

**EFFECTO DEL ENRIQUECIMIENTO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE  
EL ENSAMBLAJE FITOPLANTÓNICO EN MESOCOSMOS EN EL LAGO  
YAHUARCACA (LETICIA AMAZONAS COLOMBIA)**

**PABLO CÉSAR FLÓREZ VIDAL**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
LÍNEA DE ÉNFASIS EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS  
POPAYÁN  
2010**

**EFECTO DEL ENRIQUECIMIENTO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO SOBRE  
EL ENSAMBLAJE FITOPLANTÓNICO EN MESOCOSMOS EN EL LAGO  
YAHUARCACA (LETICIA AMAZONAS COLOMBIA)**

**PABLO CÉSAR FLOREZ VIDAL**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO**

**DIRECTOR  
Mg. CAMILO ANDRADE**

**ASESOR  
Mg. SANTIAGO ROBERTO DUQUE ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
LÍNEA DE ÉNFASIS EN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS  
CONTINENTALES  
POPAYÁN  
2010**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>- 1 -</b>
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>- 3 -</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>- 4 -</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>4.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	<b>- 6 -</b>
<b>5. MARCO TEORICO</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>5.1. PROCESOS DE EUTROFICACION ANTROPICA</b> .....	<b>- 7 -</b>
<b>5.2. NUTRIENTES LIMITANTES DE LA COMUNIDAD FITOPLACNTONICA</b> .....	<b>- 8 -</b>
<b>5.3. LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS AMAZONICOS</b> .....	<b>- 9 -</b>
<b>6. ANTECEDENTES</b> .....	<b>- 11 -</b>
<b>7. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>- 15 -</b>
<b>7.1. AREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>- 15 -</b>
<b>7.2. CONDICIONES LIMNOLOGICAS</b> .....	<b>- 15 -</b>
<b>7.2. DISEÑO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>7.2.1. SISTEMAS DE MESOCOSMOS:</b> .....	<b>- 17 -</b>
<b>7.2.2. TRATAMIENTOS:</b> .....	<b>- 18 -</b>
<b>7.3. FASE DE CAMPO</b> .....	<b>- 19 -</b>
<b>7.4. FASE DE LABORATORIO</b> .....	<b>- 21 -</b>
<b>7.4.1. ANÁLISIS DE NUTRIENTES</b> .....	<b>- 21 -</b>
<b>7.5. RECUENTO E IDENTIFICACIÓN DE FITOPLANCTON</b> .....	<b>- 21 -</b>
<b>7.5.1. VARIABLES</b> .....	<b>- 22 -</b>
<b>7.6. TRATAMIENTO DE DATOS:</b> .....	<b>- 24 -</b>
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>- 25 -</b>
<b>8.1. VARIABLES BIOLÓGICAS</b> .....	<b>- 25 -</b>
<b>8.1.1. COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA</b> .....	<b>- 25 -</b>
<b>8.1.2. RESULTADOS ESTADÍSTICOS</b> .....	<b>- 31 -</b>
<b>8.2. TEMPERATURA</b> .....	<b>39</b>

<b>9. DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
<b>9.1. VARIACION EN LA RIQUEZA Y ESPECIES DOMINANTES.....</b>	<b>40</b>
<b>9.2. ABUNDANCIA Y CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES.....</b>	<b>40</b>
<b>9.3. INTERACCIONES BIOLÓGICAS CON NIVELES SUPERIORES DE LA RED TRÓFICA.....</b>	<b>41</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>45</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Profundidad del Río Amazonas y nivel del sitio de muestreo en el periodo de estudio. ....</b>	<b>- 16 -</b>
<b>Figura 2. Foto aérea Lago Yahuaraca y el sitio de muestreo. Al fondo la ciudad de Leticia. ....</b>	<b>- 17 -</b>
<b>Figura 3. Instalación del sistema con mesocosmos in situ. ....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>Figura 4. Esquematización de los tratamientos y/o mesocosmos utilizados para evaluar el efecto de los nutrientes sobre la comunidad fitoplanctónica del lago Yahuaraca. ....</b>	<b>- 19 -</b>
<b>Figura 5. Cámara de sedimentación implementada en la metodología Utermöhl para la determinación de la abundancia y composición fitoplanctónicas. ....</b>	<b>- 23 -</b>
<b>Figura 6. Densidad de las clases de algas en cada tratamiento a través de los días de muestreo ....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 7. Densidad de las especies dominantes y la suma de las restantes, para las mezclas con menor concentración de nutrientes. ....</b>	<b>38</b>
<b>para el control y las concentraciones menores, a través del tiempo. ....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8. Densidad y riqueza fitoplanctónicas y su variación temporal en cada tratamiento para las mezclas con mayor concentración de nutrientes. ....</b>	<b>39</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1. Condiciones limnológicas del Lago Yahuaraca para el periodo de estudio (Modificado de Manjarres 2005) .....</b>	<b>- 16 -</b>
<b>Tabla 2. Variable a evaluar y equipos utilizados por variable. ....</b>	<b>- 23 -</b>
<b>Tabla 3. Composición fitoplanctónicas en los mesocosmos del lago Yahuaraca ....</b>	<b>- 25 -</b>
<b>Tabla 4. Especies representativas del 90 % de la abundancia total del bioensayo ..</b>	<b>- 29 -</b>
<b>Tabla 5. ANOVA Multivariante y Covarianza. (a) <math>R^2 = 0,461</math> (<math>R^2</math> corregida = <math>0,440</math>), (b) <math>R^2 = 0,345</math> (<math>R^2</math> corregida = <math>0,320</math>), (c) <math>R^2 = 0,459</math> (<math>R^2</math> corregida = <math>0,439</math>). ....</b>	<b>- 31 -</b>
<b>Tabla 6. Variables con diferencias significativas (<math>P &lt; 0,05</math>) con el estadístico de Mann Whitney según el día de muestreo .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla No 7. Análisis de correlación entre las variables analizadas .....</b>	<b>34</b>

## RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de una mezcla de nitratos y fosfatos en diferentes niveles sobre el ensamblaje fitoplanctónico tomando como variables la respuesta de la densidad, riqueza de especies y diversidad de Shannon en montaje *in situ* de mesocosmos en el lago Yahuaraca que está ubicado al costado izquierdo del río Amazonas, junto a la ciudad de Leticia. El experimento consistió en un sistema conformado por 20 recipientes plásticos transparentes con capacidad para 5L, llenados con agua del área de estudio (mesocosmos), que fueron sometidos a cinco tratamientos con concentraciones crecientes de una mezcla de fosfatos y nitratos. Para este estudio las especies representativas fueron *Pseudanabaena* sp, *Komvophoron constrictum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus opolensis*, *Oedogonium* sp2, *Criptomonas* sp1, *Trachelomonas* sp 1 siendo las dos primeras las dominantes. Los resultados obtenidos señalan que un posible enriquecimiento de nutrientes en especial nitratos y fosfatos en el lago Yahuaraca es la disminución en la diversidad y aumento de la abundancia de cianofíceas, particularmente las fijadoras de nitrógeno y algas filamentosas de gran tamaño generando un problema no solo al ensamblaje fitoplanctónico sino a toda la cadena trófica.

**Palabras clave:** Nitrógeno, fósforo, ensamblaje fitoplanctónico, mesocosmos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La pérdida de diversidad de los ecosistemas es uno de los problemas más importantes generados por la actividad humana (Vitousek *et al.* 1997). Una evidencia de esto es el incremento en la eutrofia en los sistemas acuáticos, que se está dando por actividades antrópicas y que teóricamente trae consigo una reducción de la riqueza y la tendencia al predominio de sólo algunas especies tolerantes al incremento de nutrientes (sobre todo fosfatos y nitratos) y los cambios físicos y químicos que de ello se derivan.

Los mesocosmos son sistemas frecuentemente utilizados en ecología acuática, considerándose un nivel intermedio entre los ensayos de laboratorio y los de campo. Estos sistemas ofrecen unas condiciones ecológicas más realistas que los test de laboratorio, permitiendo el estudio del comportamiento y de los efectos de los contaminantes.

En el siguiente trabajo se realizó montaje *in situ* de mesocosmos en el lago Yahuaraca que está ubicado al costado izquierdo del río Amazonas, junto a la ciudad de Leticia. El experimento consistió en un sistema conformado por 20 recipientes plásticos transparentes con capacidad para 5L, llenados con agua del área de estudio (mesocosmos), que fueron sometidos a cinco tratamientos con concentraciones crecientes de una mezcla de fosfatos y nitratos. El propósito es evidenciar cual es el efecto de los diferentes niveles de enriquecimiento con nitrógeno y fósforo, sobre el ensamblaje fitoplanctónico, tomando como variables la respuesta de la densidad, riqueza de especies y diversidad de Shannon.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Algunos ecosistemas acuáticos Amazónicos presentan altas diversidades en condiciones con tendencia a oligotrofia y particularmente el fitoplancton presenta una alta riqueza (Duque & Núñez-Avellaneda 2000) y se sabe que puede ser afectada por cambios en las concentraciones de nutrientes esenciales (Alvarado 1998), ya que estos son un factor importante que influye en la diversidad del fitoplancton. Una de las causas de este efecto de los nutrientes sobre la riqueza del fitoplancton, es que las especies suelen presentar diferentes capacidades competitivas para distintos nutrientes (Frangópulos *et al.* 2004).

El lago Yahuaraca es un ejemplo de este tipo de ambientes, que sin tener en algunas épocas una alta concentración de nutrientes, soporta una elevada diversidad, siendo un lugar ideal para que a través de procedimientos experimentales sea posible evaluar el efecto del incremento de nutrientes en la diversidad del fitoplancton, y por consecuente el efecto cascada que traería cambios en todos las demás niveles tróficos.

Por lo tanto el presente trabajo da respuesta a la siguiente inquietud

¿Cuál es el efecto del enriquecimiento de nitrógeno y fósforo sobre el ensamblaje fitoplantónico en mesocosmos ubicados en el lago Yahuaraca, Leticia Amazonas Colombia?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente uno de los problemas ambientales más graves de los ecosistemas leníticos y lóticos es la descarga continua de materiales contaminantes y como consecuencia de estos una acelerada eutrofización. Las principales fuentes de la contaminación acuática son las industrias, la agricultura y los desechos domésticos (Hynes 1974). La contaminación provocada por el hombre está poniendo en peligro la vida en el agua por el exceso de carga orgánica que agota el oxígeno, la agricultura moderna se ha convertido en una de las más graves amenazas para la vida en el agua y para la salud humana. Miles de kilómetros cuadrados de cultivos son a diario rociados en el mundo con todo tipo de sustancias tóxicas a base de fósforo, sumados con el uso masivo de abonos para fertilizar los terrenos son depositados en último término en los sistemas lénticos (Ramírez & Barg 1990).

Como producto de la descomposición aeróbica de la materia orgánica, se forman dióxido de carbono, agua y sales minerales, de las cuales las más importantes como nutrientes son los nitratos y fosfatos. El enriquecimiento por nitrógeno y fósforo, fenómeno llamado eutrofización, provoca un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que excede la capacidad herbívora de los invertebrados y los peces, y debido a la gran actividad fotosintética durante el día y respiratoria durante la noche, generan cambios fisicoquímicos profundos con grandes oscilaciones de oxígeno y pH en los ciclos día y noche (Zanotelli 2002). Al morir este exceso de algas y plantas van al fondo donde el problema de consumo de oxígeno se agrava cada vez más.

Los diferentes ecosistemas acuáticos lénticos del Amazonas Colombiano presentan alta diversidad (Duque *et al.* 1997). Particularmente en el lago Yahuaraca. El fitoplancton y zooplancton son comunidades con alta riqueza debido a la confluencia de aguas blancas y negras amazónicas y la gran heterogeneidad ambiental a nivel espacial y temporal (Andrade 2001, Duque & Núñez-Avellaneda 2000). Este ecosistema corresponde a un ambiente mesotrófico que combina su alta riqueza con una de las productividades fitoplanctónicas más altas entre los planos inundables de la región colombiana del río Amazonas (Duque *et al.* 1997).

Estos sistemas limnológicos no están exentos de que ocurran problemas de eutrofización, que teóricamente generen reducción en la riqueza y tendencia al predominio marcado de sólo algunos grupos dentro del plancton y otros niveles tróficos, por lo que es relevante predecir los efectos de este fenómeno en la dinámica ecológica del fitoplancton del Lago tropical Yahuaraca, lo que brindaría alternativas de soluciones ante un posible evento de enriquecimiento nutritivo artificial o prevención del mismo.

Estudios experimentales como el que aquí se propone permitirán controlar las variables pero sin alejarse mucho de las condiciones naturales, por ser un diseño *in situ*, y llegar a conclusiones más específicas sobre el efecto del incremento del Nitrógeno y el Fósforo sobre la comunidad del fitoplancton.

Este trabajo esta enmarcado dentro del macroproyecto del **II Curso tutorizado de especialización en ecología acuática continental**, organizado por la Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia y la universidad de Vigo España, cuyo objetivo general es determinar el efecto de un potencial incremento de los nutrientes (fosfato y nitrato) sobre la riqueza y la diversidad de especies de fitoplancton y zooplancton en algunos lagos del río Amazonas en Colombia.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar el efecto del enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) sobre el ensamblaje fitoplanctónico en mesocosmos ubicados en el lago Yahuaraca, Leticia Amazonas Colombia.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Adaptar la metodología del mesocosmos a un diseño experimental *in situ* con diferentes concentraciones de nutrientes, teniendo un bajo volumen de agua y mayor número de repeticiones.
2. Identificar la composición taxonómica del fitoplancton en cada uno de los mesocosmos.
3. Estimar la densidad, riqueza y diversidad de Shannon para el fitoplancton y su variación temporal en los diferentes mesocosmos.
4. Determinar la relación entre las concentraciones de Fosfato y Nitrato disueltos en cada mesocosmos, con la diversidad y densidad del fitoplancton.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. PROCESOS DE EUTROFICACION ANTROPICA

En su sentido literal la palabra eutroficación (del griego, *eu*: bien y *trophein*: nutrir) hace alusión a grandes cantidades de nutrientes en los ecosistemas acuáticos. Este término es acuñado inicialmente por Naumann en 1919 citado por Vezjak *et. al.* 1998 quien se refería a ecosistemas acuáticos con altos y bajos contenidos de algas como eutróficos y oligotróficos respectivamente. En 1931 este mismo autor definió la eutroficación como un aumento en la oferta de nutrientes enfatizando en los aportes de Nitrógeno y Fósforo.

