

**Universidad Nacional de Ingeniería  
Centro de Investigación y Estudios en Medio Ambiente  
CIEMA-UNI**

**FITOPLANCTON Y PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN SISTEMAS  
DE CULTIVO EXTENSIVO TECNIFICADO DE CAMARONES DEL  
GÉNERO *Litopenaeus***

**Tesis sometida a la consideración del Centro de Investigación y Estudios del  
Medio Ambiente para optar al título de Maestro en Ciencias Ambientales**

**Tesista: Lic. Ninoska Fabiola Chow Wong**

**Tutora: Dra. Evelyn Hooker Offer**

**Managua, Nicaragua,  
Noviembre 2000**

## **DEDICATORIA**

***A mi hijo Róger Antonio Lesage Chow, por  
ser la fuente de motivación e inspiración  
de la culminación de mis estudios.***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a Dios por haberme dado salud para lograr culminar este trabajo y por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas que siempre me apoyaron.

Agradezco a mi madre, Victoria Wong, quien además de haberme dado la vida me brindó educación y apoyo para la conclusión de mis estudios. A todos mis hermanos, por su ayuda y comprensión.

Agradezco al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN) por el apoyo brindado en la realización de esta tesis, muy especialmente al personal Técnico - Investigador del Departamento de Hidroquímica e Hidrobiología.

Agradezco a todo el personal que labora en el Centro de Investigación del Camarón de la Universidad Centroamericana (CIC - UCA), por la confianza y apoyo recibido en las múltiples actividades realizadas.

Mi agradecimiento profundo a los Dres. Ingemar y Gunnel Ahlgren quienes laboran en la Universidad de Limnología de Uppsala (Suecia) y a la Dra. Evelyn Hooker, por ser ellos los maestros guía de este trabajo de tesis.

A los dueños de la Cooperativa de Productos del Mar (COOPROMAR), quienes me brindaron la oportunidad de realizar la toma de muestras de agua en su estanque de cultivo de camarones.

Agradezco al Dr. Evenor Martínez, MSc. Rigel Cismeros y MSc. María Elena Vargas por sus comentarios y sugerencias.

## RESUMEN

Un estudio sobre la importancia del fitoplancton y la valoración de la productividad primaria, fue realizado en Puerto Morazán, Chinandega, en un estanque de cultivo de camarones manejado bajo modalidad extensiva tecnificada, con una frecuencia quincenal durante el período 03 Junio – 06 Septiembre 1999. La comunidad del fitoplancton fue poco diversa, treinta y siete taxa fueron identificados (19 Bacillariophyta, 11 Cyanophyta, 6 Chlorophyta y 1 Dinophyta). Las especies *Nitzschia sigma*, *Amphiprora alata*, *Anabaena viguieri* y *Anabaena constricta* tuvieron presencia constante en todas las muestras analizadas. Los valores de biomasa peso - húmedo (2,44 – 43,44 mg L<sup>-1</sup>), clorofila - a (9,62 – 145,04 µg L<sup>-1</sup>) y densidad poblacional (132 726,0 – 1 125 436 317,0 Ind L<sup>-1</sup>) del fitoplancton fueron bajos a inicios del ciclo productivo, aumentando paulatinamente con el tiempo. La densidad de las Cyanophyta experimentó un crecimiento acelerado a partir del cuarto muestreo, sobresaliendo dentro del grupo, *Anabaena viguieri*, alga responsable en gran medida de la obtención de una cosecha de camarones con cabeza amarga (camarón choclo). Los valores de temperatura y pH no presentaron mucha variación (29,9 ± 1,47 °C y 8,87 ± 0,53 respectivamente), sin embargo, los valores de salinidad (9,9 ± 3,98 ‰) y oxígeno disuelto (7,31 ± 1,13 mg L<sup>-1</sup>) variaron en función de las lluvias y a la alta producción fotosintética. La concentración de los nutrientes; nitratos, nitritos y ortofosfato estuvieron por debajo del límite de detección (< 50,0 < 3,0 y < 5,0 µg L<sup>-1</sup> respectivamente). La única forma de nitrógeno inorgánico presente en el agua fue amonio (24,5 ± 16,11 µg L<sup>-1</sup>) y la concentración promedio de fósforo total y dióxido de sílice fueron de 2,69 ± 1,19 mg L<sup>-1</sup> y 57,1 ± 40,53 µg L<sup>-1</sup> respectivamente. La producción primaria total estimada durante el ciclo de cultivo fue de 2 550 kg C ha<sup>-1</sup>, con lo cual se podría lograr una producción potencial de 2 550 kg de camarones por hectárea.

