras fueron colocadas en un agitador con movimiento permanente. A cada una de las botellas se le agregaron los mg de sílice como se indica en la Tabla 2, se agregaron 5 mg de sílice, ya que este valor se considera limitante para el crecimiento de las diatomeas (Wetzel, 2001), 15 mg de sílice, porque este valor está sobre el promedio mundial y no se considera limitante. Además es el valor de sílice que presenta otros embalses cercanos, como es el caso del embalse Rapel (Vila y col., 1987). Los 10 mg se escogieron debido a que son un punto intermedio entre las anteriores concentraciones y además porque se encuentra sobre el valor que se considera limitante y bajo el promedio mundial de 13 mg (Wetzel, 2001).

Tabla 2.- Miligramos de sílice añadidos en los distintos tratamientos.

Miligramos de SiO ₂	Control 0 mg (3 botellas)	Tratamiento 5 mg (3 botellas)	Tratamiento 10 mg (3 botellas)	Tratamiento 15 mg (3 botellas)
Agregados	0	5	10	15

El experimento tuvo una duración de 72 horas. Terminado este período se procedió a extraer 15 ml de cada muestra, las que fueron fijadas con lugol, para su posterior análisis. Conjuntamente se midió la clorofila *a* de todas las muestras. Para evaluar cualitativamente y cuantitativamente a la comunidad fitoplanctónica se utilizó el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Debido a que el volumen de las cámaras de sedimentación eran de 10 ml y las muestras extraídas tenían un volumen de 15 ml, fue necesario realizar un ajuste matemático (proporción entre el número de organismos encontrados en los 10 ml y los que habrían en los 15 ml) para establecer la cantidad real de fitoplancton en la muestra y esta cantidad final, fue la que se utilizó en la elaboración de las tablas y en los cálculos estadísticos de este trabajo.

Las microalgas de los diferentes tratamientos de adición de sílice, fueron fotografiados con una cámara min view digital ajustada al microscopio.

3.5.-Análisis estadístico.

Para establecer si existen diferencias significativas ($p < 0,05$), entre el número de individuos que componen la comunidad fitoplanctónica del embalse Peñuelas, al agregar concentraciones de 5, 10 y 15 mg de sílice, se comparó el número de individuos observado en cada tratamiento y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y los test de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para normalidad. Este análisis se realizó utilizando SAS (Statistical Analysis System). De esta forma, se analizó la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, de la Clase Chlorophyceae, de

la Clase Bacillariophyceae, de la Clase Dinophyceae y de la Clase Cyanophyceae, por separado. Se transformaron algunos datos previamente para asegurar normalidad en estos análisis. Para establecer si existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las proporciones de las clases de fitoplancton en los distintos tratamientos del experimento, se realizaron análisis de Chi-cuadrado (χ^2) para muestras pareadas. Para este análisis se utilizó el programa STATISTICA.

Con los valores observados de clorofila *a* del experimento se realizó un análisis de varianza de una vía y de normalidad, para establecer si estos valores presentan diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). Para este análisis se utilizó Vassar Stats: web site for statistical computation.

4.-RESULTADOS

4.1.-Variables físicas del agua del embalse Peñuelas:

El resultado de la transparencia del agua, medida como la profundidad de visión del disco de Secchi fue de 0,75 m, la temperatura fue 22 °C y la conductividad dio un resultado de 178,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.2.-Variables químicas del agua del embalse Peñuelas:

Los resultados fueron los siguientes: pH 8,96; oxígeno disuelto 8,14 mg/l; fósforo total 49,05 $\mu\text{g}/\text{l}$; nitrógeno total 2537,61 $\mu\text{g}/\text{l}$ y sílice total 2,33 mg/l.

4.3.-Variables biológicas del agua del embalse Peñuelas.

La medición de clorofila *a* total, fue de 34.95 $\mu\text{g}/\text{l}$.

La composición del fitoplancton en condiciones naturales en el embalse Peñuelas presentó un total de 20 taxas: 13 Chlorophyceae, 4 Bacillariophyceae, 2 Dinophyceae y 1 Cyanophyceae (ver Tabla 3).

Tabla 3.- Clasificación taxonómica del fitoplancton de la superficie y de 1,5 m de profundidad, en condiciones naturales en el embalse Peñuelas.

Clase	Orden	Familia	Nombre científico	Superficie	1,5 m
Chlorophyceae	Chlorococcales	Botryococaceae	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Naegeli	X	X
			<i>Botryococcus braunii</i> Kutz	X	-
		Chlorellaceae	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	-	X
			<i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansging	X	X
			<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansging	X	X
		Coccomyxaceae	<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	X	X
		Golenkiniaceae	<i>Golenkinia radiata</i> (Chod) Wille	-	X
		Oocystaceae	<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	X	X
		Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus quadricauda</i> Brébisson	X	X
			<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ralfs) Chodat	X	X
			<i>Chlamydomonas</i> sp.	X	X
	Volvocales	Chlamydomonadaceae			
	Zygnematales	Closteriaceae	<i>Closterium acutum</i> var. <i>Variabile</i> Lemmermann	-	X
		Desmidiaceae	<i>Staurastrum cuspidatum</i> Brébisson	-	X
Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst	X	-
Bacillariophyceae	Centrales	Thalassiosiraceae	<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr) Simonsen	X	X
			<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	X	X
	Pennales	Diatomaceae	<i>Synedra ulna</i> var. <i>Danica</i> (Kütz) Grunow	-	X
		Nitzschiaceae	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz) Smith	X	X
Dinophyceae	Peridinales	Ceratataceae	<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Dujardin	X	X
		Peridiniaceae	<i>Peridinium</i> sp.	X	X

X indica presencia de la especie; - indica ausencia.

La superficie del lago presentó: 4 clases, 6 ordenes, 11 familias y 15 especies y la profundidad de 1,5 m: 3 clases, 6 ordenes, 14 familias y 18 especies. El promedio \pm desviación estándar (SD) de la abundancia total, para la superficie fue de $314,25 \pm 4,60$ (células 15ml^{-1}) y para los 1,5 m de $320,5 \pm 41,61$ (cel 15ml^{-1}). La especie más abundante para ambas profundidades es *T. minimum* (ver Tabla 4) con un valor de $187,5 \pm 53,0$ (cel 15ml^{-1}) en la superficie y de 151,5 (cel 15ml^{-1}) a 1,5 m.

En cuanto al porcentaje del fitoplancton, la clase dominante en la superficie fue la clase Chlorophyceae con un 82,3%, la siguen la clase Bacillariophyceae con 14,6%, Dinophyceae con 2,86% y finalmente, Cyanophyceae con 0,239%. A los 1,5 m de profundidad, la clase dominante fue Chlorophyceae con un 73,9%, siguiendo Bacillariophyceae con un 18,6% y Dinophyceae con un 7,5% (ver Figura 4).

Figura 4.- Promedio de la abundancia de la comunidad fitoplanctónica en la superficie y a 1,5 m de profundidad en el embalse Peñuelas en condiciones naturales.

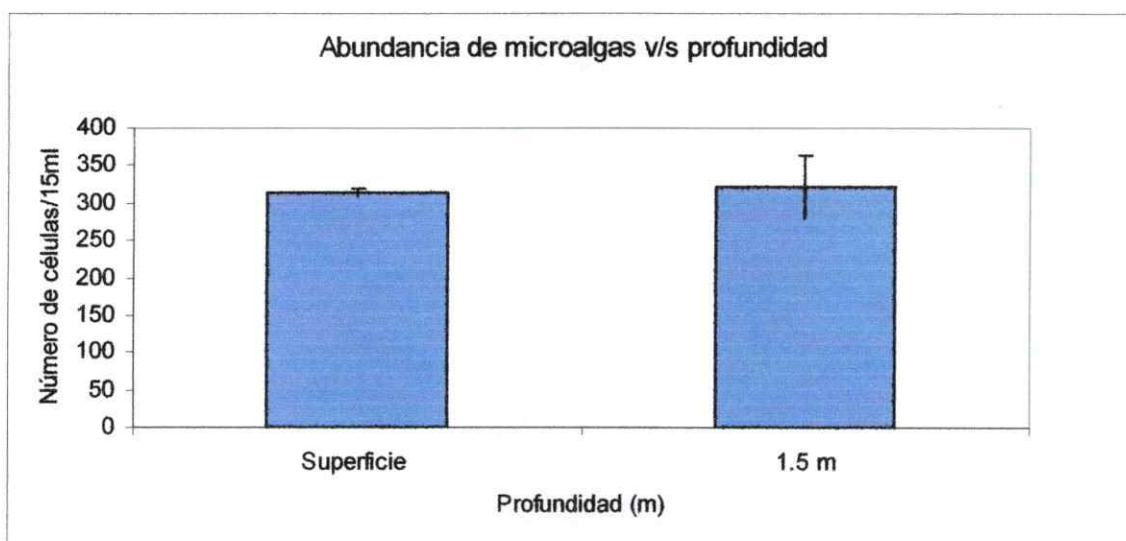


Tabla 4.- Abundancia del fitoplancton detectado en condiciones naturales en el embalse Peñuelas (cel 15ml⁻¹).