Definiciones más recientes como Dodds (2002), Salas & Martino (1988) y Nandini & Ramakrishna (2000), indican que la eutroficación es un fenómeno indispensable en los ecosistemas acuáticos, ya que permite procesos de reciclaje de nutrientes, incremento de los nutrientes y por consecuencia incremento de la productividad y diversidad de todos los niveles tróficos presentes en los ecosistemas, a la vez se convierte en un factor controlador de la estructura y composición de la biota presente. Todos estos procesos ecológicos están enmarcados dentro del concepto de eutroficación natural, mientras que la eutroficación cultural, está relacionada con muchas actividades antrópicas que inciden directa e indirectamente en el enriquecimiento con nutrientes de los ecosistemas acuáticos; entre estos podemos destacar el uso de pesticida y nutrientes sintéticos en la agricultura, la evacuación de basuras, materia orgánica, aguas residuales y agroindustriales, sistemas de alcantarillado, etc. en los ecosistemas acuáticos (Vezjak *et. al.* 1998, Ramírez & Barg 1990).

Los productores primarios, en especial la comunidad fitoplanctónica por encontrarse en los niveles bases de la red trófica y ser los sintetizadores y productores energéticos de los ecosistemas acuáticos se convierten en el componente biológico en el que el proceso de eutroficación o estrés antropogénicos tiene repercusiones en etapas primeras, respondiendo en cambios drásticos en la estructura y composición con la dominancia y desaparición de algunos grupos este fenómeno ha sido denominado como Dinámica Estacional por Moncheva *et. al.* 2001.

Varios limnólogos e investigadores de los ecosistemas acuáticos enfatizan que la eutroficación es un fenómeno muy complejo que abarca procesos tanto bióticos como abióticos (Hunt & Matveer 2005, Jeppensen *et. al.* 2000, Lau & Lane 2002). Algunos

involucran el cambio climático global como Moncheva *et. al.* 2001. Otros como Tilman *et. al.* 1982 propone que hacer correlaciones entre concentraciones individuales de nutrientes, generalmente Nitrógeno, Fosforo y Silicio es simplista, mientras que involucrar mezclas de proporciones o relación de N:P:Si tienen efectos diferentes “sinergismo” sobre la estructura de la comunidad fitoplanctónica, pues no todas las especies tienen la misma respuesta de crecimiento a niveles bajos de diferentes recursos, por ello es recomendable abordar este fenómeno aproximándonos a la realidad del mismo con experimentos como el aquí planteado con evaluación de las variables en periodos largos, estudio de comunidades biológicas en diferentes niveles de la red trófica principalmente zooplancton ya que éstos mediante el forrajeo y la excreción de nutrientes controlan la estructura, composición de microalgas y el efecto de la turbiedad (Klun 2002, Sterner 1989, Hunt R & Matveer 2005, Nandini & Ramakrishna 2000)

La evaluación de la influencia de los peces principalmente filtradores sobre la comunidad fitoplanctónica también ha sido estudiada, autores como Hunt & Matveer 2005 proponen un efecto cascada por la selección en la talla del zooplancton o de las macrofitas acuáticas que beneficia a los organismos de menor tamaño que compiten directamente por los nutrientes inorgánicos y la luz (Meerhoff & Mazzeo 2004) este mismo autor también tiene en cuenta la muerte celular de peces que aporta nutrientes al sistema.

En resumen, las características autogénicas (fisiologías e historias de vida de las especies, competencia, predación, parasitismo, alelopatía y otros factores de control biológicos) y características alogénicas (condiciones del medio ambiente externa) son los controladores de la estructura y diversidad fitoplanctónica.

## **5.2. NUTRIENTES LIMITANTES DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTONICA**

Según Salas & Martino (1988) se entiende por nutriente limitante aquellos que controlan la estequiometría de la biomasa vegetal alcanzando un mínimo o agotamiento antes que cualquier otro nutriente relativos a tal estequiometría.

Diversos estudios encaminados a determinar el o los nutrientes limitantes para la comunidad fitoplanctónica señalan un conjunto amplio de elementos y variables físicas y químicas, entre estos podemos mencionar principalmente al Carbono (C), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Hidrogeno (H), Nitrógeno (N) y Fósforo (P) por ser los responsables de

procesos metabólicos y crecimiento del fitoplancton (Vezjak *et. al.*1998, Margalef 1983, Wetzel 1987), por ende son los elementos claves en procesos de eutroficación. La temperatura (Lau & Lane 2002) y periodos climáticos (Nandini & Ramakrishna 2000), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) la luz tiene un efecto selectivo sobre las especies fitoplanctónica. El Cloro (Cl<sup>-1</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), pH, alcalinidad, limitan el crecimiento algal (Tilman *et. al.* 1982, Klun. 2002). Otros elementos semejantes a Hierro (Fe) (Cavender-Bares *et al.* 1999, Gervais *et al.* 2002) y metales trazas pueden ser limitantes en algunas situaciones. Finalmente la materia orgánica e inorgánica con efectos positivos y negativos en la comunidad fitoplanctónica (Klun 2002).

Cerca del 90% de las fuentes consultadas señalan que el N y P y pocos que el Silicio (Si), son los elementos esenciales y limitantes de la biomasa y diversidad fitoplanctónica, haciendo énfasis que el N lo es generalmente para la zona tropical y los fosfatos para lagos temperados (Nandini & Ramakrishna 2000, Salas & Martino 1988, Ramírez *et. al.* 2002, Zaret *et. al.* 1981).

No obstante, muchos limnólogos e investigadores de los ecosistemas acuáticos enfatizan que la eutroficación es un fenómeno muy complejo que abarca procesos tanto bióticos como abióticos (Hunt & Matveer 2005, Jeppensen *et. al.* 2000, Lau & Lane 2002, Levine *et. al.* 1997).

### **5.3. LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS AMAZONICOS**

El río Amazonas, el más grande sistema fluvial sobre la tierra y el que vierte alrededor de la quinta parte del agua dulce total en los mares del mundo (Alvarado 1998), esta gran oferta hídrica esta clasificada en 3 categorías acorde a sus características físico-químicas: aguas claras, blancas y negras (Arbeláez 2000) a su vez son subdivididos en tipos I, II y III (Nuñez-Avellaneda & Duque 2001).

La fertilidad de estos ecosistemas hídricos (caños, quebradas, lagos, etc.), está regulada principalmente por la carga anual (nutrientes disueltos) del río Amazonas variando en los distintos periodos de lluvia y en los tramos geográficos.

La variación en los niveles del río origina una heterogeneidad espacio-temporal para las especies acuáticas, en donde se producen cambios periódicos en el hábitat, en la oferta alimenticia, en la disponibilidad de espacio y de las condiciones abióticas, que de una u otra manera influyen en sus ciclos biológicos (Bonilla. 2006)

Los lagos que pertenecen a la planicie de inundación del río Amazonas, sufren ciclos estacionales que son gobernados mayormente por la creciente y decreciente de los niveles del agua del río. Estas variaciones del nivel del agua crean cambios tanto físicos como químicos que corresponden a su vez en gran medida con fluctuaciones en las abundancias y composición de especies de las comunidades que habitan estos ecosistemas (Rodríguez 2003).

La región Amazónica Colombia con aproximadamente el 33% del territorio Nacional (Alvarado. 1998) posee 166 km. de los 6.771 km. correspondiente al 1.5% de la extensión total del río Amazonas, gran parte de estos compartidos con Perú (Bonilla 2006).

Estos sistemas limnológicos no están eximidos de que ocurra problemas de eutroficación cultural, por ello es relevante conocer como los nutrientes inorgánicos Nitrógeno y Fósforo alteran la dinámica ecológica de la comunidad fitoplanctónica del lago tropical Yahuaraca, lo que brindaría alternativas de soluciones ante un posible evento de enriquecimiento nutritivo artificial o prevención del mismo.

## 6. ANTECEDENTES

En zonas templadas del mundo, los efectos del enriquecimiento con nutrientes en la comunidad fitoplanctónica y otros componentes biológicos han sido estudiados profundamente, mientras que para el trópico y el área local, son escasos con excepción de Brasil, de toda la bibliografía consultada se pueden destacar:

Nandini & Ramakrishna (2000) es un estudio experimental comparativo entre la estación de verano e invierno en un lago de la India, utilizando la diversidad de Fito y Zooplancton y concentración de Clorofila "a" como variable respuesta de los nutrientes (N, P y abonos). Se encontró un efecto significativo del bentos (abono) sobre el ciclo y concentración de nutrientes, efecto muy evidenciado en los lagos someros. Se obtuvo un incremento en la Clorofila "a" en los tratamientos donde el N se encontraba en proporciones mayores y no estuvo relacionado mucho con los niveles de P, lo que indica que el nutriente limitante para este lago es el N. En periodos de invierno se resalta que a altas concentraciones de P decayó la biomasa, abundaba *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Cosmarium* y *Pandorina*, *Sphaerocystis*, *Cosmarium*, *Ulothrix* y *Sígneme*, mientras para verano abunda *Cosmarium*, *Gonium* y *Pandorina* sin presentar cambios estadísticamente significativo entre los tratamientos en cuanto a la diversidad.

Klun (2002) evaluó el efecto de la materia orgánica disuelta (MOD) y nutrientes inorgánicos P y N en la estructura y biomasa fitoplanctónica en intensidades lumínicas bajas y altas mediante microcosmos. Evidencio que el suplemento nutricional inorgánico y orgánico controlan la biomasa fitoplanctónica de acuerdo al gradiente lumínico, presentándose los mayores valores de biomasa en intensidades lumínicas mayores en comparación con el tratamiento de luz bajo, a pesar de igual concentración y composición de nutrientes, encontró un efecto negativo en los tratamientos con adición de la mezcla (MOD + N:P) en comparación con datos individuales con adición de que la estructura fitoplanctónica cambio de especies de tamaño pequeño al inicio a especies de mayor tamaño al final del experimento, quizás por la ausencia de macrozoopláncton.

Lau & Lane (2002) estudiaron en un lago eutrófico de Ucrania el efecto de la interacción entre procesos abióticos y dinámica biótica en la explicación de la variación de la biomasa del fitoplancton en lagos someros, llegaron a la conclusión que el zooplancton en especial *Daphnia* sp. juega un papel clave en el control de la densidad fitoplanctónica, encontrando también diferencias significativas en la concentración de clorofila "a" en las estaciones climáticas y que a mayores concentraciones de P total hay un incremento de la biomasa fitoplanctónica, convirtiéndose en recurso limitante. Algo por resaltar es que en este lago a pesar de

aplicar actividades de remediación como dragado, eliminación externa de nutrientes, asilamiento y biomanipulación durante más de una década no fue posible eliminar el estado eutrófico en el que se encuentra el lago demostrando la complejidad e irreversibilidad de este problema.

Jeppensen *et. al.*(2000) utilizaron datos de 71 lagos principalmente someros (con media de profundidad de 3m) de Dinamarca, los muestreos fueron realizados desde el 1 de mayo al 1 de octubre en periodo de invierno, se utilizaron variables respuesta riqueza y diversidad de Peces, fito y zooplancton, macrofitas acuáticas, siendo los nutrientes y profundidad las variables independientes. Se encontró una alta correlación entre los niveles de N total y P total, marcando la dificultad para discriminar sobre el efecto de cualquiera de los dos sobre la estructura de los niveles tróficos. Por otro lado es notoria una mayor riqueza de todos los componentes a las menores categorías de fósforo total, mientras que Rotíferos, Fitoplancton y peces presentan relación positiva con la profundidad de los lagos. Dinophytas, Chlorophytas, Diatomeas y Chrisophytas dominan en concentraciones de P total bajas, Cyanophytas y Diatomeas dominan en P total intermedios, mientras en P total altos dominan Cyanophytas y Chlorophytas con la desaparición de algunos grupos.

Hunt & Matveer (2005) realizaron bioensayos en mesocosmos del lago artificial Marcon al sureste de Queensland, Australia con media de profundidad de 34 m. para evaluar la relativa importancia de forrajeo por parte del zooplancton y limitación de nutrientes para controlar el fitoplancton. Los tratamientos consistían en la adición de diferentes concentraciones de N y P con ausencia y presencia de zooplancton y peces. Estos investigadores encontraron un efecto selectivo de los peces sobre la comunidad zooplanctónica y efecto cascada sobre el fitoplancton, además del efecto positivo del enriquecimiento con nutrientes sobre la media del crecimiento fitoplanctónica, siendo el nitrógeno y la mezcla de éstos, antes que el fósforo, los que inciden fuertemente.

Levine *et. el.* (1997) estudiaron el efecto del P, N y el Si como controlador de la biomasa y composición de especies fitoplanctónica en el lago Champlain (USA-Canadá); concluyendo que la interacción de factores múltiples influyen la abundancia y composición de especies, también encontraron que en primavera el crecimiento fitoplanctónico no está limitado por ninguno de los nutrientes, sino por otros factores como la luz y la temperatura, mientras que en verano el P es el principal nutriente limitante.

Para la cuenca amazónica haciendo énfasis en Colombia y el lago Yahuaraca podemos resaltar los trabajos de:

Lewis & Weibezahn (1976) mediante la comparación de 9 sistemas limnológicos Venezolanos en aspectos biológicos y físico-químicos discuten que el flujo energético, la biomasa y estructura de las diferentes comunidades presentes, varían de

forma que cada una de estos set de variables inciden en la composición de la comunidad fitoplanctónica.

Melack (1979), reconoce tres patrones temporales entre los lagos tropicales. La mayoría exhiben unas fluctuaciones estacionales pronunciadas que corresponden con variaciones en las lluvias, descarga del río y la mezcla vertical; otros presentan fluctuaciones diarias y un tercer patrón se distingue por un cambio brusco en la comunidad algal presente.

Zaret *et. al.* (1981), en estudios realizados en el lago Jacaretinga de la Amazonia Brasileira, confirman limitaciones por Nitrógeno y demuestran que la relación N:P es de relevancia en el control de la productividad.

Para el lago Yahuarcaca el único trabajo realizado hasta la fecha con experimentos de enriquecimiento de nutrientes es el de Alvarado en 1998, este investigador mediante la adición de 2 concentraciones diferentes de N y P en mesocosmos de dos litros y en condiciones de laboratorio, analizó en periodos de aguas altas y bajas la respuesta de la comunidad fitoplanctónica al enriquecimiento de N y P en incubaciones *in vitro*, los resultados hallados demuestran que los periodos hidroclimáticos es un fuerte controlador de este componente biológico, ya que los ensayos con fósforo indican que es el nutriente limitante en aguas altas para la abundancia y biomasa fitoplanctónica representada principalmente por *Zygothryx* (especialmente el genero *Desmidium*) y *Cyanophyceae* con *Oscillatoria* y *Merismopedia*; convirtiéndose el N en el nutriente limitante para los bioensayos de aguas bajas en especial para los grupos de *Chlorophyceae* con los géneros *Scenedesmus* y *Selenastrum*, *Zygothryx* (*Desmidium*) y *Cyanophyceae* con los géneros *Anabaena* y *Merismopedia*. También concluyeron que la estructura de la comunidad fitoplanctónica es modificada únicamente por la abundancia, ya que la diversidad no sufre cambios significativos entre los tratamientos, haciendo la salvedad que la riqueza de géneros es favorecida en los tratamientos con menores respuestas en abundancia.