## INDICE

	<b>Página</b>
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>II. Objetivos</b>	<b>4</b>
. General	
. Específicos	
<b>III. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
. Importancia del fitoplancton	
. Grupos taxonómicos del fitoplancton	
. Productividad Primaria	
Factores que afectan la Productividad Primaria;	
Nutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Sílice)	
Luz y Temperatura	
Pastoreo	
Condiciones físico – químicas del agua	
<b>IV. Hipótesis</b>	<b>24</b>
<b>V. Diseño Metodológico</b>	<b>25</b>
. Tipo de estudio	
. Selección del área de estudio	
. Descripción del estanque	
. Sitio de muestreo	
-. Muestreo de estudio	
-. Método de recolección de la información	
-. Características metodológicas de la toma de muestras y del análisis de laboratorio.	
-. Variables de estudio	
-. Tratamiento de los datos	

<b>VI. Resultados y Discusión</b>	<b>34</b>
<b>VII. Conclusiones</b>	<b>62</b>
<b>VIII. Recomendaciones</b>	<b>64</b>
<b>IX. Bibliografía</b>	<b>65</b>
<b>X. Anexos</b>	<b>69</b>

## INDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Fig. 1	Contribución relativa de los grandes grupos taxonómicos a la riqueza de especies en el estanque de cultivo.	35
Fig. 2	Variación en la composición del fitoplancton en el estanque durante el ciclo de cultivo.	37
Fig. 3	Densidad de las Cyanophyta en relación a las variaciones de salinidad en el estanque de cultivo.	38
Fig. 4	Densidad poblacional del fitoplancton en el estanque de cultivo.	39
Fig. 5	Variación temporal de la temperatura y pH en el estanque de cultivo.	46
Fig. 6	Variación temporal de la salinidad y oxígeno disuelto en el estanque de cultivo.	47
Fig. 7	Variación temporal en la concentración de fósforo total, amonio y dióxido de sílice en el estanque de cultivo.	49
Fig. 8	Comportamiento temporal de la biomasa peso-húmedo y clorofila-a en el estanque de cultivo.	51
Fig. 9	Comportamiento de la productividad primaria a las diferentes profundidades y transparencia del agua en el estanque de cultivo.	55
Fig. 10	Relación entre la producción primaria máxima y la biomasa clorofila-a en el estanque de cultivo.	57
Fig. 11	Variación temporal de la capacidad fotosintética ( $P_{max}$ ), producción máxima a luz óptima ( $A_{max}$ ) y producción primaria areal ( $\Sigma A$ ) en el estanque de cultivo.	58

## INDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
Tabla I	Métodos utilizados en el análisis físico-químico de agua.	30
Tabla II	Lista de géneros y/o especies reportados en el estanque de cultivo.	34
Tabla III	Resumen de la densidad poblacional (Ind L <sup>-1</sup> ) de los principales grupos del fitoplancton en el estanque de cultivo.	40
Tabla IV	Densidades ideales (Ind L <sup>-1</sup> ) de fitoplancton en estanques semi-intensivos.	40
Tabla V	Densidades óptimas (Ind L <sup>-1</sup> ) de fitoplancton en estanques de Super Shrimp.	40
Tabla VI	Resumen de las características físico-químicas del agua en el estanque bajo estudio.	45
Tabla VII	Biomasa, clorofila-a, contenido de clorofila como % de biomasa peso-húmedo y división algal dominante.	53
Tabla VIII	Mediciones de la producción fotosintética y parámetros relacionados.	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