Especies	Superficie		1,5 m.		
	C	R	C	R	R'
Clase Chlorophyceae					
Orden Chlorococcales					
Familia Botryococcaceae					
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Naegeli	3	7,5	4,5	3	15
<i>Botryococcus braunii</i> Kutz		1,5			
Familia Chlorellaceae					
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs			1,5		
<i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansging	225	150	151,5	151,5	151,5
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansging	2			3	
Familia Coccomyxaceae					
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	1,5	7,5	1,5	1,5	4,5
Familia Golenkiniaceae					
<i>Golenkinia radiata</i> (Chod) Wille				6	4,5
Familia Oocystaceae					
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat	15	4,5		1,5	6
Familia Scenedesmaceae					
<i>Scenedesmus quadricauda</i> Brébisson		39	37,5	40,5	30
<i>Scenedesmus eornis</i> (Ralfs) Chodat	1,5				1,5
Orden Volvocales					
Familia Chlamydomonadaceae					
<i>Chlamydomonas</i> sp.	33	25,5	25,5	33	33
Orden Zygnematales					
Familia Closteriaceae					
<i>Closterium acutum</i> var. Variabile Lemmermann				1,5	
Familia Desmidiaceae					
<i>Staurastrum cuspidatum</i> Brébisson			1,5		
Clase Cyanophyceae					
Orden Nostocales					
Familia Nostocaceae					
<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst	1,5				
Clase Bacillariophyceae					
Orden Centrales					
Familia Thalassiosiraceae					
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr) Simonsen		45	15	58,5	48
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	15	19,5	13,5	19,5	12

C indica la muestra control; R, R' indican replicas.

Tabla 4.- Continuación.

Especies	Superficie		1,5 m		
	C	R	C	R	R'
Orden Pennales					
Familia Diatomaceae					
<i>Synedra ulna</i> var. <i>Danica</i> (Kütz) Grunow			1,5		1,5
Familia Nitzschiaceae	3	9	1,5	4,5	3
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz) Smith					
Clase Dinophyceae					
Orden Peridinales					
Familia Ceratiaceae					
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Dujardin	6		9	12	13,5
Familia Peridiniaceae					
<i>Peridinium</i> sp.	10,5	1,5	10,5	19,5	7,5
Total (cel 15ml⁻¹)	318	310,5	274,5	355,5	331,5

C indica la muestra control; R, R' indican replicas.

4.4.- Experimento de limitación por sílice.

En la Tabla 5 es posible observar como utilizando el resultado de la concentración natural de sílice en el embalse Peñuelas, que es la concentración con que se partió el experimento es posible establecer la concentración real con que se inició el experimento.

Tabla 5.- Miligramos de sílice (SiO₂) en el control y los tratamientos en el experimento de adición de sílice.

Sílice (SiO ₂) (mg)	Control 0 mg	Tratamiento 5 mg	Tratamiento 10 mg	Tratamiento 15 mg
Agregados	0	5	10	15
Inicial	2,33	2,33	2,33	2,33
Total	2,33	7,33	12,33	17,33
Relación añadidos: inicial	0	2,15	4,29	6,44

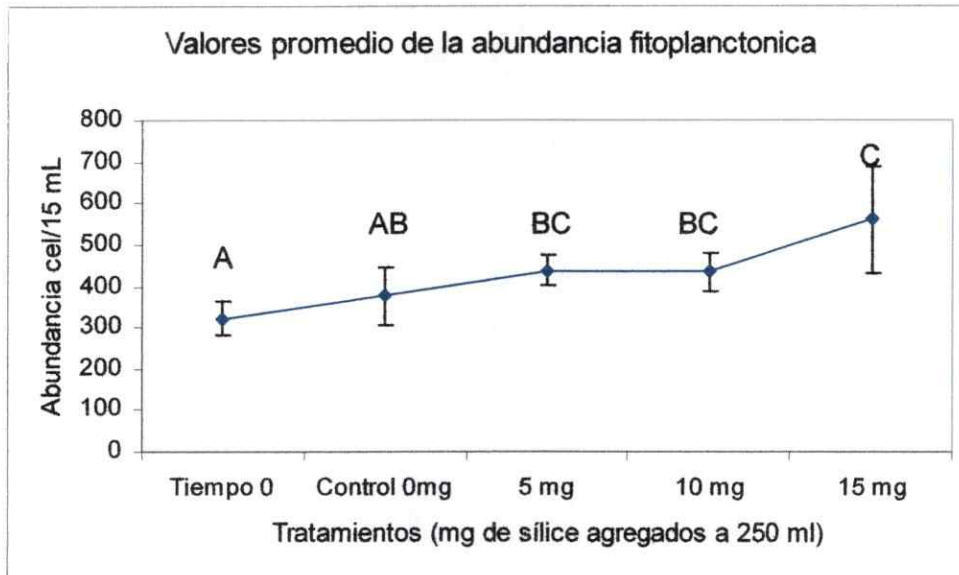
En la clasificación taxonómica de la comunidad para el tiempo 0 (esto se refiere a la composición fitoplanctónica con que se inició el experimento), se identificaron 3 clases, 6 ordenes, 14 familias y 18 especies; para el control se identificaron 3 clases, 6 ordenes, 13 familias y 18 especies; para el tratamiento al que se le agregó 5 mg de sílice, se encontraron 4 clases, 7 ordenes, 12 familias y 17 especies; para el tratamiento con 10 mg de sílice, se identificaron 4 clases, 7 ordenes, 13 familias y 18 especies y por último, para el tratamiento con 15 mg de sílice, 4 clases, 7 ordenes, 14 familias y 18 especies (ver Tabla 6).

El promedio \pm SD de la abundancia de la comunidad fitoplanctónica para el tiempo 0 fue de $320,5 \pm 41,6$ (cel 15ml^{-1}), para el control fue de $376,2 \pm 70,7$ (cel 15ml^{-1}), para el tratamiento con 5 mg fue de $436,5 \pm 36,4$ (cel 15ml^{-1}), para el tratamiento con 10 mg fue de $434,5 \pm 44,3$ (cel 15ml^{-1}) y para el tratamiento con 15 mg fue de $560,5 \pm 127,9$ (cel 15ml^{-1}) (ver Figura 5).

4.4.1 Especies dominantes en el experimento.

La especie más abundante fue *T. minimum* en el tiempo 0 y en el control; los valores promedios son 151,5 (cel 15ml^{-1}) y 150 (cel 15ml^{-1}) respectivamente. *A. granulata* es la especie más abundante en los tratamientos de adición de 5 mg, 10 mg y 15 mg de sílice, cuyo valores promedios de cel 15ml^{-1} fueron de $170 \pm 39,1$, $160,5 \pm 32,1$ y $255 \pm 76,6$ respectivamente (ver Figura 6).

Figura 5.-Abundancia de la comunidad fitoplanctónica en los distintos tratamientos y tiempo 0.



Letras distintas (A,B,C) indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

La especie más abundante en los tratamientos y tiempo 0 para la Clase Chlorophyceae fue *T. minimun* y para la Clase Bacillariophyceae fue *A. granulata*. En la Clase Dinophyceae para el control y los tratamientos con 5 mg y 15 mg de sílice, la especie más abundante fue *Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin, para el tiempo 0 y el tratamiento con 10 mg de sílice, la especie más abundante fue *Peridinium sp.* En la Clase Cyanophyceae en los tratamientos con 5 mg y 10 mg de sílice, la especie más abundante fue *M. aeruginosa* y en el tratamiento con 5 mg de sílice fue *Gomphosphaeria lacustris* Chodat (ver Tabla 6).

Tabla 6.- Clasificación taxonómica de las especies detectadas y su abundancia (cel 15mi⁻¹) en el experimento.