Gonzales y Ortaz (1998), evaluaron el efecto del enriquecimiento con N y P sobre la comunidad fitoplanctónica en microcosmos de un embalse tropical (La Mariposa, Venezuela). Concluyeron que la eutroficación en el periodo de muestreo tendría efectos en: 1) la desaparición de algunos grupos, 2) el aumento de la biomasa, 3) El aumento de las *Cyanophyceae* y *Chlorophyceae*, 4) la disminución de las *Bacillariophytas*, especialmente a altas concentraciones de Nitratos. 5) El efecto negativo de los microcosmos con la extinción temporal de *Euglenophytas*, *Pyrophytas* y declive de las *Bacillariophytas*.

Varios autores han realizado estudios caracterizando la comunidad fitoplanctónica presente en sistemas de inundación del río amazonas incluyendo el lago Yahuarcaca y otros ríos de la cuenca señalando alta composición taxonómica. Es de resaltar el

trabajo de Duque (1998) quien señala textualmente dentro del proyecto "Catálogo ilustrado y biología de las comunidades de algas asociadas a sistemas acuáticos de la Amazonia colombiana" que adelantan desde 1995 el IMANI y el SINCHI, con el apoyo de las Universidades de Buenos Aires y La Plata en Argentina y el Instituto de Botánica de Sao Paulo (Brasil), se registran a la fecha 421 taxa de algas identificados a nivel de género, especie, subespecie, variedad o forma que están distribuidas en 10 clases taxonómicas las cuales corresponden a Zygothryxaceae con 29%, Bacillariophyceae 18%, Euglenophyceae 17.5%, Chlorophyceae (Chlorococcales) 17%, Cyanophyceae 8%, Crysophyceae 5%, Dinophyceae 3%, Tribophyceae 1.5%, y Cryptophyceae y Rhodophyceae con 1% cada una. Se espera que esta diversidad se incremente ya que hasta la fecha solo se ha revisado con detalle solo el 30% de las muestras de la colección de referencia "Ficoteca amazónica" de la Universidad Nacional, sede Leticia.

## 7. MATERIALES Y METODOS

El presente proyecto da continuidad al trabajo realizado en desarrollo del II Curso Tutorizado de Investigación en Ecología acuática orientado por la Universidad Nacional de Colombia – Sede Amazonía y la Universidad de Vigo, con el apoyo de la Universidad del Cauca. La metodología de campo y de laboratorio ya fue ejecutada por el estudiante que propone este proyecto en coordinación con los docentes del mencionado curso y otros participantes del mismo. El componente restante corresponde al análisis de la información para cumplir con los demás alcances definidos en los objetivos

### 7.1. AREA DE ESTUDIO

El lago Yahuaraca está ubicado al costado izquierdo del río Amazonas, junto a la ciudad de Leticia, a 4° 12' 11.76" de latitud Sur y 69° 57' 31.89" de longitud Oeste, a 71 m.s.n.m, en el sur del trapecio amazónico Colombiano que sirve como límite internacional con Perú y Brasil (**Figura 2**).

El lago Yahuaraca es un sistema con aguas blancas amazónicas tipo I (Núñez-Avellaneda & Duque 2001), con características mesotróficas, que tiene como afluentes la quebrada Yahuaraca y el río Amazonas, la primera tiene influencia permanente y mayor efecto en la temporada de lluvias local, aportando aguas negras amazónicas, mientras el segundo una vez al año, influenciado por las lluvias en la cabecera de la cordillera de los Andes, en los periodos de ascenso y aguas altas, aporta un gran volumen de agua rica en nutrientes y sedimentos (Alvarado 1998, Bonilla 2005, Castillo 2006). Los niveles máximos del lago se hallan en el periodo de marzo a mayo, descendiendo abruptamente a partir del mes de junio. En los meses siguientes (agosto – septiembre) los niveles del río ascienden gradualmente hasta completar su ciclo (Bahamón 1994) y en concordancia con la época de estudio.

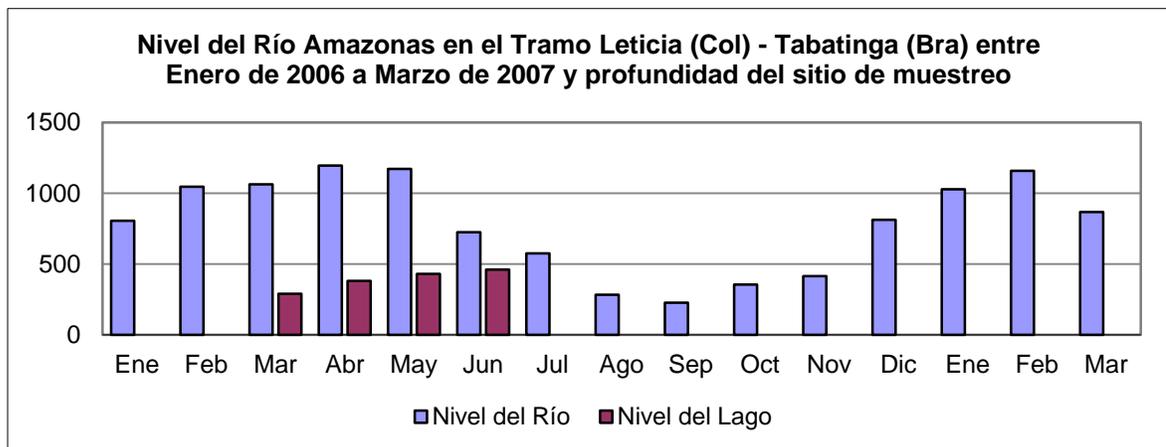
### 7.2. CONDICIONES LIMNOLOGICAS

En la **Tabla 1** se detallan el comportamiento físico-químico del Lago Yahuaraca en diferentes área geográficas y que coincide con el periodo de estudio del presente

trabajo. En general se encuentra condiciones muy bajas de nutrientes (N y P total) en todo el Lago indicando grado de Oligotrofia, baja concentración de O<sub>2</sub> disuelto con un promedio menor al 2 mg/l, en el lado opuesto se encuentra la capa fótica con un promedio superior a 1 m y la conductividad y con valores de pH entre 6 y 7.

**Tabla 1. Condiciones limnológicas del Lago Yahuaraca para el periodo de estudio (Modificado de Manjarres 2005)**

Coordenadas		Variables físico-químicas del Lago y Quebrada Yahuaraca en el Amazonas-Colombia										
Sur	Oeste	Temperatura (°C)	Conductividad $\mu$ S/cm	Oxígeno disuelto (mg/l)	pH	Disco Secchi (m)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	
4° 10' 122"	69° 57' 38,2"	27,5 (29,1-26,5)	61,7 (143,7-38,3)	1,5 (2,88-0,15)	7,0 (7,4-6,8)	1,0 (1,27-0,56)	2,9 (6,3-0,2)	0,19 (0,29-0,08)	0,14 (0,31-0,01)	0,24 (0,69-0,01)	93,5 (174,7-46,3)	
4° 9' 58,7"	69° 57' 48,3"	27,9 (30,1-26,5)	59,8 (134,3-39,8)	1,87 (3,77-0,51)	7,1 (7,5-6,8)	0,9 (1,18-0,41)	2,3 (4,4-0,1)	0,18 (0,31-0,13)	0,13 (0,48-0,01)	0,26 (0,89-0,01)	105,2 (195,3-32,2)	
4° 9' 36,8"	69° 58' 0,05"	27,5 (28,8-26,6)	51,3 (118,4-38)	1,91 (3,17-0,64)	6,8 (6,6-7,0)	1,29 (1,64-0,9)	2,6 (4,7-0,4)	0,21 (0,29-0,12)	0,15 (0,29-0,01)	0,23 (0,67-0,01)	110,9 (176,6-28,9)	
4° 9' 29,1"	69° 58' 0,05"	27,4 (28,5-26,3)	57,7 (126-39,7)	1,85 (3,05-0,34)	6,8 (7,2-6,4)	1,29 (1,64-0,9)	1,9 (4,3-0,1)	0,16 (0,31-0,10)	0,14 (0,41-0,01)	0,25 (0,89-0,01)	93,7 (162,8-41,4)	
4° 9' 16,2"	69° 58' 10,7"	27,2 (27,9-26,4)	39,9 (49,6-27,7)	1,36 (2,27-0,47)	6,5 (6,9-6,02)	1,13 (1,75-0,9)	2,6 (5,2-0,2)	0,21 (0,39-0,15)	0,16 (0,43-0,01)	0,19 (0,53-0,01)	102,4 (74,6-159,6)	
4° 9' 18,9"	69° 58' 0,09"	26,8 (27,5-26,2)	36,8 (44,3-26,5)	1,8 (2,45-0,78)	6,5 (6,9-6,1)	1,23 (1,75-0,9)	3,3 (4,9-0,3)	0,24 (0,41-0,12)	0,31 (0,79-0,04)	0,16 (0,44-0,03)	92,1 (55,8-122,4)	
4° 9' 4,1"	69° 57' 38"	26,7 (28,1-25,8)	32,7 (44,8-18,5)	1,76 (2,5-0,38)	6,2 (6,5-6,03)	1,03 (1,29-0,88)	2,1 (4,3-0,1)	0,21 (0,40-0,14)	0,39 (1,0-0,01)	0,14 (0,54-0,02)	111,9 (214,1-11,7)	



**Figura 1. Profundidad del Río Amazonas y nivel del sitio de muestreo en el periodo de estudio.**

## 7.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

### 7.2.1. SISTEMAS DE MESOCOSMOS:

Consiste en un sistema conformado por 20 recipientes plásticos transparentes con capacidad para 5L, llenados con agua del área de estudio, éstos se colocan cerrados sumergidos *in situ* durante aproximadamente 75 días (del 20 de marzo al 6 de junio del 2006) a 40 cm de profundidad, mantenida esta distancia con lastres o pesas fabricados con hierro, piedras, arena o mezclas entre estos, añadidos a la parte inferior mediante cuerdas plásticas. Los mesocosmos son sostenidos desde la superficie e interconectados mediante cuadrados fabricados con tubos de PVC de aproximadamente 2 cm de diámetro, con bloques de Icopor en las esquinas de 30 cm de ancho y 30 cm de largo y 10 cm de espesor para mantener la flotabilidad del sistema.



**Figura 2. Foto aérea Lago Yahuarcaca y el sitio de muestreo. Al fondo la ciudad de Leticia.**

Todo el sistema es mantenido en el lugar de muestreo mediante estacas de alrededor de 5 m enterradas al fondo, como también fue delimitado con 2 troncos de madera de alrededor de 10 m de largo y 1,5 m de diámetro para excluir la invasión por

macrofitas acuáticas. Adicionalmente se encierra todo el sistema con mallas de arte de pesca artesanal local, para evitar la acción de los delfines rosados (*Inia geoffrensis*).

### 7.2.2. TRATAMIENTOS:

Los mesocosmos fueron sometidos a 5 tratamientos [(N1:P1), (N2:P2), (N3:P3), (N4:P4) y (N5:P5)], correspondientes a 5 concentraciones diferentes de adición de Nitrógeno (N) + Fósforo (P) con tres repeticiones, simulando condiciones de defecto y exceso de los mismos, los 5 restantes corresponden a los controles con solo agua del lago sin adición periódica de nutrientes para un total de 20 mesocosmos: **Fósforo** en forma de fosfato ácido de potasio  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  [0.2  $\mu\text{M}$  (P1), 0.5  $\mu\text{M}$  (P2), 1  $\mu\text{M}$  (P3), 2  $\mu\text{M}$  (P4) y 5  $\mu\text{M}$  (P5)], Nitrógeno en forma de nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ) [0.5  $\mu\text{M}$  (N1), 2  $\mu\text{M}$  (N2), 5  $\mu\text{M}$  (N3), 10  $\mu\text{M}$  (N4) y 20  $\mu\text{M}$  (N5)] (Figuras 3 y 4)



**Figura 3. Instalación del sistema con mesocosmos in situ.**



recipientes de cada concentración de nutrientes, seleccionado al azar en los diferentes muestreos. Es de resaltar la variable temperatura por ser medida en intervalos de 30 minutos durante 24 horas del día y en todo el periodo de estudio, esto se realizó mediante el equipo MINILOG mantenido sumergido *in situ*, la información era descargada en su respectivo Software en un computador portátil en el laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia un día previo a la colecta de muestras de los diferentes mesocosmos y devuelto al día siguiente.

El día de la colecta se tomaron 500 ml de agua de cada uno de los mesocosmos, 250 ml fijados con lugol para la cuantificación fitoplanctónica, los 250 ml restantes divididos en 2 frascos plásticos con tapas y con 125 ml de Transeau previamente depositado, para la cuantificación de zooplancton por otros integrantes del equipo de trabajo y cuyo análisis forma parte de otro proyecto de grado. En cada salida de campo se colectaban 19 muestras, la faltante corresponden al control numero 5 eliminado por problemas logísticos.

Luego de la toma de muestras para fitoplancton y zooplancton, se colectaron de 2 replicas de 10 ml de agua de cada mesocosmos, en tubos de ensayos de igual capacidad, para un total de 98 alícuotas por salida de campo para la cuantificación de nutrientes disueltos, estos tubos estarán ordenados por pareja y concentración en 2 gradillas plásticas. Todo el conjunto era guardado a igual que las muestras anteriores en neveras de Icopor para su posterior procesamiento en laboratorio.

La última actividad en cada uno de recipientes era reponer el agua retirada, adicionando agua del mismo lago, colectada esta en el día anterior y filtrada mediante filtros de fibra de vidrio de 0.46  $\mu\text{m}$  de poro mediante bomba al vacío, para eliminar componente biológico y material particulado (un total de 5 L), seguida de la rerotulación de los mesocosmos.

Todas los muestreos se llevaron a cabo a bordo de 2 botes de madera de aproximadamente 4 m de largo con capacidad para 6 personas cada uno y una lancha de aluminio de aproximadamente 4 m de largo y 1.5 m. de ancho, manipulados manualmente mediante remos artesanales.

Las muestras fueron transportadas desde el sitio de muestreo hasta el puerto principal de la ciudad de Leticia en un bote de madera de 6 m de largo y 1 m de ancho con capacidad para 10 personas, impulsado a motor de gasolina, conocido localmente como peque-peque, de aquí eran llevadas hasta el laboratorio de limnología de la Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia mediante automóviles particulares.