No. 1	Plano del estanque
No. 2	Botella hidrográfica Van Dorn
No. 3	Red de arrastre
No. 4	Cámaras de sedimentación
No. 5	Microscopio invertido
No. 6	Disco Secchi
No. 7	Fotografías de algas encontradas en el estanque de cultivo.
No. 8	Tabla resumen de análisis estadístico

## I. INTRODUCCIÓN

Las zonas de mayor producción de camarón de cultivo en el país, se concentran en las cercanías del Estero Real con aproximadamente 71,7 % del área total disponible para este tipo de actividad económica, lo anterior obedece a condiciones climáticas, hidrobiográficas y tipo de suelos excelentes para el desarrollo del cultivo de camarón (Saborío, 1998).

La actividad camaronícola del país se inicia desde 1978 en la comunidad de Puerto Morazán (Departamento de Chinandega), asentada a orillas del Estero Real y subsiste de la combinación de varias actividades; pesca, crianza artificial de camarones y extracción de mangle para leña. Actualmente, la actividad que más sobresale, es el cultivo de camarones que se desarrolla bajo modalidad extensiva y extensiva tecnificada, aglutinando en su mayoría al sector cooperativo.

La modalidad extensiva tecnificada de cultivo de camarones del género *Litopenaeus*, se desarrolla en estanques excavados en el suelo, sin revestimiento y muros construidos de tierra. El agua que abastece a estos estanques generalmente proviene de los esteros.

*Litopenaeus vannamei*, es la especie marina que se cultiva mayormente en Nicaragua y es la que ha recibido mayor atención a nivel mundial en cuanto a experiencias de cultivo, por su aparente adaptabilidad y rendimiento de supervivencia. Esta situación se debe a que es una especie que presenta un corto desarrollo larvario y rápido crecimiento, lo que permite obtener tallas comerciales en pocos meses. Además, tiene una capacidad de tolerar amplias variaciones de los parámetros abióticos, lo que facilita su cría en cautiverio (CYTED – D, 1992).

La modalidad extensiva tecnificada de cultivo, se proporciona poca cantidad de alimento suplementario al camarón ya que el crecimiento y desarrollo del mismo, se basa principalmente en la disponibilidad y calidad del alimento natural (fitoplancton, zooplancton y zoobentos) presente en el sistema.

El conocimiento de la calidad y cantidad del alimento natural antes de la siembra y durante el ciclo de cultivo de camarones, constituye una herramienta técnica básica para

los productores ya que les permite tomar decisiones de cuando sembrar, cuando y cuanta agua recambiar y cuando y cuanto alimentar y/o fertilizar durante el desarrollo del cultivo. Con lo anterior, se reducen los costos en la alimentación, se reduce la mortalidad, se garantiza el éxito del cultivo con el incremento en biomasa y se disminuye la descarga excesiva de nutrientes hacia el Estero Real proveniente de las múltiples granjas camaroneras que fertilizan y/o utilizan alimento suplementario.

El fitoplancton, es la base de la cadena alimenticia en los ecosistemas acuáticos y es considerado eslabón vital de la trama trófica, es decir que a partir de este nivel, fluye la energía en forma de compuestos orgánicos como carbohidratos, proteínas y lípidos hasta los niveles tróficos superiores. Además, son los responsables de la fertilidad acuática y de la producción nueva de materia orgánica, llamada productividad primaria, disponible como alimento.

Estudios existentes sobre fitoplancton y productividad primaria en Nicaragua han sido llevados a cabo por el Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN) desde 1987 hasta la fecha y han sido mayormente dirigidos hacia los cuerpos interiores de agua dulce localizados en la región pacífica del país. Lo anterior se justifica, por los problemas de contaminación y degradación acelerada de las aguas superficiales de la región y su consecuente limitación de uso múltiple en beneficio de la población.