Especies	Tiempo 0			Control			Tratamiento 5 mg			Tratamiento 10 mg			Tratamiento 15 mg		
	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'
Clase Chlorophyceae															
Orden Chlorococcales															
Familia Botryococaceae															
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Naegeli	4,5	3	15	12	9	9	1,5	7,5	6	4,5		4,5	7,5	4,5	
Familia Chlorellaceae															
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	1,5			6		7,5	1,5	4,5		9	3	1,5	6	6	4,5
<i>Tetraedron minimum</i> (Braun) Hansging	151,5	151,5	151,5	150	150	150	150	150	150	150	151,5	150	153	150	150
<i>Tetraedron caudatum</i> (Corda) Hansging		3		1,5	1,5					3	1,5	3			
Familia Coccomyxaceae															
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille	1,5	1,5	4,5	3	1,5		3	1,5	1,5			3	4,5		
Familia Hydrodictyceae															
<i>Pediastrum duplex</i> Myen						3	3						1,5		1,5
Familia Golenkiniaceae															
<i>Golenkinia radiata</i> (Chad) Wille		6	4,5								1,5				1,5
Familia Oocystaceae															
<i>Chodatella subsalsa</i> Lemmermann							4,5	4,5	4,5	1,5	1,5		6		
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat		1,5	6		1,5	3	9	7,5	1,5	6	1,5	3	3		3
<i>Selenastrum westii</i> Smith							1,5								
Familia Scenedesmaceae															
<i>Scenedesmus quadricauda</i> Brébisson	37,5	40,5	30	40,5	67,5	42	33	40,5	37,5	45	31,5	37,5	52,5	34,5	27
<i>Scenedesmus ecomis</i> (Ralfs) Chodat			1,5		3	1,5			1,5	1,5	3		1,5	4,5	4,5
Orden Volvocales															
Familia Chlamydomonadaceae															
<i>Chlamydomonas</i> sp.	25,5	33	33	21	18	19,5	12	18	16,5	18	16,5	24	34,5	9	16,5

C indica la muestra control; R, R' indican replicas.

Tabla 6.-Continuación.

Especies	Tiempo 0			Control			Tratamiento 5 mg			Tratamiento 10 mg			Tratamiento 15 mg		
	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'
Orden Zygnematales															
Familia Closteriaceae															
<i>Closterium acutum</i> var. <i>Variabile</i> Lemmermann		1,5		1,5											
Familia Desmidiaceae															
<i>Cosmarium</i> sp.				1,5	3										
<i>Staurastrum cuspidatum</i> Brébisson	1,5			1,5			1,5		1,5						
Clase Cyanophyceae															
Orden Chroococcales															
Familia Chroococcaceae															
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat							1,5	1,5							
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Lemmermann									6	1,5		10,5	1,5		
Orden Nostocales															
Familia Nostocaceae															
<i>Anabaena circinalis</i> Rabenhorst										1,5					1,5
Clase Bacillariophyceae															
Orden Centrales															
Familia Thalassiosiraceae															
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr) Simonsen	15	58,5	48	36	150	84	129	207	174	171	124,5	186	339	237	189
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	13,5	19,5	12	24	22,5	12	37,5	19,5	18	27	25,5	36	48	39	36
Orden Pennales															
Familia Diatomaceae															
<i>Synedra ulna</i> var. <i>Danica</i> (Kütz) Grunow	1,5		1,5												
Familia Nitzschaceae															
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kütz) Smith	1,5	4,5	3	4,5	4,5	4,5	4,5	3	3	3	4,5	3	6	4,5	4,5

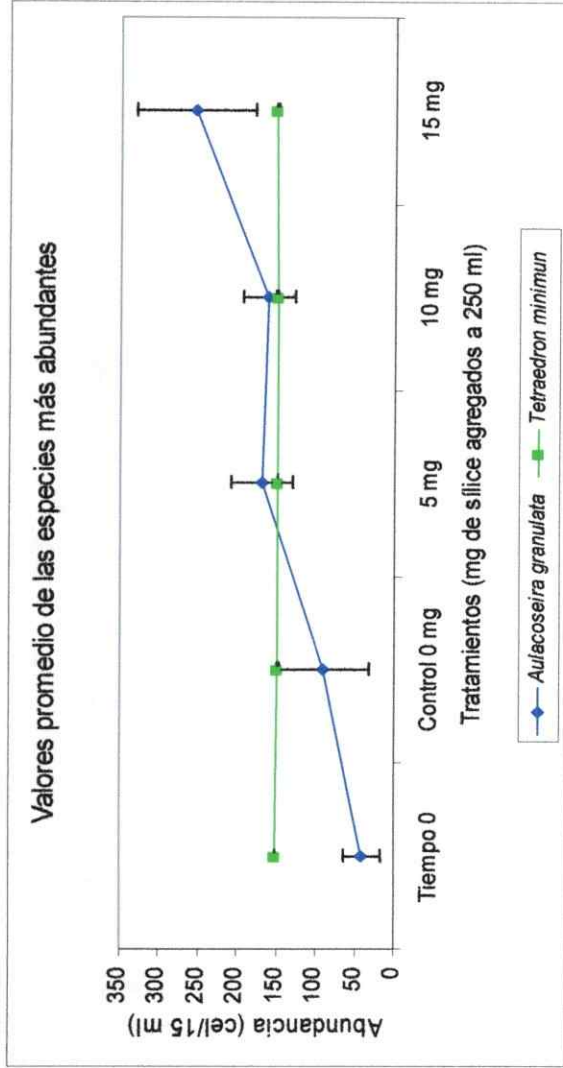
C indica la muestra control; R, R' indican replicas.

Tabla 6.-Continuación.

Especies	Tiempo 0			Control			Tratamiento 5 mg			Tratamiento 10 mg			Tratamiento 15 mg		
	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'	C	R	R'
Clase Dinophyceae															
Orden Peridinales															
Familia Ceratiaceae															
<i>Ceratium hirundinella</i> (Müller) Dujardin	9	12	13,5	12	6	6	13,5	7,5	6	3	9	6	18	10,5	19,5
Familia Peridiniaceae															
<i>Peridinium</i> sp.	10,5	19,5	7,5	9,6	9	6	3	4,5	4,5	4,5	7,5	7,5	13,5	13,5	3
Total (cel/15ml)	274,5	355,5	331,5	321,6	456	351	406,5	477	426	453	384	466,5	705	514,5	462

C indica la muestra control; R, R' indican replicas.

Figura 6.-Especies más abundantes en los tratamientos de adición de sílice y el control.



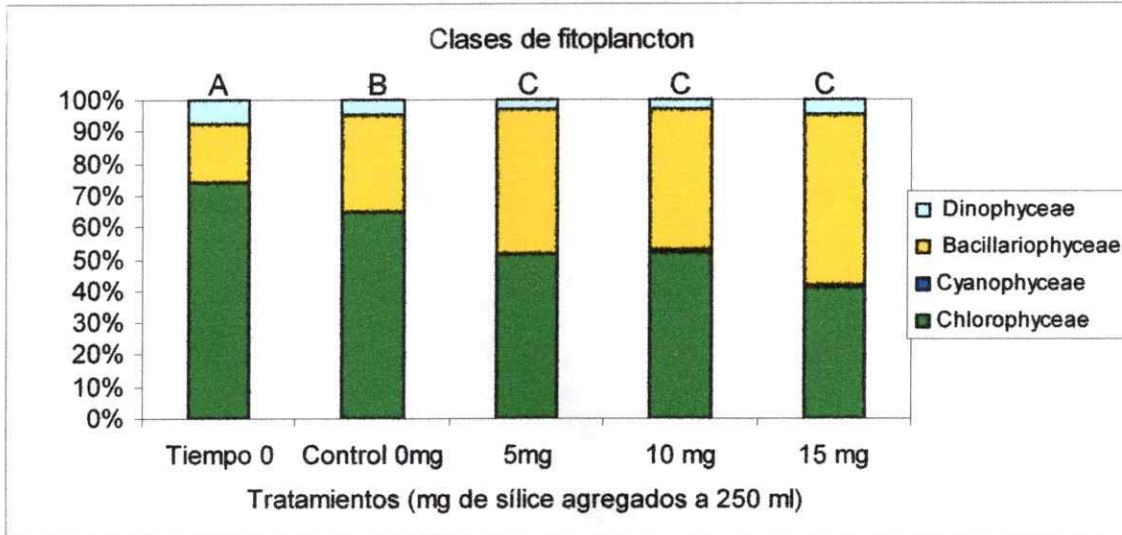
En cuanto a las proporciones del fitoplancton, no se detectaron diferencias significativas entre las proporciones de las clases en los tratamientos a los que se les agregó sílice, pero si existió diferencia significativa entre éstos, el control y el tiempo 0 (ver Figura 7 y Tabla 7). La Clase Bacillariophyceae sólo dominó en el tratamiento de 15 mg de sílice, en el resto la Clase Chlorophyceae dominó. La Clase Cyanophyceae fue la menos abundante en todos los casos.

Tabla 7. Resultados del análisis de χ^2 de muestras paridadas de las proporciones de las clases de fitoplancton.