## **7.4. FASE DE LABORATORIO**

Las actividades realizadas en laboratorio fueron llevadas a cabo el mismo día a la toma de datos y muestras, en el laboratorio de limnología de la Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia, del orden siguiente:

### **7.4.1. ANÁLISIS DE NUTRIENTES**

Filtrado de los 20 ml de muestras para determinación de nutrientes, esto fue realizado mediante sistema de filtrados (filtros de fibra de vidrio, Marcan Whatman GF/C de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro) mediante una bomba al vacío, los filtros eran desechados y el filtrado integral era depositado en Eppendorf con capacidad para 1.5 ml, en promedio se llenaban 15 Eppendorf los cuales eran etiquetados con sus respectivos tratamientos de forma similar a la rotulación de las muestras iniciales, seguido del almacenamiento (todas las muestras) en bolsas Ziplot separadas por tratamiento y concentraciones. Las muestras eran refrigeradas en un congelador a  $\pm 4$  °C durante un periodo no inferior a 25 días para tener un conjunto de tres salidas de campo congeladas y posterior enviadas a la Universidad de Vigo en el país de España para su análisis respectivo. En el laboratorio de limnología de la Universidad mencionada mediante un autoanalizador BRAN + LUEBBE AAIH, se cuantificaban las concentraciones de nutrientes disueltos, correspondientes a: amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), silicato ( $\text{SiO}_4^{-2}$ ) fosfato ( $\text{o-PO}_4^{-3}$ ) y carbono inorgánico (C). Los datos eran tabulados en una matriz de Excel.

## **7.5. RECUENTO E IDENTIFICACIÓN DE FITOPLANCTON**

En este proyecto se realizó la cuantificación fitoplanctónica y determinación taxonómica presente en cada uno de los mesocosmos, mediante la utilización de las cámaras Utermöhl que consiste en la sedimentación por un periodo de 10 a 48 horas de alicotas de muestra homogenizadas manualmente y depositadas en cámaras de sedimentación tubular con capacidad de 10 ml, esta actividad se realizó mediante un

microscopio invertido Olympus CK2 con objetivo de 40X, para la identificación se cuenta con un microscopio óptico Wild M20.

Para el cálculo de abundancia se utilizó la técnica de recuento por campos técnica estandarizada que consiste en contar campos al azar hasta completar un total de 200 algas habiendo contado un total de 100 campos:

$$N=X*[(A*d)/(a*v)]$$

Donde:

N = Numero de células en la muestra cel/ml

X = Numero de células por campo o número total de células de la cámara

A = Área de la cámara

V = Volumen de muestra sedimentada en la cámara

a = Área del campo óptico

D = Factor de dilución o concentración de la muestra (solo en caso de haber sido diluido o concentrado la muestra)

Se contaron filamentos y colonias como un sólo individuo y estos últimos con características específicas sin contar trozos o pedazos; al finalizar el conteo se realizó un recorrido general por toda la cámara Utermöhl en busca de especies no antes vistas.

Para la identificación taxonómica se compararon fotos y dibujo con los trabajos de Bicudo & Menendez (2005), Komàrek (1983), Komàrek (1974), Komàrek & Fott (1983) y la ayuda de especialistas durante el desarrollo del Curso Internacional de Actualización en “CYANOBACTERIAS Y CHLOROCOCCALES”, dirigido por la Doctora Celia Sant’Anna en la Universidad Nacional de Colombia; para la clasificación taxonómica se utilizó Guiry & Guiry (2007).

### **7.5.1. VARIABLES**

En la Tabla 2 se presentan las variables biológicas como dependientes de las variables físico-químicas, evaluadas en el presente estudio.

**Tabla 2. Variable a evaluar y equipos utilizados por variable.**

Variable definida	Indicador de la variable	Metodología / Equipo	Dimensiones, Clases, escalas o rangos de variación.
<b>VARIABLES BIOLÓGICAS</b>			
Composición Fitoplanctónica	Diversidad taxonómica	Microscopios ópticos	Desde Clase hasta especie
Abundancia absoluta	Nº de individuos de cada especie/l.	Utermöhl	Desde 0 ind/l a 0> ind/l
<b>VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS</b>			
Nutrientes (N, P, Si y C inorgánico)	Concentración de nutrientes disponibles para la comunidad fitoplanctónica y % de cambio de éstos y relación N:P medidos en mg/l	Autoanalizador BRAN + LUEBBE AAIH	Desde 0 µM/l a 0> µM/l
pH	Grado de acidez y basicidad	pH-metro Cole-Parmer 59000-25	Ácido, neutro, básico
Conductividad eléctrica	Concentración de iones totales disueltos en el agua	Conductímetro HACH	Desde 0 µS/cm a 0> µS/cm
Temperatura	Energía calorífica en °C	MINILOG	Desde 0 °C a 0 > °C
O <sub>2</sub>	% de saturación de O <sub>2</sub> y concentración de O <sub>2</sub> en mg/l disuelto en el agua	Oxímetro YSI 57	De 0% a 0>% y mg O <sub>2</sub> /l respectivamente
Disco Secchi	Longitud de la zona fótica medida en m.	Disco Secchi	Desde 0 cm a 0 > cm.
Profundidad	Longitud total de la columna de agua medida en m.	Ecosonda Echotest LCD digital sounder.	Desde 0 m a 0> m.



**Figura 5. Cámara de sedimentación implementada en la metodología Utermöhl para la determinación de la abundancia y composición fitoplanctónicas.**

## **7.6. TRATAMIENTO DE DATOS:**

Para evidenciar diferencias dentro y entre las variables se utilizó ANOVA a una vía y multifactorial, con previo análisis de distribución normal y homogeneidad de varianzas, sino se cumplían estos supuestos se realizó la transformación de datos.

En el análisis multivariante se utilizó como covariable el tiempo de muestreo y como factor el tratamiento, para el análisis de cambios en la diversidad fitoplanctónica utilizando la abundancia cuantitativa de las especies en los diferentes tratamientos, se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Wiener y similaridad Bray-, igualmente se realizaron análisis de Mann-Whitney.

Se hizo un análisis de regresión y correlación entre la abundancia numérica y las diferentes variables, enfatizando en los nutrientes, esto para determinar el efecto de los valores absolutos y la relación entre estos sobre la estructura y composición fitoplanctónica

## 8. RESULTADOS

### 8.1. VARIABLES BIOLÓGICAS

#### 8.1.1. COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA

La comunidad fitoplanctónica del lago Yahuaraca encontrada en los tratamientos analizados en cada período está conformada por 228 especies, distribuidas en 14 clases, 37 órdenes, 60 familias y 103 géneros, 22 taxa restantes por disponibilidad de los tipos encontrados sólo se pudo describir hasta familia, órdenes o clases, para un total de 250 taxa (**Tabla3**).

En respuesta a esto la discusión se hace en aquellos taxa que están presentes dentro del 90% de la abundancia total (**Tabla 4**), enfatizando en las especies dominantes, determinadas éstas con la contribución igual o mayor al 5% de la densidad total. Esto es recomendado para tratar de eliminar especies raras que puedan formar grupos arbitrarios (Clarke 1993), lo que permite determinar más fácilmente el posible patrón que presentaría la comunidad fitoplanctónicas del lago Yahuaraca en los diferentes niveles de tratamientos.

**Tabla 3. Composición fitoplanctónicas en los mesocosmos del lago Yahuaraca**

---

BACILLARIOPHYCEAE	<i>Urosolenia longiseta</i> (Zacharias) Bukhtiyarova 1995
CYMBELLALES	THALASSIOSIRALES
<i>Cymbella</i> sp.	<i>Cyclotella</i> sp (Kützing) Brébisson 1838
<i>Gomphonema</i> sp.1 Ehrenberg 1832	CRYPTOPHYCEAE
<i>Gomphonema</i> sp.2	CRYPTOMONADALES
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg 1840	<i>Cryptomonas</i> sp1 (C.G. Ehrenberg 1983)
<i>Gomphonema</i> sp.3	<i>Cryptomonas</i> sp2
<i>Gomphonema spaerophorum</i>	<i>Cryptomonas</i> sp3
<i>Gomphonema</i> sp4	CYANOPHYCEAE
<i>Gomphonema</i> sp5	CHROOCOCCALES
EUNOTIALES	<i>Chroococcus limneticus</i> var <i>subsalsus</i> Lemmermann 1901
<i>Eunotia</i> sp1 Ehrenberg 1837	<i>Aphanothece</i> sp1 Nägeli 1849
<i>Eunotia</i> sp2	<i>Trochiscia</i> sp1 Kützing 1834

*Eunotia* sp3  
*Eunotia minor* Grunow

#### PENNALES

*Nitzschia* sp1  
*Nitzschia* sp2  
*Nitzschia* sp3

*Nitzschia* sp4  
*Nitzschia* sp5  
*Nitzschia* sp6

#### NAVICULALES

*Frustulia* sp1 Rabenhorst 1853  
*Navicula* sp1 Bory de Saint-Vincent 1822  
*Caloneis* sp P. Cleve 1894.  
*Diatomella* sp Greville 1855

#### SURIRELLALES

*Cymatopleura solea* (Br  ares) W. Smith  
*Amphora* sp Ehrenberg ex K  tzing 1844  
*Amphora* sp2

*Cyclotella* sp (K  tzing) Brébisson 1838

#### THALASSIOSIRALES

*Stephanodiscus* sp

#### CHLOROPHYCEAE

##### CHAETOPHORALES

*Chaetophora* sp F. Schrank 1783  
*Pseudochaete crassisetum* (W. West y G.S. West) W. West y G.S. West

*Chladophora* sp1

*Chladophora* sp2

##### CHLOROCOCCALES

*Actinastrum hantzchii*

*Actinastrum* sp Lagerheim 1882

*Ankistrodesmus fusiformis* CORDA 1838

*Tetr  edron triangularis* Korshikov

*Tetr  edron regularis* (Fuetzing)

*Dictyosphaerium pulchellum* H.C. Wood

*Dimorphococcus lunatus* A. B.R. BRAUN.  
A 1855

*Pediastrum duplex* Meyen 1829

*Pediastrum tetras* (EHRENB.) RALFS.J.  
1844

#### NOSTOCALES

*Anabaena* sp2 Bory de Saint-Vincent ex  
Bornet y Flahault 1886

*Anabaena*

*Anabaenopsis* sp Woloszynska 1923

*Raphidiopsis* sp F.E. Fritsch y F. Rich 1929

*Nostoc* sp1 Vaucher ex Bornet et Flahault  
1886

*Nostoc* sp2

*Calothrix* sp

*Scytonema* sp

#### OSCILLATORIALES

*Komvophoron constrictum* (Szafer)

*Borzia* sp1, Cohn ex Gomont 1892

*Borzia* sp2

*Lyngbya* sp1 C. Agardh ex Gomont 1892

*Lyngbya* sp2

*Lyngbya* sp3

*Oscillatoria tenuis*. Ag. 1813

*Oscillatoria* sp1 Vaucher ex Gomont 1892

*Oscillatoria* sp2

*Phormidium* sp Kützing ex Gomont 1892

*Leptolyngbya* sp Anagnostidis y Kom  rek  
1988

#### PSEUDANABAENALES

*Pseudanabaena* sp.Lauterborn 1915

#### SYNECHOCOCCALES

*Aphanocapsa* sp1 Nägeli 1849

*Aphanocapza* sp2

*Coelomoron* sp Buell 1938

*Coelosphaerium* sp Nägeli 1849

*Merismopedia* sp Meyen 1839

*Rhabdogloea* sp Schr  der 1917

#### DINOPHYCEAE

##### PERIDINIALES

*Peridinium* sp C.G. Ehrenberg 1832

#### EUGLENOPHYCEAE

##### EUGLENALES

*Euglena* sp1 Ehrenberg 1830

*Euglena* sp3

*Sorastrum americanum* var. *Americanum*. ( Bohl )  
*Sorastrum* sp  
*Ankistrodesmus bernardii* KOM .1983  
*Dactylococcus infusionum* Nägeli  
*Diacanthos belenophorus* Korshikov  
*Kirchneriella irregularis*  
*Kirchneriella lunaris* ( Kirchn) Mob  
*Kirchneriella* sp1 Schmidle 1893  
*Lagerheimia* sp R. Chodat 1895  
*Monoraphidium* sp1 Komárková-Legnerová 1969  
*Monoraphidium* sp2  
*Monoraphidium* sp3  
*Nephrocytium limneticum* Gm. Smith  
*Nephrocytium* sp2 Nägeli 1849  
*Nephrocytium* sp3  
*Nephrocytium* sp4  
*Oocystis lacustris* Chodat  
*Oocystis* sp1, A. Braun 1855  
*Oocystis* sp2  
*Oocystis* sp3  
*Oocystis* sp4  
*Selenastrum gracile* (Reinsch)  
*Coenocystis subcylindrica*. Korshikov  
*Crucigeniella* sp1 Lemmermann 1900  
*Crucigeniella* sp2  
*Crucigenia* sp1Morren 1830  
*Crucigenia* sp2  
*Coelastrum* sp1 Nägeli 1849  
*Coelastrum* sp2  
*Elakatothrix* s. Wille 1898  
*Desmodesmus opoliensis* (P. Richter) E. Hegewald  
*Desmodesmus* sp1 An, Friedl y hegewald 1999  
*Scenedesmus ecornis* [var] *polymorfhus*. R. CHOD. 1926  
*Scenedesmus quadricauda* (Turpin)  
*Scenedesmus brevispina* (G.M. Smith) R. Chodat 1926  
*Scenedesmus opoliensis* var. *aculeatus* HORTOB 1960  
*Phacus* sp1 Dujardin 1841  
*Phacus* sp2  
*Trachelomonas* sp1 C.G. Ehrenberg 1835  
*Trachelomonas* sp2  
*Trachelomonas* sp3  
*Trachelomonas* sp4  
*Trachelomonas* sp5  
*Trachelomonas* sp6  
*Trachelomonas* sp7  
*Trachelomonas* sp8  
*Trachelomonas* sp9  
*Trachelomonas* sp10  
*Strombomonas* sp Deflandre, 1930  
STYLONEMATOPHYCEAE  
STYLONEMATALES  
*Chroodactylon* sp Hansgirg 1885  
SYNUROPHYCEAE  
SYNURALES  
*Mallomonas* sp Perty 1852  
ULVOPHYCEAE  
ULOTRICHIALES  
*Binuclearia* sp1 Wittrock 1886  
*Binuclearia* sp2  
*Radiofilum* sp Schmidle 1894  
*Ulothrix* sp 1 Kützing 1833  
*Ulothrix* sp2  
XANTHOPHYCEAE  
MISCHOCOCCALES  
*Ophiocytium* sp1 Nägeli 1849  
*Ophiocytium* sp2  
cfc. *Ophiocytium* sp  
*Isthmochloron lobulatum* (C. Nägeli) H. Skuja  
*Pseudotetraedron neglectum* Pascher  
cfc. *Tribonema* sp Derbes y Solier 1956  
TRIBONEMATALES  
*Tribonema* cfc. *monocloron* Pascher et Geitler.