Desde 1995, la Universidad Centroamericana (UCA) cuenta con el Centro de Investigación del Camarón (CIC). Este Centro proporciona asistencia técnica a los camaronicultores y canaliza el financiamiento a las cooperativas ubicados en Puerto Morazán que funcionan bajo la modalidad extensiva y extensiva tecnificada de cultivo.

Es tarea de los Centros de Investigación, desarrollar estudios básicos que permitan evaluar las condiciones que ofrece el medio acuático para aprovechar al máximo la fuente inagotable y económica que nos ofrece el alimento natural, principalmente el fitoplancton.

Pocas investigaciones se han realizado en estanques de cultivo de camarones manejados bajo modalidad extensiva tecnificada, en lo referente a la valoración de la comunidad

planctónica y menos aún sobre la estimación de los niveles de productividad primaria del fitoplancton y los factores que afectan la misma. Por lo tanto, el conocimiento y evaluación de la cantidad del alimento natural disponible y de la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos son de absoluta importancia y más aún en los estanques manejados bajo esta modalidad de cultivo.

El presente trabajo permitirá una contribución al conocimiento y ecología de los sistemas estuarinos al generar información básica referente a la estructura comunitaria, biomasa y productividad primaria del fitoplancton en un estanque de cultivo de camarones bajo la modalidad extensiva tecnificada en Puerto Morazán, Chinandega.

## **II. OBJETIVOS**

### **General**

Valorar la importancia del fitoplancton y la productividad primaria en sistemas de cultivo extensivo tecnificado de camarón.

### **Específicos**

- Determinar la estructura comunitaria, densidad poblacional y biomasa del fitoplancton (peso-húmedo y clorofila-a).
- Determinar la concentración de nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , ortofosfato reactivo disuelto, fósforo total,  $\text{SiO}_2$ ) y parámetros físico-químicos (pH, alcalinidad, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y transparencia) del agua.
- Estimar la productividad primaria en sistemas de cultivo extensivo tecnificado de camarones mediante la aplicación del método del  $^{14}\text{C}$ .
- Estimar el potencial de producción de camarones en el estanque de cultivo basado en los valores de productividad primaria del fitoplancton.

### III. MARCO TEÓRICO

La cadena de alimentos en los estanques destinados a la acuicultura extensiva <sup>(\*\*)</sup> de camarones se inicia con el fitoplancton, eslabón por el cual fluye la energía hacia los niveles tróficos superiores.

El fitoplancton, consiste en un conjunto de organismos microscópicos vegetales no vasculares que contienen clorofila-a, estructuras reproductoras simples y se encuentran suspendidos en la columna de agua. Algunas especies son móviles, a través de flagelos o cilios, mientras otras, son inmóviles y solamente se mueven en respuesta a los movimientos del agua. La densidad del fitoplancton es ligeramente superior a la del agua (1,01 – 1,03) y la mayoría de estos organismos descienden y sedimentan en las aguas quietas, perdiendo de esta manera células por sedimentación (González, 1988). Sin embargo, existen mecanismos que alteran su distribución en el medio acuático entre los que se mencionan: presencia de vesículas de gas, mucílago, acumulación de grasa y espinas.

Estos microorganismos fotoautótrofos, forman parte de la dieta natural del camarón en sus primeros estadios de vida (larva; protozoa, mysis y postlarva). Según Martínez & Zapata (1997), estos organismos fotoautótrofos, constituyen un elemento alimenticio valioso para sostener el crecimiento del zooplancton y demás eslabones de la cadena alimenticia incluyendo a los camarones, principalmente en los sistemas extensivos y semi-intensivos. Sin embargo, en estanques donde se utiliza alimento complementario (modalidad semi-intensiva e intensiva) para incrementar la producción del organismo bajo cultivo, el fitoplancton es menos importante, pero su abundancia se incrementa en respuesta al incremento en la concentración de nutrientes producto de la alimentación suministrada.