	Tiempo 0	Control	5 mg	10 mg	15 mg
Tiempo 0	X	√ p = 0,026 $\chi^2 = 7,27$ gl = 2	√ p < 0,001 $\chi^2 = 31,62$ gl = 2	√ p < 0,001 $\chi^2 = 28,81$ gl = 2	√ p < 0,001 $\chi^2 = 50,56$ gl = 2
Control	√ p = 0,026 $\chi^2 = 7,27$ gl = 2	X	√ p = 0,008 $\chi^2 = 9,47$ gl = 2	√ p = 0,016 $\chi^2 = 8,24$ gl = 2	√ p < 0,001 $\chi^2 = 24,36$ gl = 2
5 mg	√ p < 0,001 $\chi^2 = 31,62$ gl = 2	√ p = 0,008 $\chi^2 = 9,47$ gl = 2	X	X p = 0,969 $\chi^2 = 0,063$ gl = 2	X p = 0,089 $\chi^2 = 4,84$ gl = 2
10 mg	√ p < 0,001 $\chi^2 = 28,81$ gl = 2	√ p = 0,016 $\chi^2 = 8,24$ gl = 2	X p = 0,969 $\chi^2 = 0,063$ gl = 2	X	X p = 0,075 $\chi^2 = 5,19$ gl = 2
15 mg	√ p < 0,001 $\chi^2 = 50,56$ gl = 2	√ p < 0,001 $\chi^2 = 24,36$ gl = 2	X p = 0,089 $\chi^2 = 4,84$ gl = 2	X p = 0,075 $\chi^2 = 5,19$ gl = 2	X

√ indica diferencia significativa p < 0,05. X indica sin diferencia significativa.

Figura 7.-Porcentaje de las clases de fitoplancton en el experimento.



Letras distintas (A,B,C) indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$).

4.5.-Tests de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov.

Los resultados de los test de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov aplicados en los distintos casos, indican normalidad (ver Tabla 8).

4.6.- Análisis de varianza (ANOVA) de una vía.

Según el análisis realizado en la comunidad fitoplanctónica del experimento, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos a los cuales se agregaron 5 mg, 10 mg y 15 mg de sílice. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas al comparar el tratamiento con 15 mg, con el control y el tiempo 0. Al comparar el tiempo 0 con los tratamiento de 10 mg y 5 mg existen diferencias (ver Figura 5 y Tabla 9).

Tabla 8.- Resultados de los tests estadísticos para normalidad.

Comunidad fitoplanctónica.

Test		—Estadístico—	—Valor p—
Shapiro-Wilk	W	0,970557	Pr < W 0,8662
Kolmogorov-Smirnov	D	0,108337	Pr > D >0,1500

Clase Bacillariophyceae.

Test		—Estadístico—	—Valor p—
Shapiro-Wilk	W	0,964055	Pr < W 0,7624
Kolmogorov-Smirnov	D	0,085056	Pr > D >0,1500

Clase Chlorophyceae.

Test		—Estadístico—	—Valor p—
Shapiro-Wilk	W	0,92571	Pr < W 0,2352
Kolmogorov-Smirnov	D	0,125564	Pr > D >0,1500

Clase Dinophyceae.

Test		—Estadístico—	—Valor p—
Shapiro-Wilk	W	0,946759	Pr < W 0,4749
Kolmogorov-Smirnov	D	0,148211	Pr > D >0,1500

Clase Cyanophyceae.

Test		—Estadístico—	—Valor p—
Shapiro-Wilk	W	0,709017	Pr < W 0,0003
Kolmogorov-Smirnov	D	0,351679	Pr > D <0,0100

En los tratamientos enriquecidos con sílice, la comunidad fitoplanctónica presentó un crecimiento algal mayor que el tiempo 0 y una tendencia al aumento de la abundancia al agregar sílice.

La Clase Bacillariophyceae, presentó una tendencia al aumento de la abundancia al aumentar la cantidad de sílice agregada. Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos a los que se le agregó sílice. Por otra parte, al comparar los tratamientos con 15 y 5 mg, con el control y tiempo 0 se pudieron observar diferencias significativas, además existieron diferencia entre el tratamiento con 10 mg y el tiempo 0 (ver Figura 8 y Tabla 9).

En la Clase Chlorophyceae no se observan diferencias estadísticas significativas que indiquen un aumento o disminución de su cantidad en los diferentes tratamientos, sin embargo es posible observar una leve tendencia negativa a medida que se agrega sílice. (ver Figura 9 y Tabla 9).

La Clase Dinophyceae presentó diferencias significativas al comparar el tratamiento con 15 mg, con los tratamientos de 10 mg y 5 mg, También se observó la misma situación al comparar los tratamiento con 10 mg y 5 mg con el tiempo 0 (ver Figura 10 y Tabla 9).

En la Clase Cyanophyceae no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos a los que se le agregó sílice. Hay diferencias significativas al comparar estos tratamientos (15 mg, 10 mg y 5 mg) con el control y tiempo 0. Esta clase

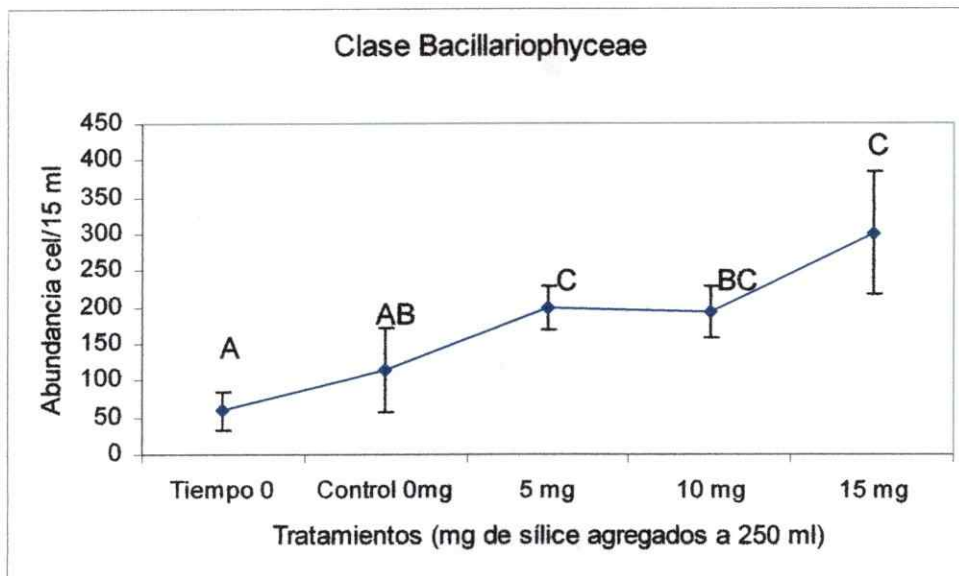
presentó un crecimiento algal mayor que el tiempo 0 y hay una tendencia no significativa estadísticamente al aumento de la abundancia al agregar sílice (ver Figura 11 y Tabla 9).

Tabla 9.- Resumen de los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de una vía entre los distintos tratamientos y el tiempo 0.

	Comunidad	Chlorophyceae	Bacillariophyceae	Dinophyceae	Cyanophyceae
15mg 10mg	X P=0.1379	X P=0.9679	X P=0.0589	√ P=0.0080	X P=0.9523
15mg 5mg	X P=0.1510	X P=0.9734	X P=0.0724	√ P=0.0099	X P=0.1067
15mg Control	√ P=0.0142	X P=0.2341	√ P=0.0016	X P=0.0858	√ P=0.0006
15mg Tiempo 0	√ P=0.0012	X P=0.4202	√ P=0.0001	X P=0.6357	√ P=0.0006
10mg 5mg	X P=0.9549	X P=0.9414	X P=0.9045	X P=0.9052	X P=0.1178
10mg Control	X P=0.2067	X P=0.2487	X P=0.0559	X P=0.1940	√ P=0.0007
10mg Tiempo 0	√ P=0.0175	X P=0.4427	√ P=0.0026	√ P=0.0185	√ P=0.0007
5mg Control	X P=0.1894	X P=0.2226	√ P=0.0454	X P=0.2327	√ P=0.0109
5mg Tiempo 0	√ P=0.0158	X P=0.4022	√ P=0.0021	√ P=0.0228	√ P=0.0109
Control Tiempo 0	X P=0.1667	X P=0.6794	X P=0.0985	X P=0.1869	X P=1.0000