*Scenedesmus acuminatus* Chodat 1902  
*Scenedesmus* sp2 Meyen 1829  
*Scenedesmus arcuatus* Lemmermann 1899  
*Scenedesmus acuminatus* var. Sp2  
*Scenedesmus incus*

*Scenedesmus acutus* Meyen *Scenedesmus*  
*sp1* Meyen 1829  
*Scenedesmus* sp2  
*Scenedesmus* sp3  
*Scenedesmus* sp4  
*Scenedesmus* sp5  
*Scenedesmus* sp6  
*Scenedesmus* sp7  
*Tetrallantos* sp *Teiling* 1916

#### MICROSPORALES

*Microspora* sp1 Thuret 1850

*Microspora* sp2

#### OEDOGONIALES

*Oedogonium inconspicuum* Hirn 1895

*Oedogonium* sp1 Link 1820

*Oedogonium* sp2

*Oedogonium* sp3

*Oedogonium* sp4

*Oedogonium* sp5

*Oedogonium* sp6

*Oedogonium* sp7

*Oedogonium* sp8

#### TETRASPORALES

*Sphaerocystis schroeteri* R. Chodat 1897

*Sphaerocystis* sp1, R. Chodat 1897

*Sphaerocystis* sp2

#### TRENTEPHOLIALES

*Physolinum* cfc. *Monilia*

*Carteria* sp. Diesing 1866

#### VOLVOCALES

*Eudorina* sp1 C.G. Ehrenberg ex Ralfs 1832

#### ZYGNEMATOPHYCEAE

##### ZYGNEMATALES

*Closterium* sp1 (Nitzsch ex Ralfs)

*Closterium* sp2 (Nitzsch ex Ralfs)

*Cosmarium pseudoincrassatum* P. Bourrelly  
y A. Cout

*Cosmarium amoenum* Brébisson

*Cosmarium catcareum*

*Cosmarium* sp1 Ralfs 1848

*Cosmarium* sp2

*Cosmarium* sp3

*Cosmarium* sp4

*Cosmarium* sp5

*Arthrodesmus* cfc. *Octocornis* C.G.  
Ehrenberg ex Ralfs

*Desmidium bengalicum*. W.B. Turner

*Euastrum brasiliense* Borge var. minus G. S.  
West

*Euastrum evolutum* var. *Perornatum*

*Euastrum elegans* Kützing ex Ralfs

*Euastrum gemmatum* (Brébisson).

*Euastrum* sp1 C.G. Ehrenberg ex Ralfs 1848

*Euastrum* sp2

*Micrasterias radians* var. *Bogoriensis*

*Micrasterias rotata* var. *Rotata*.f. *Rotata*

*Micrasteria* sp1 C. Agardh 1848

*Onychonema* leave. Var. *macracanthum*.  
Gronblad.

*Pleurotaenium* sp Nägeli 1849

*Staurodesmus dickiei* (Ralfs) F. Lillieroth  
1969

*Stauradesmus triangularis*

*Staurodesmus* sp1 Teiling 1948

*Staurodesmus* sp2 Teiling 1948

*Staurastrum anachne* Ralfs var. *Curvatum*  
W. Et B.S. West.

*Staurastrum caronense* (Irénée-Marie)

*Staurastrum cruciatum* A. Heimerl

*Staurastrum disputatum* w. Et G.S. West var  
*extensus* ( Borge) W. Et G.S. West

*Staurastrum dilatatum* Ehrenberg.

*Staurastrum gladiusum* W.B. Turner

<i>Eudorina</i> sp2	<i>Staurastrum grillatorium</i> C.F.O. Nordstedt
<i>Eudorina Pandorina</i> sp	<i>Staurastrum leptacanthum</i> F. Amazonense. F.1969
<b>CHRYSOPHYCEAE</b>	<i>Staurastrum</i> sp1 (Meyen) Ralfs 1848
<b>CHROMULINALES</b>	<i>Staurastrum</i> sp2
<i>Chromulina</i> sp L. Cienkowsky 1870	<i>Staurastrum</i> sp3
<i>Dinobryum bavaricum</i> Imhof. Philipose en Fritsch 1965	<i>Staurastrum</i> sp4
<i>Dinobryum</i> sp Ehrenberg 1834	<i>Sphaeroszoma vertebratum</i> (Brebisson)
<i>Dinobryum</i> sp2	<i>Teilingia granulata</i> (J. Roy y Bisset)
<b>COMPSOPOGONOPHYCEAE</b>	<i>Xantidium</i> sp
<b>COMPSOPOGONALES</b>	<i>Ancylonema</i> sp Berggern
<i>Compsopogon</i> sp. Montagne in Bory de St. Vincent y Durieaux 1846	<i>Gonatozygon pilosum</i> Wolle.
<b>COSCINODISCOPHYCEAE</b>	<i>Gonatozygon Kinahani.</i>
<b>FRAGILARIALES</b>	<i>Gonatozygon</i> sp1, de Bary 1858
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot	<i>Gonatozygon</i> sp2,
<b>AULACOSEIRALES</b>	<i>Gonatozygon</i> sp3
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Ralfs	<i>Mougeotia</i> sp1 C. Agardh 1824
<i>O granulata</i> var. <i>angustissima</i> (O. F. Müller) Simonsen	<i>Mougeotia</i> sp2
<b>MELOSEIRALES</b>	<i>Mougeotia</i> sp3
<i>Melosira</i> sp C. Agardh 1824	<i>Spirogyra</i> sp1 Link 1820
<b>RHIZOLENIALES</b>	<i>Spirogyra</i> sp2

---

**Tabla 4. Especies representativas del 90 % de la abundancia total del bioensayo**

	<i>Melosira granulata</i> var.1
<i>Gomphonema</i> sp1	<i>Melosira</i> sp
<i>Gomphonema</i> sp2	<i>Cryptomonas</i> sp1
<i>Gomphonema augur</i>	<i>Cryptomonas</i> sp2
<i>Gomphonema</i> sp3	<i>Aphanothece</i> sp
<i>Eunotia</i> sp1	<i>Anabaena</i> sp2
<i>Eunotia</i> sp2	<i>Nostoc</i> sp1
<i>Eunotia minor</i>	<i>Nostoc</i> sp2
<i>Nitzschia</i> sp1	<i>Komvophoron constrictum</i>

<i>Teträedron triangularis</i>	<i>Leptolyngbya</i> sp
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	<i>Pseudanabaena</i> sp
<i>Monoraphidium</i> sp2	<i>Dinophyceae</i>
<i>Nephrocytium limneticum.</i>	<i>Trachelomonas</i> sp1
<i>Oocystis</i> sp3	<i>Trachelomonas</i> sp2
<i>Selenastrum gracile</i>	<i>Trachelomonas</i> sp3
<i>Crucigeniella</i> sp2	<i>Stylonematophyceae</i>
<i>Crucigenia</i> sp1	<i>Mallomonas</i> sp
<i>Crucigenia</i> sp2	<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>
<i>Scenedesmus ecornis</i> [var]	<i>Actinastrum hantzchii</i>
<i>polymorfhus</i>	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Actinastrum</i> sp
<i>Scenedesmus brevispina</i>	<i>Binuclearia</i> sp2
<i>Scenedesmus opoliensis</i> var.	<i>Ophiocytium</i> sp1
<i>Aculeatus</i>	
<i>Scenedesmus</i> sp1	<i>Closterium</i> sp1
<i>Oedogonium</i> sp2	<i>Closterium</i> sp2
<i>Oedogonium</i> sp3	<i>Cosmarium</i> sp4
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	<i>Staurodesmus dickiei</i>
<i>Sphaerocystis</i> sp1	<i>Staurodesmus</i> sp1
<i>Eudorina</i> sp1	<i>Staurastrum anachne</i>
<i>Eudorina</i> sp2	<i>Staurastrum disputatum</i>
<i>Fragilaria ulna</i>	<i>Gonatozygon</i> sp1

---

## 8.1.2. RESULTADOS ESTADÍSTICOS

Al realizar un análisis multivariante, utilizando como covariable el tiempo de muestreo y como factor el tratamiento, se encontraron diferencias entre los tratamientos en términos de densidad, riqueza y diversidad de Shannon, y que estas diferencias son afectadas por el tiempo (**Tabla 5**).

**Tabla 5. ANOVA Multivariante y Covarianza. (a) R<sup>2</sup> = 0,461 (R<sup>2</sup> corregida = 0,440), (b) R<sup>2</sup> = 0,345 (R<sup>2</sup> corregida = 0,320), (c) R<sup>2</sup> = 0,459 (R<sup>2</sup> corregida = 0,439).**

Fuente	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	RIQUEZA	7665,176(a)	6	1277,529	22,905	,000
	SHAH	13,771(b)	6	2,295	14,105	,000
	LNDENSID	46,112(c)	6	7,685	22,807	,000
Intercept	RIQUEZA	55424,895	1	55424,895	993,702	,000
	SHAH	174,341	1	174,341	1071,370	,000
	LNDENSID	7794,648	1	7794,648	23131,369	,000
DIA	RIQUEZA	6876,391	1	6876,391	123,285	,000
	SHAH	11,147	1	11,147	68,500	,000
	LNDENSID	32,835	1	32,835	97,440	,000
TRATAMI	RIQUEZA	1017,792	5	203,558	3,650	,004
	SHAH	3,241	5	,648	3,983	,002
	LNDENSID	10,823	5	2,165	6,424	,000
Error	RIQUEZA	8979,967	161	55,776		
	SHAH	26,199	161	,163		
	LNDENSID	54,253	161	,337		
Total	RIQUEZA	139766,000	168			
	SHAH	530,494	168			
	LNDENSID	41249,085	168			
Total corregida	RIQUEZA	16645,143	167			
	SHAH	39,970	167			
	LNDENSID	100,365	167			

El análisis de Mann-Whitney mostró diferencias significativas en densidad para los días 1, 4, 6, 7, 8, siendo usualmente superior la abundancia en los tratamientos que presentaban mayor concentración de nutrientes. La riqueza tuvo diferencias en los días 2, 7 y 9, de tal forma que las concentraciones más altas de nutrientes tuvieron la mayor riqueza al inicio del experimento y la menor hacia el final. La diversidad de Shannon presentó diferencias entre tratamientos en los días 3, 5, 7, 8, 9 y el comportamiento fue similar a la riqueza de especies (**Tabla 6**).

En la mayoría de los casos los coeficientes de correlación fueron muy bajos, evidenciando que aunque existen relaciones, hay otras variables que pueden estar

incidiendo en el comportamiento de la densidad y la riqueza además de las físicas o químicas analizadas (**Tabla 7**).

Tanto en el control como en todos los tratamientos se observó una relación inversa entre el tiempo de estudio y la riqueza, mientras que la densidad aumentó, aunque para esta última variable el  $R^2$  fue usualmente bajo. La temperatura disminuyó a través del tiempo de estudio, los nitratos disminuyeron en tres de cuatro mezclas en las cuales se presentó relación significativa, mientras que los fosfatos solo en la mezcla 4 disminuyeron a través del tiempo.

En las mezclas 3 a 5, los nitratos disminuyeron a medida que incremento la densidad, evidenciando una relación de consumo. Algo similar ocurrió con los fosfatos pero solo en la mezcla 5. La riqueza tuvo una relación positiva con respecto a los nitratos, pero no como un resultado de una relación directa, sino como consecuencia de la reducción del número de especies a través del tiempo mientras que la densidad aumentaba, con el consecuente consumo de nitratos.

**Tabla 6. Variables con diferencias significativas ( P<0,05) con el estadístico de Mann Whitney según el día de muestreo**

Día	Variable	Tratamientos	U	Grupo1	Grupo2	Promedios
<b>Día 1</b>	<b>Densidad</b>	0-4	0,0	4	3	1334247,14-3294987,69
		2-4	0,0	3	3	1901098,30-3294987,69
		3-4	0,0	3	3	1643328,09-3294987,69
<b>Día 2</b>	<b>Riqueza</b>	0-3	0,0	4	3	24,25-36,33
		0-5	0,0	4	3	36,33-47,66
		2-5	0,0	3	3	23,33-47,66
		3-5	0,0	3	3	36,33-47,66
<b>Día 3</b>	<b>Shannon</b>	0-4	0,0	4	3	1,49-2,68
		1-4	0,0	3	3	2,14-2,68
		2-3	0,0	3	3	1,46-2,04
		2-4	0,0	3	3	1,46-2,68
		3-4	0,0	3	3	2,04-2,68
<b>Día 4</b>	<b>Densidad</b>	1-5	0,0	3	3	8083352,29-4017406,93
		4-5	0,0	3	3	12235025,03-4017406,9
	<b>Margalef</b>	1-5	0,0	3	3	14,11-14,74
		4-5	0,0	3	3	13,80-14,74
<b>Día 5</b>	<b>Shannon</b>	1-4	0,0	3	3	2,07-1,54
		2-4	0,0	3	3	1,95-1,54
		4-5	0,0	3	3	1,54-2,15
<b>Día 6</b>	<b>Densidad</b>	0-2	0,0	4	3	6774521,-10969561,
		0-5	0,0	4	3	6774521,-11890901,5
		1-2	0,0	3	3	6277568,3-10969561,
		1-4	0,0	3	3	6277568,3-16571839,1
		1-5	0,0	3	3	6277568,3-11890901,5
<b>Día 7</b>	<b>Riqueza</b>	1-3	0,0	3	3	26-18
		1-4	0,0	3	3	26-18,6
		2-3	0,0	3	3	23,3-18
		2-4	0,0	3	3	23,3-18,6
	<b>Densidad</b>	0-5	0,0	4	3	6259091,5-15339732,2
		1-5	0,0	3	3	15339732,2-5425170,9
		2-5	0,0	3	3	7236444,2-15339732,2
	<b>Shannon</b>	1-3	0,0	3	3	1,76-1,31
		1-4	0,0	3	3	1,76-1,31
		1-5	0,0	3	3	1,76-1,5
4-5		0,0	3	3	1,31-1,5	
<b>Día 8</b>	<b>Densidad</b>	0-4	0,0	4	3	6919030,4-12012875,2
		4-5	0,0	3	3	12012875,2-8606202,0
	<b>Shannon</b>	1-4	0,0	3	3	1,37-1,23
<b>Día 9</b>	<b>Riqueza</b>	0-2	0,0	4	3	22,25-14,66
		0-3	0,0	4	3	22,25-13
	<b>Shannon</b>	0-4	0,0	4	3	22,25-14,33
		0-2	0,0	4	3	1,61-1,14
		0-3	0,0	4	3	1,61-1,26

La temperatura mostró relación directa con la riqueza e inversa con la densidad, pero también parece ser el resultado de la coincidencia de que la mayor temperatura fuera al inicio del experimento, cuando el ensamblaje de algas apenas estaba incrementando su densidad en cada recipiente de cultivo.