<sup>(\*\*)</sup> Sistema de producción donde los requerimientos nutricionales del organismo bajo cultivo son satisfechos por fuentes naturales sin intervención del hombre (Mayo et al 1984, citado por Lanza, 1991).

## Importancia del fitoplancton

El fitoplancton es el grupo de microorganismos más importante de productores primarios sobre el planeta, dado que aproximadamente el 75 % de la tierra está cubierta por agua. Su importancia radica en:

- Son un componente importante en las cadenas tróficas ya que constituyen la base de la cadena alimenticia.
- Representan un sistema eficiente para la bioconversión de la energía luminosa aunado a la utilización de los elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo y otros elementos como hierro, cobre, molibdeno, silicio etc.) en materia orgánica, alimento disponible para el resto de la biota acuática.
- Proporcionan acerca del 70 % del oxígeno atmosférico. Además, parte del oxígeno producido es utilizado por los organismos restantes de la biota para su respiración.
- Contribuyen con oxígeno disuelto a la columna de agua de los estanques de cultivo a través del proceso fotosintético, así mismo, remueven metabolitos los cuales en concentraciones altas se pueden volver tóxicos para los camarones. Estas condiciones tóxicas pueden reducir la energía de los camarones e incrementar los costos para mantener una buena calidad de agua (Martínez & Zapata 1997).
- Juegan un papel importante en el reciclaje de nutrientes.

El fitoplancton puede separarse según su tamaño: nanoplancton (10 – 50  $\mu$ ), microplancton (50 – 500  $\mu$ ) y macroplancton (> 500  $\mu$ ). O bien pueden separarse de acuerdo a sus ciclos de vida: holoplancton (cuando pasa todo su ciclo de vida como plancton) y meroplancton (cuando pasan parte de su ciclo de vida como plancton).

El nanofitoplancton está representado por una agrupación heterogénea de pequeños organismos del fitoplancton de diferentes divisiones. Tiene una tasa de reproducción de dos a tres veces mayor que el fitoplancton de mayor tamaño, por lo que son considerados

de gran importancia como productores primarios, especialmente en los trópicos (Dawes, 1986).

La comunidad del fitoplancton presente en los estanques destinados al cultivo de camarones, está compuesta de una mezcla de especies que proceden del mar, otras que proceden del estero y otras pero muy pocas especies que penetran desde el agua dulce (todas con capacidad osmorreguladora). Por lo tanto, el grupo de organismos del fitoplancton que se encuentra en los estanques es heterógeno y comprende principalmente miembros de las siguientes divisiones: Chrysophyta (diatomeas), Pyrrophyta (dinoflagelados), Cyanophyta (algas verde - azules), Chlorophyta (algas verdes) y Euglenophyta.

### División Chrysophyta

- Clase Bacillariophyceae

Conocidas comúnmente como diatomeas. Estos microorganismos son unicelulares de paredes silíceas y son consideradas como el mejor alimento natural para los camarones si se comparan con otros tipos de algas (Boyd, 1990).

Muchas diatomeas poseen modificaciones para asegurar su suspensión y supervivencia en la zona fótica. Smayda (1970) ha sugerido que las adaptaciones morfológicas (forma celular, el tamaño y formación de colonias), fisiológicas y físicas pueden ayudarles a quedar suspendidos. Los mecanismos fisiológicos que aumentan la flotación de las diatomeas no móviles incluyen: la regulación de los iones en el citoplasma, presencia de vacuolas, producción de gases debido a la actividad fotosintética y la secreción de delgados filamentos de mucílago. Dos factores físicos importantes se consideran en la suspensión de las diatomeas: la viscosidad del agua y la circulación vertical; esta última es quizás la más importante en las migraciones estacionales de las células. Los géneros de diatomeas más comúnmente reportados en estanques de camarones son: *Navicula*, *Nitzschia*, *Diploneis*, *Tropidoneis*, *Cyclotella*, *Coscinodiscus* etc.