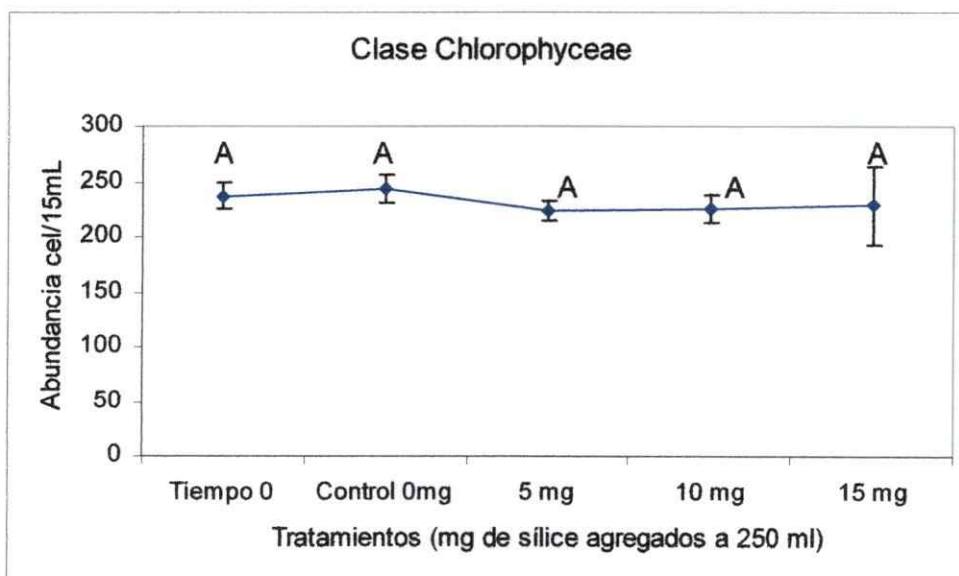
√ indica diferencia significativa $P < 0,05$. X indica sin diferencia significativa.

Figura 8.-Abundancia (valores promedio) de la Clase Bacillariophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.



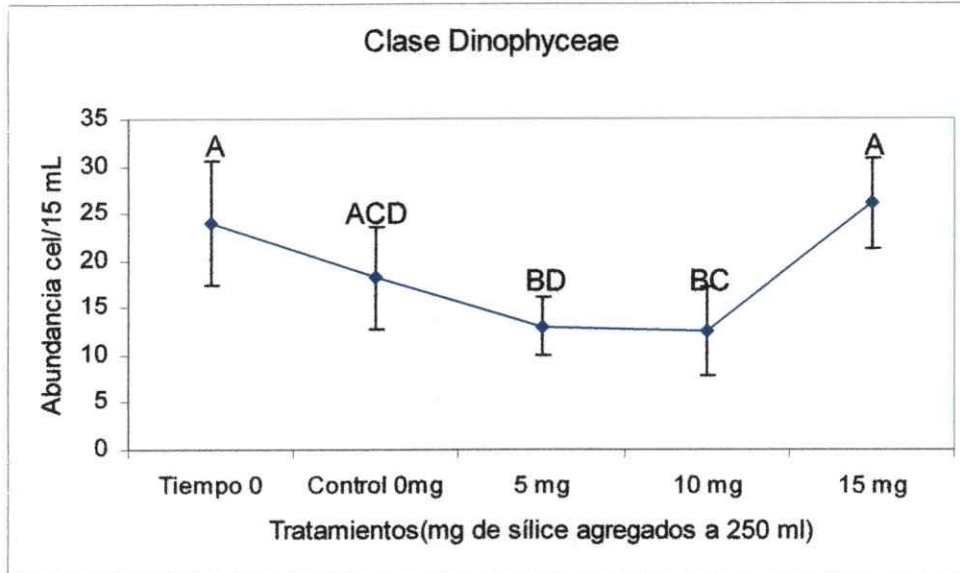
Letras distintas (A,B,C) indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Figura 9.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Chlorophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.



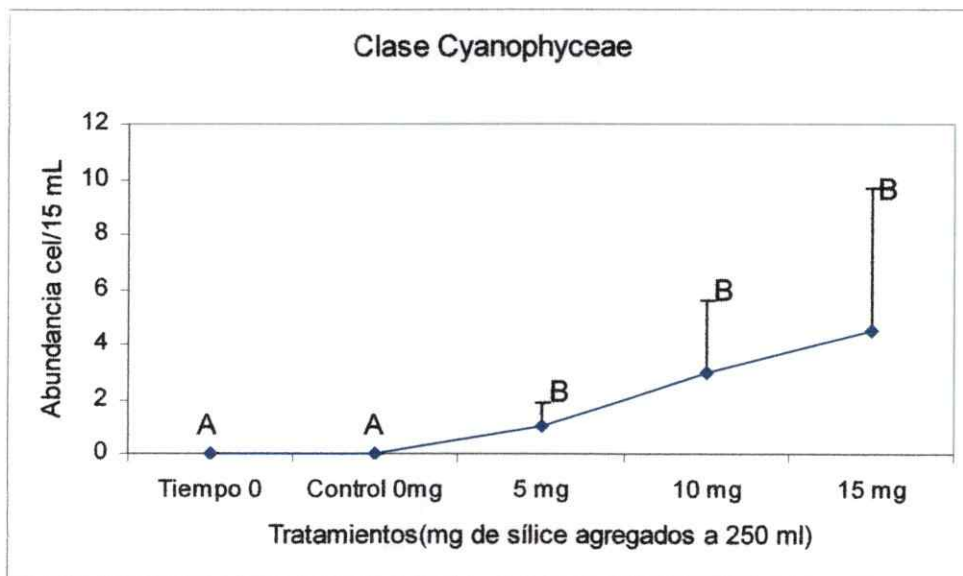
A indican ausencia de diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

Figura 10.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Dinophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.



Letras distintas (A,B,C,D) indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Figura 11.- Abundancia (valores promedio) de la Clase Cyanophyceae en los distintos tratamientos y tiempo 0.



Letras distintas (A y B) indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

4.7.- Clorofila *a* de la comunidad fitoplanctónica del experimento.

Los resultados del análisis estadístico de los valores de clorofila *a* de la comunidad, indican que la distribución es normal y no se observan diferencias estadísticas significativas, entre los diferentes tratamientos (ver tabla 10 y 11). Sin embargo, en los tratamientos a los que se agregó sílice, los valores de la clorofila fueron mayores al del control y existe una leve tendencia al aumento de la clorofila *a*. (ver Figura 12).

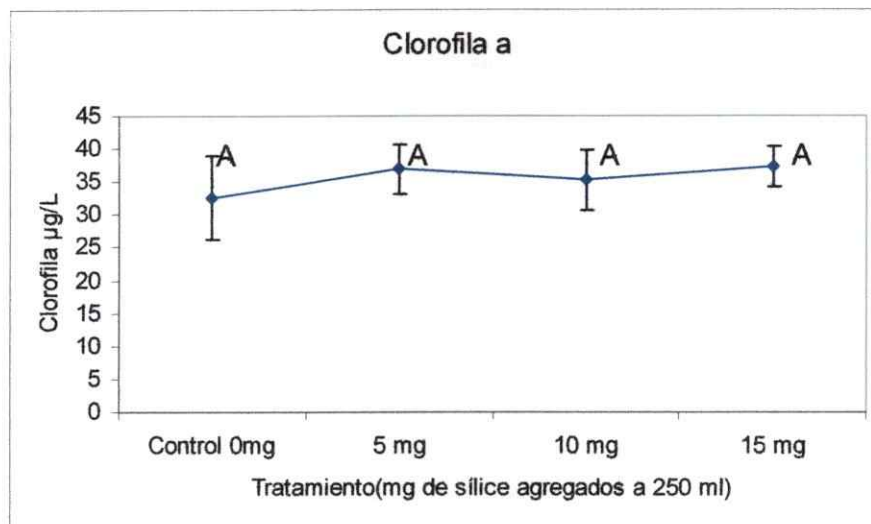
Tabla 10.- Valores de Clorofila *a* en los experimentos de adición de sílice.

Tratamiento	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	Tratamiento	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)
Control	25,45	10mg	39,38
Control	34,96	10mg	30,38
Control	37,33	10mg	36,14
5mg	32,75	15mg	40,57
5mg	39,54	15mg	36,14
5mg	38,37	15mg	34,96

Tabla 11.- Resumen de los resultados del ANOVA de una vía de la clorofila *a* entre los distintos tratamientos.

Fuente	SS	df	MS	F	P
Tratamiento [entre grupos]	40.3773	3	13.4591	0.6547	0.602227
Error	164.4711	8	20.5589		
Total	204.8484	11			

Figura 12.- Valores promedio de clorofila a ($\mu\text{g l}^{-1}$) en los tratamientos de adición de sílice.



A indican ausencia de diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$).