**Tabla No 7. Análisis de correlación entre las variables analizadas**

Tratamiento	Independiente	Dependiente	Resultados	Tipo de relación	
Mezcla 1	Tiempo	Densidad	$F_{1,23}=18,38, R^2=0,44427, P<0,0001$ )	Positiva	Log trans a lineal
		Riqueza	$F_{1,23}=26,08, R^2=0,53146, P<0,0001$	Inversa	Lineal
		Nitratos	$F_{1,20}=8,90, R^2=0,30, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
		Temperatura	$F_{1,20}=325,7, R^2=0,94, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
	Temperatura	Riqueza	$(F_{1,20}=18,50, R^2=0,48, P<0,001)$	Positiva	Lineal
	Silicatos	Riqueza	$F_{1,21}=0,016, R^2=0,30, P<0,05$ )	Inversa	Lineal
Mezcla 2	Tiempo	Densidad	$F_{1,25}=11,44, R^2=0,31, P<0,005$ )	Positiva	Lineal
		Riqueza	$F_{1,25}=12,79652, R^2=0,34, P<0,005$ )	Inversa	Lineal
		Nitratos	$F_{1,22}=10,97, R^2=0,33, P<0,005$ )	Positiva	Lineal
		Temperatura	$F_{1,20}=352,34, R^2=0,94, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
	Temperatura	Riqueza	$F_{1,22}=6,21, R^2=0,22, P<0,05$ )	Positiva	Lineal
	C. disuelto	Densidad	$F_{2,21}=6,52, R^2=0,38, P<0,01$ )	Inversa	cuadrática
Riqueza		$F_{1,21}=5,18, R^2=0,19, P<0,05$ )	Positiva	cuadrática	
Mezcla 3	Tiempo	Densidad	$F_{1,25}=28,28, R^2=0,53, P<0,001$ )	Positiva	potencial
		Riqueza	$F_{1,25}=41,67, R^2=0,62, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
		Nitratos	$F_{1,22}=3,83, R^2=0,15, P<0,01$ )	Inversa	Lineal
		C. disuelto	$F_{1,19}=6,43, R^2=0,40, P<0,01$ )	Positiva	cuadrática
		Silicatos	$F_{1,22}=8,5, R^2=0,27, P<0,01$ )	Positiva	Lineal
		Temperatura	$F_{1,22}=352,34, R^2=0,94, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
	Temperatura	Densidad	$F_{2,21}=6,17, R^2=0,37, P<0,01$ )	Positiva	cuadrática
		Riqueza	$F_{1,22}=34,08, R^2=0,60, P<0,001$ )	Positiva	Lineal
		Silicatos	$F_{1,19}=19,9, R^2=0,51, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
	Nitratos	Densidad	$F_{1,22}=5,82, R^2=0,20, P<0,05$ )	Inversa	Lineal
	Fosfatos	Riqueza	$F_{2,21}=4,86, R^2=0,31, P<0,05$ )	Inversa	cuadrática
	C. disuelto	Riqueza	$F_{2,21}=4,03, R^2=0,27, P<0,05$ )	Positiva	cuadrática
	Silicatos	Riqueza	$F_{1,22}=6,64, R^2=0,23, P<0,05$ )	Inversa	Lineal
	Mezcla 4	Tiempo	Densidad	$F_{1,24}=7,47, R^2=0,23, P<0,05$ )	Positiva
Riqueza			$F_{1,24}=37,17, R^2=0,60, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
Nitratos			$F_{1,21}=25,04, R^2=0,54, P<0,001$ )	Inversa	Lineal
Fosfatos			$F_{1,21}=7,5, R^2=0,25, P<0,05$ )	Inversa	Lineal
C. disuelto			$F_{2,20}=6,51, R^2=0,39, P<0,001$ )	Positiva	cuadrática

	<b>Temperatura</b>	<b>Temperatura</b>	$F_{1,21}=319,43 R^2=0,93,P<0,001$	Inversa	Lineal	
		<b>Densidad</b>	$F_{1,21}=4,39 R^2=0,17,P<0,05$	Inversa	Lineal	
		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,21}=24,51 R^2=0,53,P<0,001)$	Positiva	Lineal	
		<b>Nitratos</b>	$(F_{1,18}=15,43 R^2=0,46,P<0,001)$	Positiva	Lineal	
		<b>Fosfatos</b>	$(F_{2,17}=6,22 R^2=0,42,P<0,001)$	Inversa	cuadrática	
		<b>C. disuelto</b>	$(F_{2,17}=5,15 R^2=0,37,P<0,05)$	Positiva	cuadrática	
	<b>Nitratos</b>	<b>Densidad</b>	$F_{1,21}=5,34 R^2=0,20,P<0,05$	Inversa	Lineal	
		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,21}=24,04 R^2=0,53,P<0,001)$	Positiva	Lineal	
	<b>Fosfatos</b>	<b>Silicatos</b>	$(F_{2,20}=4,85 R^2=0,32,P<0,05)$	Positiva	cuadrática	
	<b>Mezcla 5</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Densidad</b>	$(F_{1,22}=12,88 R^2=0,36,P<0,005)$	Positiva	potencial
<b>Riqueza</b>			$(F_{1,22}=36,63 R^2=0,62,P<0,001)$	Inversa	Lineal	
<b>C. disuelto</b>			$(F_{1,19}=6,43 R^2=0,40,P<0,01)$	Positiva	cuadrática	
<b>Silicatos</b>			$(F_{1,20}=7,15 R^2=0,26,P<0,05)$	Positiva	Lineal	
<b>Temperatura</b>			$(F_{1,20}=341,34 R^2=0,94,P<0,001)$	Positiva	Lineal	
<b>Temperatura</b>		<b>Densidad</b>	$(F_{1,20}=7,18 R^2=0,26,P<0,05)$	Inversa	Lineal	
		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,20}=33,77 R^2=0,62,P<0,001)$	Positiva	Lineal	
		<b>C. disuelto</b>	$(F_{2,17}=5,93 R^2=0,41,P<0,05)$	Positiva	cuadrática	
		<b>Silicatos</b>	$(F_{1,18}=6,67 R^2=0,27,P<0,05)$	Inversa	Lineal	
<b>Nitratos</b>		<b>Densidad</b>	$(F_{1,20}=4,64 R^2=0,18,P<0,05)$	Inversa	exponencial	
		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,20}=4,39 R^2=0,18,P<0,05)$	Positiva	exponencial	
		<b>Silicatos</b>	$(F_{2,19}=3,77 R^2=0,28,P<0,05)$	Positiva	Cuadrática	
<b>Fosfatos</b>		<b>Densidad</b>	$(F_{1,20}=6,96 R^2=0,25,P<0,05)$	Inversa	Log trans a lineal	
		<b>Silicatos</b>	$(F_{1,20}=4,40 R^2=0,18,P<0,05)$	Positiva	Lineal	
<b>Silicatos</b>		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,20}=12,71 R^2=0,38,P<0,005)$	Inversa	Lineal	
<b>Control</b>		<b>Tiempo</b>	<b>Densidad</b>	$(F_{1,37}=21,49 R^2=0,36,P<0,001)$	Positiva	Lineal
			<b>Riqueza</b>	$(F_{1,37}=7,95 R^2=0,17,P<0,05)$	Inversa	Lineal
			<b>C. disuelto</b>	$(F_{1,22}=8,9 R^2=0,28,P<0,05)$	Inversa	Lineal
	<b>Temperatura</b>		$(F_{1,33}=331,54 R^2=0,91,P<0,001)$	Inversa	Lineal	
	<b>Temperatura</b>	<b>Densidad</b>	$(F_{1,33}=9,71 R^2=0,22,P<0,005)$	Inversa	Lineal	
		<b>Riqueza</b>	$(F_{1,33}=6,91 R^2=0,17,P<0,05)$	Positiva	Lineal	
		<b>C. disuelto</b>	$(F_{1,18}=6,03 R^2=0,25,P<0,05)$	Positiva	Lineal	
	<b>Fosfatos</b>	<b>Densidad</b>	$(F_{1,26}=6,07 R^2=0,20,P<0,05)$	Positiva	Lineal	

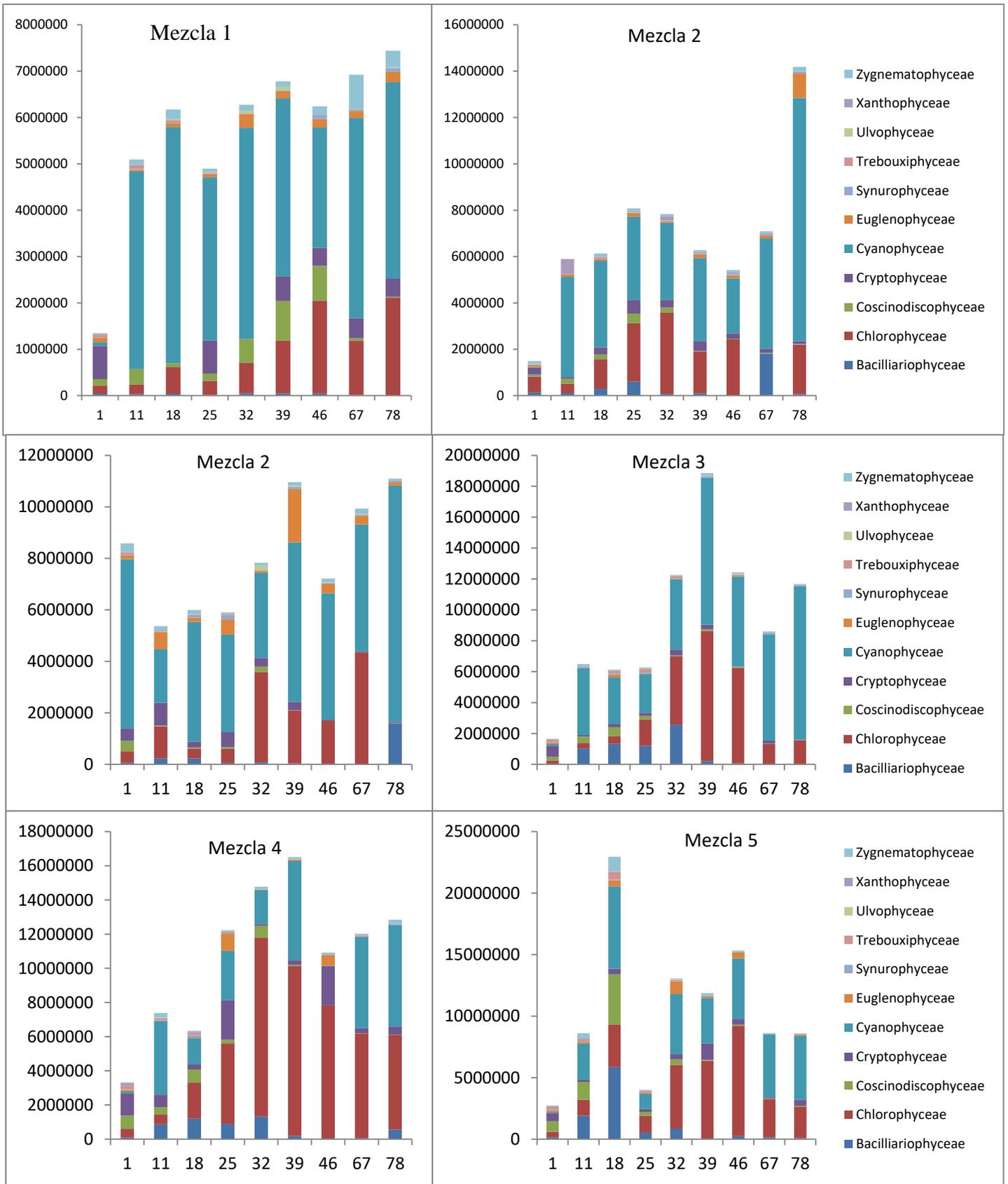
De las especies de fitoplancton halladas en el bioensayo se puede observar que solo cuatro estuvieron presentes en todos los tratamientos y durante todos los días: *Pseudanabaena* sp, Cyanophyceae sp., *Scenedesmus opoliensis* var. *aculeatus*, *Komvophoron constrictum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dinophyceae* sp., pertenecientes a las clases Cyanophyceae, Chlorophyceae y Dinophyceae, todas éstas

parecen presentar mayor resistencia a cambios en las concentraciones de nutrientes en el tiempo.