## División Pyrrophyta

Esta división incluye a los dinoflagelados. Desempeñan un papel importante en el ambiente marino por varias razones: son productores primarios importantes, son la base de los florecimientos de algas marinas llamados mareas rojas y son simbiosis importantes de varios invertebrados.

Ecológicamente, tres factores básicos parecen ser comunes a todas las mareas rojas: hay un aumento en la población, hay condiciones favorables para el surgimiento del florecimiento (salinidad, temperatura, nutrientes) y mantenimiento de movimiento de mareas rojas por factores oceanográficos y meteorológicos (Dawes, 1986). Se conoce como marea roja, al florecimiento excesivo de dinoflagelados las cuales puede haber de 500 000 a 2 millones de dinoflagelados por litro. Dos dinoflagelados importantes que causan mareas rojas son: *Ptychodiscus (Gymnodinium)* y *Gonyaulax*.

## División Cyanophyta

Conocidas comúnmente como algas verde - azules. Comprende un grupo primitivo de organismos con organización procariota, que se caracterizan generalmente por presentar reproducción binaria y división celular amitótica. Son cosmopolitas, viven en ambientes marinos, en agua dulce y en las rocas del desierto. La mayoría muestran gran adaptabilidad evolutiva a los cambios de salinidad por medio de modificaciones genéticas y presentan una distribución amplia con respecto a la salinidad. La vacuola contráctil constituye el principal organelo osmorregulatorio de estos organismos (Wetzel, 1981).

Muchos representantes de este grupo tienen forma filamentosa, así como formas coloniales. Todas con envoltura gelatinosa. La mayoría de las cianofíceas filamentosas (excepto las Oscillatoriaceae) poseen células especializadas llamadas heterocistes, que bajo condiciones aerobias ocurre en ellas la fijación de nitrógeno molecular. La formación de heterocistes y la fijación de nitrógeno por las algas verde - azules es inhibida en presencia de nitrógeno combinado accesible en forma de nitrato o amonio. Se ha comprobado que el número de heterocistes presentes en *Anabaena* spp se corresponde

bastante bien con la capacidad de fijación de nitrógeno (Horne y Goldman, 1972; Horne y col., 1972; citado por Wetzel, 1981).

La proliferación de algas verde - azules en los ecosistemas acuáticos, es favorecida por la flotabilidad positiva de sus células (presencia de vacuolas de gas, secreción de mucílago) y al escaso consumo que hacen de ellas los animales. Su abundancia es generalmente asociado a altas temperaturas y altas concentraciones de materia orgánica (Fogg et al. 1963; citado por Ollrik, 1978). Además, es bien sabido que las Cyanophyta son abundantes en el plancton, cuando aumenta la eutroficación. Los géneros que sobresalen en los estanques de cultivo se mencionan: *Oscillatoria*, *Lyngbya*, *Anabaena*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Spirulina*, *Merismopedia*, *Anabaenopsis* entre otros.

### División Chlorophyta

Comúnmente conocidos como algas verdes. Abarca un grupo muy grande y variado de organismos, los cuales están limitados casi en su totalidad a las aguas dulces. Hay aproximadamente 5 500 especies y casi el 90 % vive en ambientes de agua dulce. Sin embargo, se presentan con frecuencia en el suelo y en ambientes marinos. Sobresalen los siguientes géneros: *Tetraedron*, *Scenedesmus*, *Closterium*, *Pediastrum*, *Chlorella*, *Oocystis*, *Coelastrum* etc.

### División Euglenophyta

Son más abundantes en ambientes de agua dulce, pero existen en zonas intermareales y estuarinas especialmente en áreas con abundancia de nutrientes; se incluye a los géneros: *Euglena*, *Lepocinclis*, *Phacus*, *Trachelomonas*.