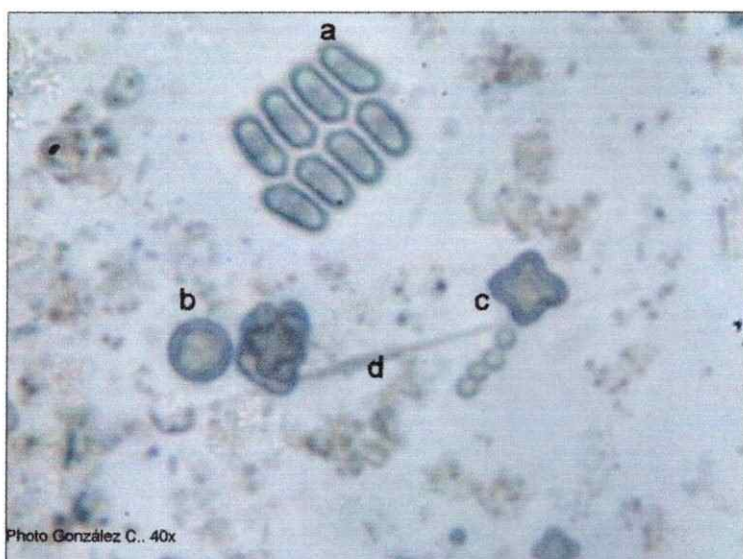
4.8.- Fotografías de la comunidad fitoplanctónica.

Figura 13. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tiempo 0.



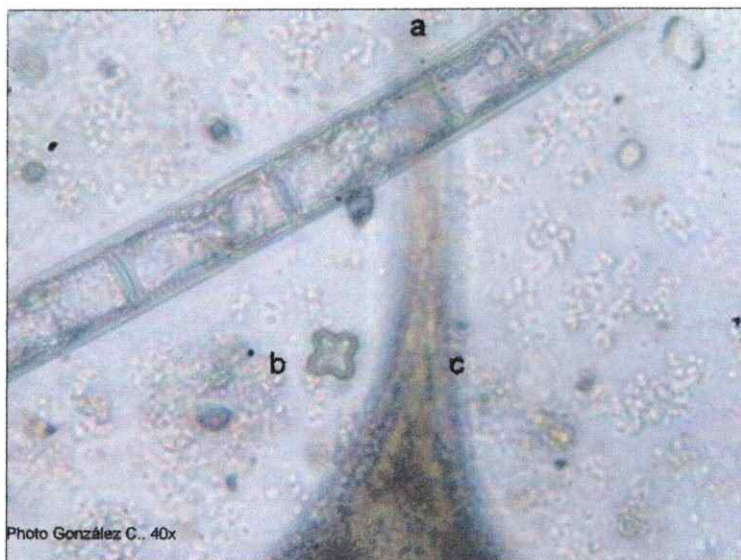
- (a) *Tetraedron minimun.*
- (b) *Chlamydomona sp.*
- (c) *Dictyosphaerium pulchellum.*
- (d) *Scenedesmus quadricauda.*

Figura 14. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tiempo 0.



- (a) *Scenedesmus ecomis.*
- (b) *Cyclotella meneghiniana.*
- (c) *Tetraedron minimun.*
- (d) *Synedra ulna.*

Figura 15. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del control.



- (a) *Aulacoseira granulata*.
- (b) *Tetraedron minimun*.
- (c) *Ceratium hirundinella*.

Figura 16. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del control.



- (a) *Tetraedron minimun*.
- (b) *Ceratium hirundinella*.
- (c) *Cyclotella meneghiniana*.

Figura 17. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 5mg de sílice.



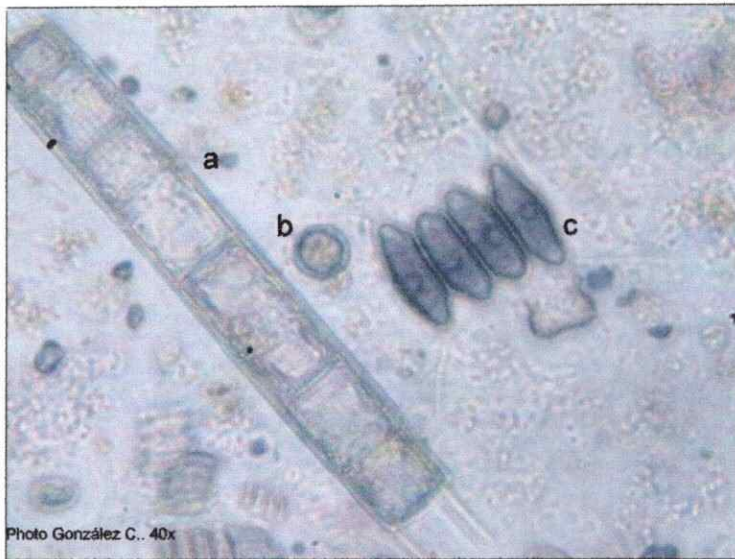
- (a) *Aulacoseira granulata*.
- (b) *Tetraedron minimun*.
- (c) *Cyclotella meneghiniana*.

Figura 18. Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 5mg de sílice.



- (a) *Aulacoseira granulata*.
- (b) *Tetraedron minimun*.
- (c) *Chlamydomona* sp.

Figura 19 Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 10mg de sílice.



- (a) *Aulacoseira granulata*.
- (b) *Cyclotella meneghiniana*.
- (c) *Scenedesmus quadricauda*.

Figura 20 Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 10mg de sílice.



- (a) *Aulacoseira granulata*.
- (b) *Tetraedron minimum*.
- (c) *Oocystis lacustris*.

Figura 21 Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 15mg de sílice.



(a) y (b) *Aulacoseira granulata*.

Figura 22 Fotografía de la comunidad fitoplanctónica del tratamiento con 15mg de sílice.



(a) y (b) *Aulacoseira granulata*.

5.-DISCUSIÓN

La transparencia medida por la profundidad de de disco de Secchi, la temperatura, la conductividad, y el fósforo total, encontrados en el embalse Peñuelas durante la realización de este trabajo, se encuentran entre los valores descritos en los estudios de la D. G. A. 1993 y el de Vila y col. 2006 (ver Tabla 12). El oxígeno disuelto detectado y acorde con la turbulencia diaria del sistema se encontró sobre el 100% de saturación. Los valores de pH, corresponden a rangos alcalinos que son propios del embalse (ver Tabla 12). Los valores de nitrógeno total, sílice y clorofila *a*, están sobre el rango de los estudios anteriormente señalados (ver Tabla 12). Todos los valores mostrados en la tabla 12 corresponden a un sistema con características meso a eutrófico.

Tabla 12.- Resumen de las variables medidas en los estudios de la D.G.A. (1993), Vila y col. (2006) y resultados de este trabajo.

Variable	D.G.A. (1993)	Vila y col. (2006)	Resultados
N total	1086,57 - 1531,78 $\mu\text{g l}^{-1}$	800 a 1600 $\mu\text{g l}^{-1}$	2537,61 $\mu\text{g l}^{-1}$
P total	22,13 - 78,78 $\mu\text{g l}^{-1}$	10 a 40 $\mu\text{g l}^{-1}$	49,05 $\mu\text{g l}^{-1}$
Sílice	54,11 - 128,02 $\mu\text{g l}^{-1}$	0,1 y 1,5 mg l^{-1}	2,33 mg l^{-1}
Oxígeno Disuelto	8,51 -10,19 mg l^{-1}	Valores sobre el 100% de saturación	8,14 mg l^{-1}
Temperatura	10,57 - 23,19 °C	13 - 25 °C	22 °C
pH	6,98 - 8,04	7 - 9	8,96
Conductividad	173,14 - 251,57 $\mu\text{S/cm}$	-	178,5 $\mu\text{S/cm}$
Disco Secchi	0,57 - 0,90 m	0,7 -1,60 m	0,75 m
Clorofila <i>a</i>	13,17 -22,88 $\mu\text{g l}^{-1}$	10 - 30 $\mu\text{g l}^{-1}$	34,95 $\mu\text{g l}^{-1}$

Los valores de fósforo, clorofila *a* y profundidad de Secchi medidos, según lo propuesto en el trabajo de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) en 1982, el embalse sería catalogado como eutrófico. Sin embargo esta situación, no puede considerarse como definitiva, ya que en la fecha en la cual se llevó a cabo el análisis, el embalse pasaba por una situación particular de fuerte estrés hídrico.

Los altos valores de los nutrientes que presentó el embalse, podrían deberse a la menor cantidad de agua del embalse. Al disminuir el volumen la carga de nutrientes se encontraría en un menor volumen de agua, lo cual sumado al posible efecto de evaporación y resuspensión, implicarían una mayor concentración de ellos, favoreciendo un incremento de la biomasa del fitoplancton (Vila y col., 2006). Sin embargo, una característica de los lagos eutróficos además de la elevada producción de microalgas y nutrientes es la marcada disminución del oxígeno disuelto desde la profundidad a la superficie (Ryding y Rast, 1992), esta situación no ocurre en Peñuelas debido a la baja profundidad y al efecto del viento, situación que lo mantiene en mezcla permanente. Esta última razón también explicaría la casi nula diferencia entre la abundancia del fitoplancton de la superficie y la de los 1,5 m.