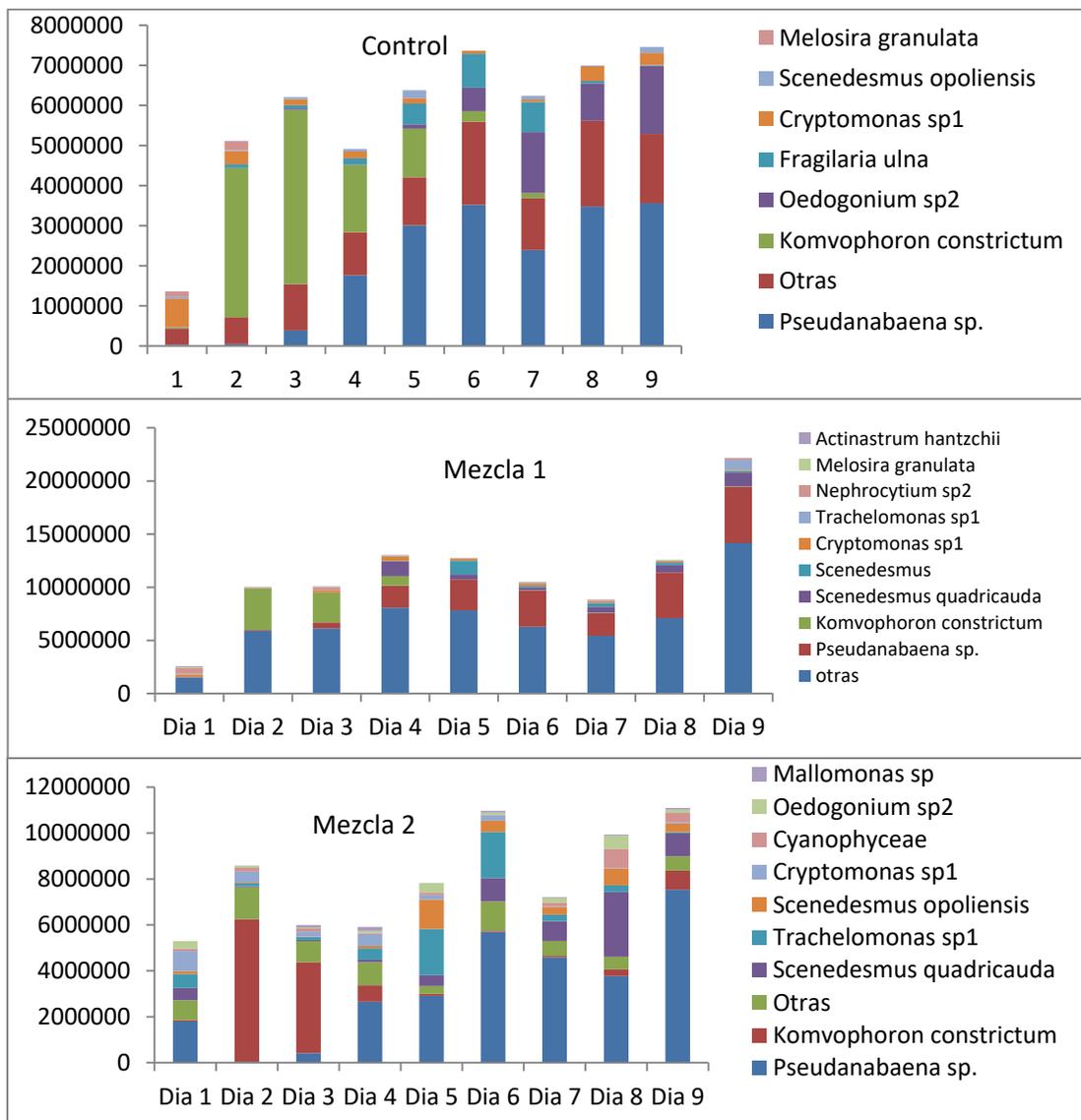
De las especies de fitoplancton, solo unas cuantas estuvieron presentes en todos los tratamientos, en alguna ocasión: *Pseudanabaena sp*, *Scenedesmus opoliensis var. Aculeatus*, *Komvophoron constrictum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Dinophyceae sp*, *Cryptomonas sp1*, *Fragilaria ulna*, *Scenedesmus ecornis [var] polymorfhus*, *Trachelomonas sp2*, *Trachelomonas sp1*, *Crucigeniella sp2*, *Mallomonas sp*, *Melosira granulata var.1*, *Trachelomonas sp3*, *Ankistrodesmus fusiformis*

*Pseudanabaena sp1*, presentó alta abundancia en todos los tratamientos inclusive en el control, *Komvophoron constrictum*, mostró alta abundancia en los controles y los tratamientos con mezclas excepto en la mezcla 5, *Oedogonium sp2* y *Cryptomonas sp1*, que en los controles presentaron alta abundancia, ésta se disminuyó en todos los tratamientos con adición de nutrientes.

En todos los tratamientos a excepción de las mezclas 3 y 5 las abundancias totales fueron menores en el día 1 del experimento. En el control, mezcla 2, 3, y 4 hay un aumento en la abundancia para el día 6 y para la mezcla 1 y la mezcla 5 ésta aumentó se da en el día 3 (**Figura 6**). En general, las clases con mayor número de individuos en todo el estudio fueron las cianofíceas y clorofíceas, siendo dominantes las primeras en el control y los tratamientos con menores concentraciones y las segundas en los tratamientos con más nutrientes.

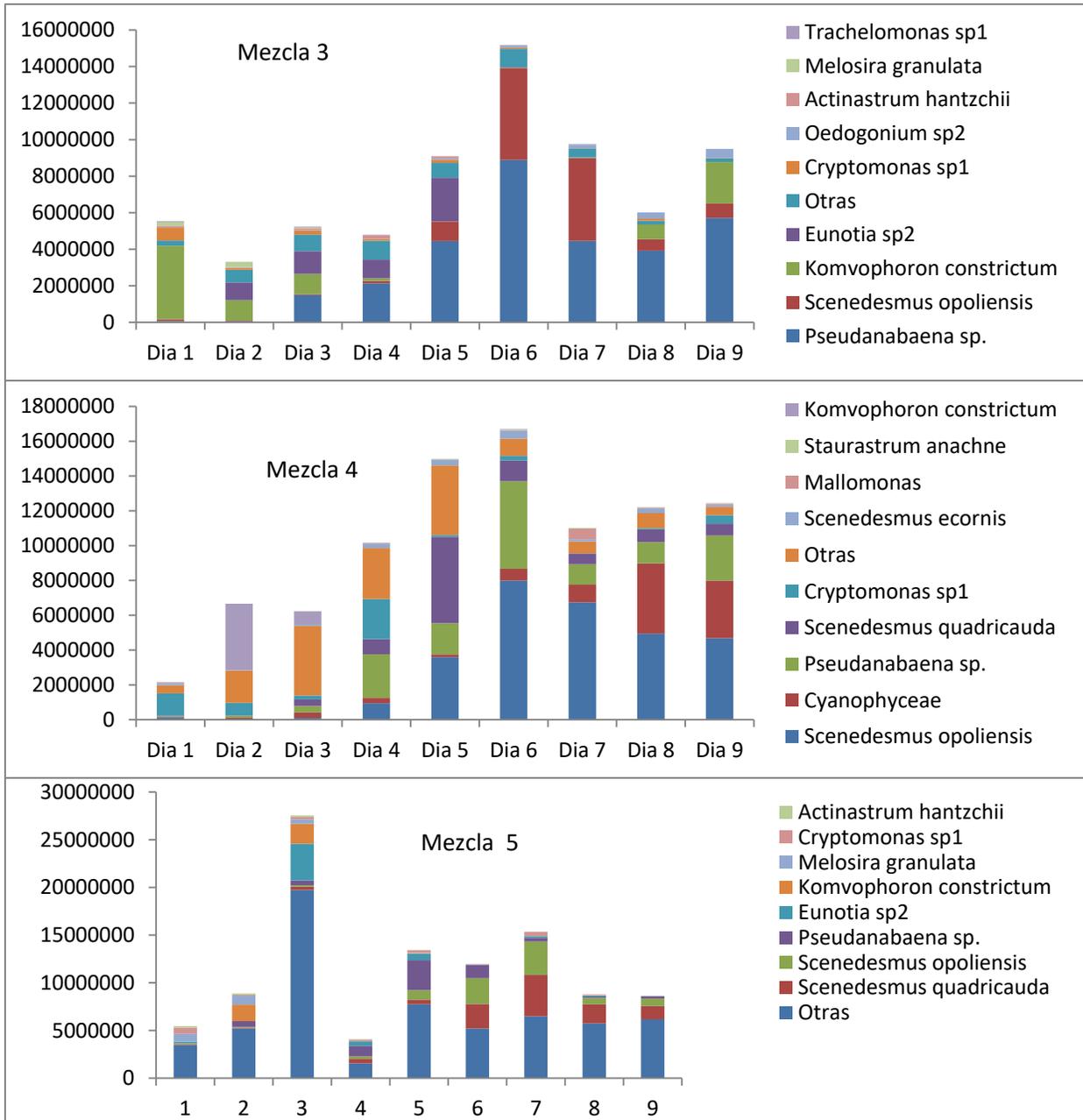


**Figura 6. Densidad de las clases de algas en cada tratamiento a través de los días de muestreo**



**Figura 7. Densidad de las especies dominantes y la suma de las restantes, para las mezclas con menor concentración de nutrientes.**

*Pseudoanabaena* sp., *Oedogonium* sp.2 y el conjunto de las especies no dominantes, representan el mayor porcentaje de algas en las fases finales del control y la mezcla de menor concentración de nutrientes (**Figura 7**). En las concentraciones intermedias *Pseudoanabaena* sp 1 y *Komvophoron constrictum* dominaron hacia el final del estudio, en tanto que *Psenedesmus opoliensis* se halló abundante en las fases finales en los tratamientos con mayor concentración (**Figura 8**).



**Figura 8. Densidad y riqueza fitoplanctónicas y su variación temporal en cada tratamiento para las mezclas con mayor concentración de nutrientes.**

## 8.2. TEMPERATURA

La temperatura en el lago durante el período de muestreo tuvo un rango de variación de 4 °C con valores entre 30.74 y 26.08 °C, y valores máximos para los días 0 y 4 y los mínimos para el día 78. En general la temperatura disminuyó a través del tiempo.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1. VARIACION EN LA RIQUEZA Y ESPECIES DOMINANTES

Las concentraciones más altas de nutrientes tuvieron la mayor riqueza de fitoplancton al inicio del experimento y la menor hacia el final, una de las causas de este efecto es que las especies suelen presentar diferentes capacidades competitivas para distintos nutrientes (Frangópulos *et al.* 2004 ), al modificar las concentraciones de nutrientes agregando altas dosis como las mezclas 4 y 5 durante todo el experimento, se generó una disponibilidad de nutrientes que al inicio beneficia a todas las especies presentes, incrementando así la riqueza, pero posteriormente solo las especies con mayores capacidades competitivas dominan sobre las demás, que presentaran muy baja probabilidad de ser capturadas al extraer las alícuotas de cada tratamiento o que son del todo suprimidas.

De acuerdo a sus propiedades de habitad y tolerancias o sensibilidad a condiciones medioambientales, por ejemplo concentraciones de nutrientes, (Vardaka *et al.* 2005). Podríamos agrupar a *Pseudoanabaena sp1*, *Komvophorum constrictum*, y *Scenedesmus opoliensis* como especies muy tolerantes a notables cambios en concentraciones de fosforo y nitrógeno que permitirían la persistencia de su alta abundancia desde escasa hasta elevada concentración de estos nutrientes. Las primeras dos especies son Cyanophyceae, clase que es capaz de fijar nitrógeno y se reporta como dominante en las condiciones de adición de mezclas de nitrógeno y fósforo (Schindler 1977).

### 9.2. ABUNDANCIA Y CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES

El patrón de aumento de densidad y disminución de riqueza que se observó en el experimento, ha sido señalado por Proulx (1996) para sistemas en que se presenta una elevada carga de nutrientes en respuesta a la cual aumenta la densidad de algas y la biomasa y se reduce la diversidad. Esto puede implicar que el aumento de la densidad o de la biomasa, se debe a variaciones desde una estructura de la comunidad donde varios géneros son co-dominantes hacia una condición en que sólo uno o dos géneros dominan, debido a algún tipo de ventaja competitiva relacionada con los cambios en la concentración de nutrientes (Cuvin-Aralar *et al.* 2004).

La estructura del ensamblaje vario considerablemente con respecto a las condiciones usuales en el lago, con predominio de *Cryptomonas* y *Trachelomonas* (Torres 2006)

y lo que se dio dentro de los mesocosmos instalados, además en promedio dominaron solo dos especies a través del tiempo seguidas de especies “acompañantes” que tuvieron abundancias fluctuantes. Reynolds (1984) explica que el desarrollo de las poblaciones algales se rige tanto por interacciones biológicas (consumo por herbívoros, parasitismo, competencia), que no fue posible medir en este estudio pero pueden ser relevantes, como por factores químicos y físicos. Numerosas especies fitoplanctónicas han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que favorecen su supervivencia en condiciones de escasez de nutrientes o cuando se producen perturbaciones en el medio físico (Reynolds 1988); de esta forma, la continuidad o desaparición de una población de algas responde al mayor o menor éxito de su estrategia ante los cambios ambientales (Allen & Koonce 1973, Arauzo 1992, Arauzo & Alvarez 1994).

### **9.3. INTERACCIONES BIOLÓGICAS CON NIVELES SUPERIORES DE LA RED TRÓFICA.**

En la mayoría de los casos los coeficientes de correlación fueron muy bajos, evidenciando que aunque existen relaciones, hay otras variables que pueden estar incidiendo en el comportamiento de la densidad y la riqueza además de las físicas o químicas analizadas. Entre ellas, el pastoreo de especies de zooplancton como los Cladóceros de gran tamaño, que tienen un potencial como filtro natural y son capaces de suprimir el desarrollo de algas verde azules, lo que impide su floración activa (Pogozhev & Gerasimova 2004). Es bien conocido que la densidad, composición de las especies y distribución de tamaños de fitoplancton están regulados, no sólo por las condiciones de nutrientes, sino también por el zooplancton (Sarnelle 1993). Rasuol'e & Olenina (1997) demuestran que la presión de pastoreo de micro-crustáceos puede restringir el desarrollo de clorofitas pequeñas y diatomeas y, a su vez, favorecer el crecimiento de cianobacterias en especial las floraciones filamentosas.

Herbívoros puede afectar a las comunidades de fitoplancton a través de varios de mecanismos, incluida la supresión directa de consumidores de algas, aumento de las algas no comestibles y los cambios en el resultado de la competencia provocada por los efectos de las tasas de suministro de nutrientes y la tasa de regeneración (Sterner 1989).

Algas menores de 35 micras son mejores competidores de la luz y los nutrientes que las más grandes, pero a menudo son controladas por el pastoreo tanto de crustáceos como de rotíferos (Zita & Irina 1997) y en este caso se beneficia la abundancia de algas de mayor tamaño. Esto podría explicar lo que se observó en los mesocosmos, donde se dio una disminución de las criptofíceas, de tamaño pequeño, en los primeros

días del experimento, lo que puede estar relacionado con el pastoreo y favorecer el crecimiento desmesurado de algas filamentosas y cianofitas, de mayor tamaño.

La biomasa de algas y su producción suele ser inversamente proporcional a la media de el tamaño zooplanctónico (Carpenter & Kitchell 1996). No obstante, a veces el aumento del tamaño del cuerpo o de la biomasa de zooplancton y la presión de pastoreo en algas de pequeño tamaño beneficia a especies de gran tamaño, "especies resistentes", como las cianobacterias filamentosas (Porter 1977, Sarnelle 1993, Carpenter *et al.* 1996)

Las cianobacterias producen una variedad de toxinas que afectan el crecimiento de la biota a su alrededor. Existen diferentes tipos de toxinas y se han identificado y caracterizado, dos de los grupos más típicos son hepatotóxicos péptidos cíclicos y neurotóxicas alcaloides; tales toxinas son letales para microorganismos acuáticos como el zooplancton y ocasionan daño en el pescado y el hígado de los animales superiores y se han reportado como las responsables de la muerte de personas que consumieron agua o peces recolectados de fuentes contaminadas (Gupta *et al.* 2002).