### **Productividad Primaria**

La productividad primaria en los ecosistemas acuáticos puede ser definida como la tasa en que la energía radiante del sol es utilizado por los productores primarios para llevar a cabo la actividad fotosintética y formar sustancias orgánicas de alto contenido de energía a partir de sustancias inorgánicas (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y nutrientes principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo) presentes en el agua. Estos compuestos son usados a su vez por el

fitoplancton para construir su propio tejido y estructuras, manteniendo de esta manera su crecimiento y reproducción (Boyd, 1990).

En la zona tropical, los valores de productividad primaria suelen ser más altos que los obtenidos en ecosistemas acuáticos templados, esto puede ser explicado en base a las altas temperaturas e incidencia constante de la luz a lo largo del año. Según Tait (1970), las variaciones estacionales de la velocidad de producción en las latitudes templadas están relacionados con los cambios de temperatura e iluminación. En el Lago Char (Canadá), la productividad primaria del fitoplancton es baja (alrededor de  $4 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ) como consecuencia de la escasez de luz y las bajas temperaturas, pero también de los pocos nutrientes disponibles (Wetzel, 1981).

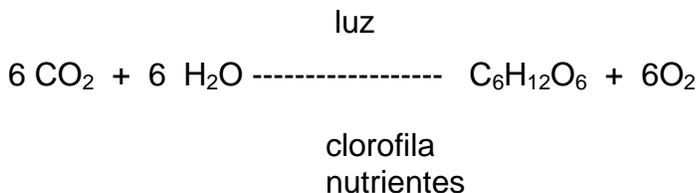
La variación en los ciclos anuales de productividad en los lagos ubicados cerca del ecuador, es muy pequeña debido a que los cambios climáticos en las regiones tropicales son poco trascendentales y los valores de productividad suelen ser extraordinariamente altos, mas aún si no existen severas limitaciones de nutrientes (Wetzel, 1981). Lagos tropicales pocos profundos, sin ninguna estratificación y con grandes entradas de nutrientes, como es el caso del Lago Xolotlán presenta altos valores de productividad a lo largo de todo el año ( $2\ 000 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ ; Erikson et al 1997). Caso contrario ocurre en lagos tropicales profundos con débil estratificación, donde en cierto período del año tienden a mostrar alguna periodicidad en su productividad. Por ejemplo, en el lago Victoria, en África, se reportan tasas un poco mas altas en los primeros meses del año y en los meses de junio y julio, lo cual está relacionado con la caída de la estratificación con el subsecuente abastecimiento de nutrientes lo que ha sido interpretado por Lewis (1974b: citado por Wetzel, 1981) como un factor dominante de control de la productividad primaria en el lago Lanao.

Existen modelos predictivos que utilizan los valores de productividad primaria para la estimación de la producción de peces en los lagos (Melack, 1976; Oglesby, 1977; Lowe-Connell, 1987, Downing et al 1990, Knosche & Barthelmes 1998; citado por Hooker et al 1998). Sin embargo, este parámetro muy raras veces es medido por los biólogos pesqueros.

Los modelos de producción pesquera utilizados se basan en el comportamiento de esfuerzo y captura y no se enfocan en “productividad acuática” como tal. Esto se debe a que el potencial pesquero está determinado por diversos factores operativos más que por el simple conocimiento de la biomasa de peces capturables en el agua.

Se ha demostrado la existencia de una correlación alta positiva entre los niveles de productividad primaria del fitoplancton y la producción acuícola en los estanques de peces y crustáceos que dependen en gran parte o completamente del alimento natural. Boyd (1990) menciona una serie de estudios llevados a cabo entre los que se estacan: a) El realizado en un estanque experimental fertilizado en la Universidad de Auburn (Smith & Swingle; 1938, Swingle & Smith; 1938) demostró que la producción de peces (*Lepomis* spp) estuvo siempre en proporción directa ( $r = 0,88$ ) con la concentración del material particulado, donde el fitoplancton comprendía la mayor de este material. b) Goodyear et al (1972) encontró una relación directa entre la producción de peces (*Gambusia affinis*) y la productividad del fitoplancton. c) Otros estudios realizados en la Universidad de Auburn (Almazán & Boyd, 1978 c) han demostrado una alta correlación entre las diferentes mediciones de la densidad del plancton y la producción de *Tilapia aurea*, lo cual obedeció a la alimentación directa de *T. aurea* sobre el plancton. d) Melack (1976) reportó que la producción de peces en los lagos del África y de la India se incrementa con el aumento de la fotosíntesis bruta.