La sílice es un elemento citado a nivel mundial como altamente disponible en los sistemas acuáticos (Hutchinson, 1957; Horne y Goldman, 1994; Wetzel, 2001), los valores naturales de este elemento son generalmente superiores a 5 mg l⁻¹, valor considerado limitante para el crecimiento de las microalgas diatomeas. Sin embargo, como se puede apreciar en la tabla 13, los valores de sílice no sobrepasan los 2 mg l⁻¹ en el embalse Peñuelas. Por otra parte, se ha citado que la abundancia de las

diatomeas en este sistema acuático, es baja y la diatomea *A. granulata*, está casi ausente, cuando en la mayoría de los sistemas lacustres chilenos, alcanza hasta el 90% de abundancia en el fitoplancton (Navarro y Avaria, 1971; Campos y col.1974; Vila y col., 2006). En la literatura, se cita a la baja concentración de sílice como una posible causa del bajo número de diatomeas (Hutchinson, 1957; Horne y Goldman, 1994; Vila y col., 2006), a pesar de esto, no ha sido aún comprobado experimentalmente en el embalse Peñuelas.

Las características descritas anteriormente, sumado al hecho de la baja influencia de contaminación antrópica, convierten al embalse Peñuelas (Reserva Nacional Lago Peñuelas), en un sistema acuático particular a nivel mundial y un excelente sitio de estudio, para evaluar los efectos de la limitación por sílice en la comunidad fitoplanctónica. La casi nula información encontrada acerca de lagos limitados por sílice, tanto en Chile como en el exterior, deja de manifiesto, tal como se cita en la información bibliográfica, que este nutriente es generalmente abundante en condiciones naturales (ver Tabla 13).

En la literatura se cita, que el crecimiento de las diatomeas está limitado por valores de sílice inferiores a 5 mg l^{-1} (Wetzel, 2001). El embalse peñuelas tiene valores naturales que no exceden los $1,5 \text{ mg l}^{-1}$ (Vila y col., 2006) valores excepcionalmente bajos comparado con otros sistemas nacionales e internacionales (ver Tabla 13).

Tabla 13.- Concentración de sílice en sistemas lacustres.

Sistema lacustre	Localización	Sílice(mgl ⁻¹)	Referencias
Lago Caburga	Chile	10,0	Campos 1984
Lago Villarrica	Chile	11,8	Campos y col. 1983
Lago Pirehueico	Chile	7,6	Campos y col. 1978
Lago Neltume	Chile	8,0	Campos 1984
Lago Calafquen	Chile	9,2	Campos 1984
Lago Panguipulli	Chile	7,9	Campos y col. 1981
Lago Llanquihue	Chile	3	Kilham 1971
Lago Riñihue	Chile	11,2	Campos 1984
Lago Ranco	Chile	11,3	Campos y col. 1982
Lago Puyehue	Chile	15,1	Campos y col. 1989
Lago Rupanco	Chile	12,5	Campos y col 1992
Lago Todos los Santos	Chile	12	Kilham 1971
Lago Norte	Antártica	8,8	Pradi & Gambia 2001
Ndalaga	Congo	17,3	Kilham 1971
Lago Kariba	Zambia	8,8	Kilham 1971
Nahuel Huapí	Argentina	12	Kilham 1971
Río Chantelfú	Chile	7,1	Campos y col. 1989
Río Triu triu	Chile	9,1	Campos 1984
Río Bonito	Chile	6,4	Campos y col 1992
Río Gol Gol	Chile	8,0	Campos y col. 1989
Río Ganges	India	5	Kilham 1971
Río Illinois	EE.UU.	28	Kilham 1971
Embalse de los Hurones	España	8	Rodriguez y col. 2002
Embalse Eleiyele	Nigeria	20,6	Kilham 1971
Embalse Peñuelas	Chile	1,5	Vila y col. 2006

En el experimento realizado para comprobar la posible limitación por sílice en los tratamientos en los cuales se agregó 5, 10 y 15 mg de este nutriente, tal como se postulara, se observó que las diatomeas, especialmente *A. granulata* exhibieron un cambio en su abundancia, aumentando significativamente respecto al control al cual no se le agregó sílice, además mostraron una tendencia no significativa estadísticamente al incremento relacionada con el aumento en la concentración de este nutriente. El aumento de *A. granulata* demuestra que tiene una gran capacidad para multiplicarse

rápidamente cuando las condiciones son favorables, en este caso tenemos altas concentraciones de sílice.

De acuerdo con los resultados de la abundancia de la comunidad fitoplanctónica, los valores de clorofila *a* mostraron el mismo comportamiento, excepto entre el control y el tratamiento de 15 mg en el cual existe diferencias significativas en la abundancia de la comunidad pero no de la clorofila *a* (ver Figuras 5 y 12). Esto podría deberse a *A. granulata* que es la especie más abundante en el tratamiento de 15 mg, tiene en el citoplasma vacuolas de gran tamaño que limitan el contenido de clorofila *a* (González y col., 2003), además en el trabajo de Almaguer y col. (2004) los niveles de clorofila *a* resultaron indicadores de crecimiento del cultivo de diatomeas, aunque no existía una relación directa de la concentración de clorofila *a* con la cuantificación en términos numéricos de las células, es decir, no se puede establecer una relación: concentración de clorofila/concentración celular. Se afirmó por tanto que la correspondencia entre la concentración celular y las determinaciones de la cantidad de pigmentos y otros componentes, no es constante ya que estos dependen de diferentes factores como el estado fisiológico de la célula y la fase de crecimiento del cultivo, así como de las condiciones físico-químicas a que están sometidas las células.

En condiciones naturales en el embalse Peñuelas las clases dominantes fueron Chlorophyceae, Bacillariophyceae y Dinophyceae, esta estructura comunitaria correspondería al período de fines de primavera, durante el cual se realizó el experimento con una temperatura de 22°C (Navarro y Avaria, 1971; Olgún y Domínguez, 1995). La especie más abundante durante el período de experimentación en el embalse fue la Chlorophycea *T. minimum*, pero en los tratamientos a los cuales

se les agregó mayores concentraciones de sílice la diatomea *A. granulata*, se cuantificó como la microalga más abundante.

Al comparar el control con los tratamientos a los que se agregó sílice, se pudo observar que la Clase Chlorophyceae presentó una tendencia no significativa a disminuir, tendencia contraria a la que presentaron las diatomeas. Esta respuesta del fitoplancton podría explicarse por la competencia por recursos entre ambas clases de microalgas. De acuerdo con los resultados se podría postular que las diatomeas serían mejores competidoras por recursos de nutrientes cuando la sílice está disponible en exceso, esto quedó de manifiesto en el tratamiento al cual se le agregó 15 mg de sílice, la clase Chlorophyceae como el grupo dominante en el resto de los tratamientos, fue reemplazada por las diatomeas.

La Clase Cyanophyceae no fue detectada en el tiempo 0 ni en el control, pero si en el resto de los tratamientos, esto porque a pesar de estar presente, no fue suficientemente abundante para alcanzar valores mínimos en los recuentos. Esta clase se caracteriza por aparecer cuando la concentración de fósforo disminuye y *Microcystis* y *Anabaena* son especies tolerantes al stress de nutrientes (Vasconcelos, 2006), si se observa la tabla 6 el tratamiento con 15 mg es el más abundante y por tanto los nutrientes se suponen más escasos, consecuentemente aumenta el número de cianobacterias.

La presencia de microalgas de la clase Dinophyceae no señaló un patrón definido durante el período experimental.

Estos resultados señalan la importancia de proseguir con experimentos más complejos que consideren la interacción de sílice con otros nutrientes, con el objetivo de conocer las respuestas de la comunidad fitoplanctónica especialmente a mayores tiempos de experimentación y realizados "*in situ*" en el embalse.

6.-CONCLUSIÓN

El embalse Peñuelas durante la primavera del año 2007, de acuerdo con los valores de nitrógeno, fósforo y clorofila *a*, presentó un estado eutrófico (ver Tabla 12).

Los valores de sílice (SiO_2) encontrados ($2,33 \text{ mg l}^{-1}$), señalan limitación por este nutriente para el crecimiento de la clase Bacillariophyceae, sobre todo de *A. granulata*. Esto se demostró experimentalmente al incrementar los valores de sílice a 5, 10 y 15 mg en 250 ml de agua extraída del embalse, ya que tanto diatomeas como *A. granulata* incrementaron su abundancia.