Aumentos en la temperatura del agua, junto con elevadas concentraciones de nutrientes, como se presento en el bioensayo, pueden estimular e intensificar el desarrollo, mantenimiento y proliferación de los productores primarios, con el resultado previsible de una mayor ocurrencia de los procesos de eutrofización y de una mayor abundancia de algas tóxicas (Wetzel 2001). Por ejemplo, una temperatura del agua relativamente elevada y altas concentraciones de nutrientes pueden favorecer la proliferación y predominancia de las cianofíceas en la comunidad fitoplanctónica y, en algunos casos, de poblaciones productoras de cianotoxinas (Hitzfeld *et al.* 2000).

## 10. CONCLUSIONES

- El efecto de un posible enriquecimiento de nutrientes en especial nitratos y fosfatos en el lago Yahuaraca, mediado por la diferencia de capacidades competitivas en las especies de algas presentes en este ecosistema, es la disminución en la diversidad y aumento de la abundancia de cianofíceas, particularmente las fijadoras de nitrógeno, que en anteriores estudios también se han notificado como dominantes en las condiciones de adición de nutrientes.
- El resultado de una posible eutrofización extrema del lago Yahuaraca, como los tratamientos 4 y 5, sería la dominancia de algas cianofíceas y algas filamentosas de gran tamaño, que no podrían ser consumidas por el muchos grupos del zooplancton presentes en el lago y generarían un problema no solo al ensamblaje fitoplanctónico sino a toda la cadena trófica, incluyendo a los seres humanos que se podrían ver afectados por el consumo de animales o agua contaminados por la cianotoxinas producidas por el bloom de algas.
- La comunidad fitoplanctónica para el sistema de lagos Yahuaraca es altamente biodiversa, hallándose 228 morfoespecies de las cuales el grupo de las Chlorococcales presentó la mayor riqueza relativa. La riqueza de especies puede ser mayor dado que muchos taxa no fueron determinados a nivel específico, pudiendo un género tener más que una especie.
- *Pseudanabaena* sp, *Komvophoron constrictum*, *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus opolensis*, *Oedogonium* sp2, *Criptomonas* sp1, *Trachelomonas* sp 1 son las especies representativas del bioensayo. Dentro de éstas las dos primeras contribuyen con alrededor del 60% de la abundancia total en los mesocosmos analizados.

## 11. RECOMENDACIONES

- Realizar muestreos paralelos a escalas de tiempo más cortas ya que los ciclos biológicos de estos organismos suelen ser muy cortos y en tan solo pocas horas puede presentar cambios drásticos
- Hay otras variables que pueden estar incidiendo en el comportamiento de la densidad y la riqueza además de las físicas o químicas analizadas, entre ellas el pastoreo de especies de zooplancton. Entender las interacciones entre fitoplancton y zooplancton podría ayudar a comprender en mejor forma los resultados globales del proceso de eutrofización simulado
- Disminuir el número de tratamientos y aumentar el número de repeticiones para tener mayor robustez estadística.
- Realizar experimentos in vitro cultivando en mesocosmos separados las especies con mayor abundancia en este experimento, controlando completamente las variables fisicoquímicas para definir en mejor forma la capacidad de respuesta de cada especie.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- Allen T.F.H. & J.F. Koonce. 1973. Multivariate approaches to algal stratagems and tactics in systems analysis of phytoplankton. *Ecology* 54: 1234-1246.
- Alvarado C. Fernando. 1998. Respuesta de la Comunidad fitoplanctónica del Lago Yahuaraca (Amazonia Colombiana) al enriquecimiento con Nitrógeno y Fósforo en incubaciones *in vitro*. Tesis de Pregrado. Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- Andrade C. E. 2001. Estudio de la comunidad de rotíferos (Rotatoria) en dos lagos de la Amazonia Colombiana, durante tres periodos hidrológicos. Tesis MSc. Depto. Biología, Universidad de los Andes. Bogotá.
- Arauzo M. & M. Alvarez. 1994. Phytoplankton strategies and time scales in a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia* 291(1): 1-9.
- Arauzo M. 1992. Ecología del fitoplancton en el embalse de El Vellón (Madrid): su dinámica en relación a diferentes escalas temporales. Tesis Doctoral. Univ. Autónoma. Madrid,
- Arbeláez E. F. 2000. Estudio de la Ecología de los peces en un caño de aguas negras amazónicas en los alrededores de Leticia (Amazonia Colombiana). Tesis de pregrado. Biología. Universidad Nacional de Colombia.
- Bicudo, C., & M. Menezes. (2006). Gêneros de algas de águas continentais do Brazil. Chave para identificação e descrições. Rima Artes e Textos. São Carlos. Brazil: 489 p
- Bonilla C.C.A. 2006. Análisis pesquero – comercial de los grandes bagres y su interacción con el delfín rosado *Inia geoffrensis* (De Blainville, 1817) en un tramo del río Amazonas colombiano entre las comunidades de San José (Colombia) – Puerto Alegría (Perú). Tesis de Pregrado. Biología. Universidad del Tolima, Colombia. 87 p.
- Castillo C.T. 2006. Productividad y Biomasa Fitoperifítica en los lagos Yahuaraca y Tarapoto (Amazonas-Colombia). *Rev. Ambiental: Agua, Aire y Suelo* 7: 125–136
- Cavender-Bares K., E. Mann, S. Chisholm, M. Ondrusek & R. Bidigare. 1999. Differential response of equatorial Pacific phytoplankton to iron fertilization. *Rev. Limnology and Oceanography* 44 (2): 237-246.

- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology* 18:117–143.
- Dodds W. K. 2002. *Freshwater Ecology: Trophic State and Eutrophication* 17:337-366. Oikos Publishers. La Crosse.
- Duque S. 1998. Estudio de humedales en la Amazonia Colombiana. En: Fondo FEN Colombia; UICN Colombia y UICN América del Sur. 1998. Una aproximación a los humedales en Colombia. INSTITUTO DE INVESTIGACION DE RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. Bogotá. Colombia.
- Duque S.R, J.E. Ruiz, J. Gómez & E. Roessler. 1997. Limnología. En: IGAC (Ed.). Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo - Brasileiro (Eje Apaporis -Tabatinga: PAT). Bogotá.
- Duque S.R. & J. Donato. 1993. Primeros registros de *Micrasterias* (Desmidiaceae), en lagos de la orilla colombiana del río Amazonas. *Caldasia* 17 (2): 354-55.
- Duque S. R. y Núñez-Avellaneda, M. 2000. Microalgas acuáticas de la Amazonia colombiana. *Biota Colombiana*. 1 (2): 208-216.
- Echenique R., M. Núñez-Avellaneda, & S. Duque. 2004. CHLOROCOCCALES DE LA AMAZONIA I: Chlorellaceae y Scenedesmaceae. *Caldasia* 26(1):37-51.
- Frangópulos M., C. Guisande, E. deBlas & I. Maneiro. 2004, Toxin production and competitive abilities under phosphorus limitation of *Alexandrium* species, *Harmful Algae* 3:131–139.
- Gervais F., U. Riebesell. & M. Gorbunov. 2002. Changes in primary productivity and chlorophyll a in response to iron fertilization in the Southern Polar frontal zone. *JSTOR. Rev. Limnology and Oceanography*. 47 (5): 1324-1335.
- González E. J. & M. Ortaz. 2000. Efecto del enriquecimiento con N y P sobre el Fitoplancton en mesocosmos de un embalse tropical (La mariposa, Venezuela). *Rev. Biología Tropical*. 46 (1): 27-34.
- Guiry, M.D. y Guiry, G.M. 2007. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on June 2007.
- Hynes 1974. *The Biology of polluted water* university of Toronto Press. 202 p.

- Hitzfeld B.C., S.J. Hoyer & D.R. Dietrich. 2000. Cyanobacterial toxins: removal during water treatment, and human risk assessment. *Environ. Health Perspect.* 108: 113-122.
- Hunt R & V. Matveer. 2005. The effects of nutrients and zooplankton community structure on phytoplankton growth in a subtropical Australian reservoir: An enclosure study. *EL SEVIER. Rev. Limnológica.* 35: 90-101.
- Jeppensen E.,J. Jensen, M. Sondergaard,T. Lauridsen & F. Landkildehus. 2000. Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Rev. Freshwater Biology.* 45: 201-218.
- Kitchell J. F. & S. R. Carpenter. 1996. *The Trophic Cascade in Lakes.* Cascading trophic interactions. Cambridge University Press. 1:14-56.
- Klun J. L 2002. Positive and negative effects of allochthonous dissolved organic matter and inorganic nutrients on phytoplankton growth. *Rev. Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53:85-95.
- KOMÁREK, J. 1974. The morphology and taxonomy of crucigenioid algae (Scenedesmaceae, Chlorococcales). *Arch. Protistenk.* 116:1-75.
- KOMÁREK, J. 1983. Contribution to the Chlorococcal algae of Cuba. *Nova Hedwigia* 37: 65-180.
- KOMÁREK, J & B. FOTT. 1983. Chlorophyceae-Chlorococcales. *Das Phytoplankton des Süßwassers, Systematik u Biologie.* In Thienemman, A. *Die Binnengewässer* Stuttgart.16, 7 (1).
- Levine S, D. Angela, E. Staci. Pomeroya & B. Moshe. 1997 *Journal of Great Lakes Research* 23( 2):131-148.
- Lau S. S & S. N. Lane. 2002. Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long – term study. *The science of the Total Environment.* 288 p.
- Lewis W & Weibezahn. 1976. Chemistry, energy flow and community structure in some Venezuelan freshwater. *Hidrobiologia.* 2 (3): 145-207.
- Manjarres H. A. M. 2005. Análisis de la inversión en la carnivoría por la planta acuática *Utricularia foliosa* (L.) (Quebrada y lagos de Yahuaraca-Río Amazonas, Colombia). Tesis de Pregrado. Universidad del Magdalena. 86 p.
- Margalef R. 1983. *Limnologia.* Ediciones Omega S.A. Barcelona. 1010 p.

- Maria Lourdes Cuvin-Aralar, Ulfert Focken, Klaus Becker and Emiliano V. Aralar. 2004. Effects of low nitrogen-phosphorus ratios in the phytoplankton community in Laguna de Bay, a shallow eutrophic lake in the Philippines. *Aquatic Ecology*. 38(3): 387-401.
- Meerhoff M. y N. Mazzeo. 2004. Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica. *Ecosistemas* 2004/2 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision1.htm>).
- Melack J.M. 1979. Temporal variability of the phytoplankton on tropical lake. *Rev. Oecology*. 44:1-7.
- Moncheva S, O. Gotsis, K. Paguu & A. Kraster. 2001. Phytoplankton blooms in Black sea and Mediterranean Coastal ecosystems to anthropogenic eutrophication: similarities and differences. *Rev. Estuarine, Coastal and Shelf science*. 53: 281-295.
- Nandini, S & R.T. Ramakrishna. 2000. Microcosm Experiment on the Effect of Nutrient Enrichment and a Soil layer on Development of Freshwater Plankton. *Rev. Limnological*. 30: 9-19.
- Nidhi Gupta, A.S.B. Bhaskar & P.V. Lakshmana Rao. 2002. Growth characteristics and toxin production in batch cultures of *Anabaena flos-aquae*: effects of culture media and duration. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*.18:29-35.
- Nidhi Gupta, A.S. Bhaskar & R. Lakshmana. 2001 Toxin production in batch cultures of freshwater cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 67:339–346.
- Pogozhev P. I. & T. N. Gerasimova. 2004. The Role of Filtering Zooplankton in De-Eutrophication of Water Bodies Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, *Water Resources* 32(3):337-345.
- Porter K. G 1977. The plant-animal interface in freshwater ecosystems. *Am. Sci.* 65: 159–170.
- Proradam 1979 *La Amazonia Colombiana y sus Recursos*. Bogotá: Proy. Radar-Gravimetrico del Amazonas, IGAC/CIAT, págs. 590.
- Proulx M., F.R. Pick, A. Mazumder, P.B. Hamilton. & D.R.S. Lean. 1996. Experimental evidence for interactive impacts of human activities on lake algal species richness. *Oikos* 76: 191– 195.
- Carpenter S.R., F. J. Kitchell., J.R. Hodgson. 1996. Cascading Trophic Interactions and Lake Productivity *BioScience*, 35(10): 634-639.

- Ramírez E. & U. Barg, 1990. La contaminación de las aguas continentales de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela. COPESCAL Documento Técnico. No. 8. Roma, FAO. 24 p.
- Reynolds C.S 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwat. Biol* 14: 111-142.
- Reynolds C.S 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 365 p.
- Reynolds C.S. 1988. Functional morphology and the adaptive strategies of freshwater phytoplankton. In: Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press. Cambridge (C.D. SANDGREN): 388-433
- Rodríguez C. M. 2003. Cambios en la estructura de la comunidad de rotíferos en el lago Yahuaraca, planicie de inundación del Río Amazonas (Amazonia-Colombiana). Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. 65 p.
- Salas H. & P. Martino. 1988. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales. Lima. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS. 52 p.
- Sarnelle O. 1993. Herbivore effects on phytoplankton succession in a eutrophic lake. *Ecol. Monographs* 63: 129–149.
- Schindler D.W. 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195: 260–262.
- Sterner R. W., 1989. The role of grazers in phytoplankton succession. In U. Sommer (ed.), *Plankton Ecology: Succession in Plankton Communities*, Springer-Verlag, Berlín: 70–107.
- Tilman D., S. Kilham & P. Kilham. 1982. Phytoplankton community ecology: The role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 349-372.
- UNEP-WMO. 2001. Climate change: impacts, adaptation and vulnerability. United Nations Environment Programme-World Meteorological Organization, New York. 243 p.
- Vardaka E., M. Moustaka-Gouni, C.M. Cook & T. Lanaras. 2005. Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies *Journal of Applied Phycology* 17: 391-401.
- Vezjak M, T. Sarsek & E.A. Stuhler. 1998. System dynamics of eutrophication processes in lakes. *EL SEVIER. European Journal of Operational Research.* 109:442-451.

- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. 1997. Human domination of Earth's ecosystem. *Science* 277: 494-499.
- Wetzel, R. 1981. *Limnología*. Ediciones. Omega S.A. Barcelona. 604 p.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology*, 3rd edition. Academic Press, New York, 1010 p.
- Zanotelli C. T. 2002. Modelagem matemática de nitrogênio e fósforo em lagoas facultativas e de aguapés para tratamento de dejetos de suínos. Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de doutor em Engenharia de Produção Santa Catarina – Brasil. 345 p.
- Zaret M, A. Devol & Dos santos A. 1981. Nutrient addition experiments in Lago Jacaretinga, Central Amazon Basin, Brasil. *Hydrobiologia* 109(2): 97-103.
- Zita Rasuol'e & O. Irina. 1997. Zooplankton-phytoplankton interactions: a possible explanation of the seasonal succession in the Kuršiu, Marios lagoon 1998 *Hydrobiologia* 363(1): 333-339.