Una posible explicación, para los bajos niveles de sílice en Peñuelas, sería la composición de los suelos y el pequeño tamaño de la cuenca, conjuntamente con la baja actividad antrópica.

Cabe señalar que a la hora de predecir la biomasa fitoplanctónica del embalse Peñuelas basados en modelos que utilicen valores de nutrientes, no puede dejarse de lado la sílice, ya que es un nutriente que afecta en gran medida el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica, especialmente de los lagos chilenos.

7.-BIBLIOGRAFÍA

Almaguer Y., Alfonso E. & Leal S. 2004. Aislamiento y cultivo de dos especies de diatomeas bentónicas. *Rev. Invest. Mar.* 25(1):57-64.

American Public Health Association (APHA).1998. Standard Methods for the examination of water. 209th. Edition. American Public Health Association. Washington. D.C.

Araya B. & Millie G. 2000. Guía de campo de las aves de Chile. Novena edición. Editorial Universitaria. Santiago Chile. pp 406.

Cabrera, S. 1984. Estimación de la concentración de *clorofila a* y *feopigmentos*: Una revisión metodológica. In Bahamonde, N. & S. Cabrera (eds). Embalses, fotosíntesis y productividad primaria. Alfa-beta Ediciones, Santiago, Chile. pp 189-200.

Cabrera S. & Montecinos V. 1984. The meaning of the euphotic chlorophyll *a* measurement. *Verhandlungen Internationalen Verein Limnologie*, 22: 1328-1331.

Campos H., Bucarey E. & Arenas J. 1974. Estudios limnológicos del Lago Riñihue y Río Valdivia (Chile). *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción*, 48: 47-67.

Campos H., Arenas J., Steffen W., & Agüero G. 1978. Estudios limnológicos en el lago Pirehueico (Chile): Morfometría y características físico-químicas. *Medio ambiente*, 3 (2):76-88.

Campos H., Arenas J., Steffen W., & Agüero G. 1981. Morphometrical physical and chemical limnology of lake Panguipulli (Valdivia, Chile). *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.* 10:603-625.

Campos H., Arenas J., Steffen W., & Agüero G. 1982. Limnological study of lake Ranco (Chile) Morphometry, physics, chemistry and plankton. *Arch. Hydrob.* 94 2:137-171.

Campos H., Steffen W., Roman C., Zúñiga L. & Agüero G. 1983. Limnological studies in lake Villarica morphometric physical, chemical, planktonical factors and primary productivity. *Arch. Hydrobiol.* 65 (4):371-406.

Campos, H. 1984. Limnological study of Araucanian lakes (Chile). *Verhandlungen International Vereinigung Limnologie* 22:1319-1327.

Campos H., Steffen W., Roman C., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1989. Estudios limnológicos en el lago Puyehue (Chile): Morfometría, factores físicos y químicos, plancton y productividad primaria. *Medio Ambiente* 10(2) 36-53.

Campos H., Steffen W., Roman C., Agüero G., Parra O. & Zúñiga L. 1992. Limnological studies of lake Rupanco (Chile) Morphometry, chemistry, plankton and primary productivity. *Arch. Hydrobiol* 90(1) 85-113.

Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1986. Plan de manejo reserva forestal Peñuelas. Documento de trabajo N°77 Biblioteca CONAF.

CONAF. 2000. Censo de especies de fauna 1995-1999. Censos de áreas de concentración de fauna 1995-1999. Listado de vertebrados terrestres y dulceacuícolas de Chile y su distribución regionalizada. C. Cunazza y I. Benoit (eds).pp 29-31.

Del Amo Y. & Brzezing M.A. 1999. The chemical form of dissolved Si taken up by marine diatoms. *J. Phycol.* 35:1162-1170.

Dirección General de Aguas (DGA). 1993. Estudio limnológico del embalse Peñuelas, V Región. S.I.T. 17. Ministerio de Obras Públicas, Santiago de Chile. pp101.

Dyer, BS. 2000. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estud. Oceanol.* 19:77-98.

Golterman H.L., Clymo R.S. & Ohnstad M.A. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of freshwater.* 2 ed. Blackwell, Oxford.

González E., Ortaz M., Peñaherrera C., Montes E., Matos M. & Mendoza J. 2003. Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos. *Limnetica* 22(1-2): 15-35

Habit E. & Victoriano P. 2005. Peces de agua dulce de la cordillera de la costa. En C. Smith-Ramírez, J. Armesto y C. Valdovinos (eds.), Biodiversidad y Ecología de la cordillera de la costa de Chile. pp 374-389. Editorial Universitaria. Chile.

Horne A. & Goldman C. 1994. Other nutrients pp 172-191. En Limnology. McGraw-Hill, Inc. United States of America, New York.

Hutchinson, E.G. 1957. A treatise on limnology, John Wiley and Sons, Inc. London, New York. pp 1048.

Ingenieros Consultores S.A. (ICSA) & Corporación Nacional Forestal (CONAF). 1980. Estudio de proposiciones de potencialidades de desarrollo integral de la Reserva Forestal Lago Peñuelas. Informe Final. Biblioteca CONAF.

Kilham, P. 1971. A hypothesis concerning silica and the freshwater planktonic diatoms. Limnology and oceanography 16(1):10-18.

Martin-Jézéquel V., Hildebrand M. & Brzezinski M. 2000. Silicon metabolismo in diatoms: implications for growth. J. Phycol. 36:821-840.

Muhlhauser H., Soto L. & Zahradnik P. 1986. Improvement of the Kjeldahl Method for Total Nitrogen including Acid-Hidrolizable Phosphorous determinations in Freshwater Ecosystems. International Journal of Environmental and Analytical. Chemistry. 28 (3): 1-12.

Muñoz-Pedrerros A. & Yañez JL. 2000. Mamíferos de Chile. Ediciones CEA, Valdivia Chile. pp 464.

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

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

Organización para cooperación y desarrollo económico (OECD). 1982. Eutrophication: monitoring assessment and control. Organization for Economic Cooperation and Development, París. pp 154.

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

Prado M. & Gambia R. 2001. Análisis del agua y de la nieve de la estación antártica Comandante Ferraz, isla Rey Jorge, Antártica. Revista Biológica, 15(2):170-173.

Reynolds C. S., Montecinos V., Graf M. E. & Cabrera S. 1985. Short-term dynamics of a *Melosita* population in the plankton of an impoundment in Central Chile. Journal of Plankton Research, 8 (4):715-740.

Rodríguez M.R., Vidal L., Sales D. & Quiroga J.M. 2002. Evolución de la calidad de las aguas del embalse de Los Hurones para consumo público (Cádiz, España). Ingeniería del agua, 9 (2) 183-195.

Ryding S. & Rast W. 1992. Características de la eutrofización. En El control de la eutrofización en lagos y pantanos. pp 65-94 Ediciones Pirámide. Madrid. España.

Salas H. & Martino P. 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS 1981-1990. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente (CEPIS) pp 58.

SAS Institute (1998). "SAS/STAT User's Guide, Version 8". SAS Institute, Cary, NC.

Statsoft, Inc. (1995) STATISTICA for Window [computer manual]. Tulsa, OK; Statsoft, Inc., 2300 East 14 th street, Tulsa, OK, 74104-4442.

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. pp 75.

Utermöhl. 1958. Zur Vervoll Kommung der quantitativez Phytoplankton-Methodik. Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 9:1-3.

Vasconcelos, V. 2006. Eutrophication, toxic cyanobacteria and cyanotoxins: when ecosystems cry for help. *Limnetica*. 25 (1-2): 425-432

Vassar stats 2008. Vassar stats: Web Side for Statistical Computation.
<http://faculty.vassar.edu/lowry/VassarStats.html>

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

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

Villafañe V. & Reid F. 1995. Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton. En E.C. Oliveira y E. Sar. (eds), *Manual de Métodos Ficológicos*, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Vollenweider R.A. & Janus L.L. 1983. Statistical models for predicting hypolimnetic oxygen depletion rates. National Water Research Institute. Canada Centre for Inland Waters. Ontario. pp 38.

Wetzel, R.G. 2001. Iron, sulfur, and silica cycles. pp 289-330. En *Limnology*. Academia Press. San Diego, California. Third edition. pp 767.

Zahradnik P. 1981. Methods for Freshwater Analysis. International Course for Limnology. UNESCO. University of Viena. pp 43.

Zuñiga L. & Carvajal M.A. 1990. Cyanobacterial blooms in lake Peñuelas, a drinking water reservoir. Proceedings Second Bienal Water Quality Symposium. Microbiological Aspects. Santiago. Chile. pp 297-301.