Existen diferentes técnicas que nos permiten medir la productividad primaria ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ), éstas se basan en la ecuación simple del proceso de la fotosíntesis:



De acuerdo con la ecuación anterior es posible distinguir dos métodos distintos para medir productividad primaria:

- El primero es el del  $^{14}\text{C}$ , que consiste en dar el isótopo  $^{14}\text{C}$  en forma inorgánica a las algas. En el período inicial no existe el isótopo dentro de ellas, pero un cierto tiempo de

incubación a la luz este isótopo se fijará en ciertas moléculas orgánicas. La radioactividad de los componentes orgánicos es una medida de la tasa de la fotosíntesis (Fee, 1984).

-. El segundo método es determinar la cantidad de oxígeno producido por la fotosíntesis.

Ambos métodos se basan en la medición de la tasa fotosintética del fitoplancton en un pequeño volumen de agua encerrado en frascos que se exponen durante un cierto tiempo a la misma profundidad de la cual fue extraída la muestra. Estos métodos tienen limitaciones inherentes, los cuales surgen de la imposibilidad de replicar dentro del pequeño volumen de agua las condiciones naturales externas como es el consumo por los herbívoros y el movimiento vertical de las células dentro del campo de luz.

La medición de la productividad primaria por la incorporación de bicarbonato marcado con  $^{14}\text{C}$  es el método más directo que se tiene a mano y es más sensible que el método del oxígeno. El límite de sensibilidad del método del  $^{14}\text{C}$  es entre 50 y 100 veces mayor que el del oxígeno disuelto y está en el orden de  $0,1$  a  $1,0 \text{ mg C m}^{-3} \text{ día}^{-1}$ . Su desventaja, sin embargo, radica en el hecho de que requiere equipos más sofisticados y costos mayores que el método del oxígeno (Dokulil, 1984).

La producción primaria del fitoplancton en los ecosistemas acuáticos está controlada por: concentración de nutrientes, penetración de luz, temperatura, pastoreo y condiciones físico - químicas del agua.

### **a) Nutrientes**

Los organismos fotosintéticos necesitan en general de una fuente primaria de carbono (en la forma de anhídrido carbónico) para la síntesis de compuestos orgánicos primarios. Sin embargo, existen otros veinte elementos químicos que intervienen en la composición de compuestos más complejos, como proteínas. Por consiguiente, el medio ambiente en el que viven deben contener estos elementos, generalmente en forma de sales minerales, para que los organismos fotoautótrofos puedan crecer y multiplicarse y por ende, todas las otras formas de vida que dependen de ellas.

Ecosistemas acuáticos con una alta disponibilidad de nutrientes garantizan una elevada producción de organismos vegetales. Sin embargo, cabe señalar, que las necesidades básicas en relación a cada uno de los elementos químicos no son iguales para las diferentes especies.

Los compuestos inorgánicos más importantes para el crecimiento y desarrollo del fitoplancton son los compuestos de nitrógeno y fósforo.

### *Nitrógeno*

El nitrógeno, junto con el fósforo, el carbono y el hidrógeno, son los principales elementos del protoplasma celular de los organismos y constituye un importante nutriente de los ecosistemas acuáticos. En el agua, el nitrógeno puede presentarse en las diversas formas como: nitrógeno molecular, nitrógeno inorgánico y nitrógeno orgánico. El nitrógeno molecular ( $N_2$ ), es la fracción más común en el agua, dada su solubilidad y abundancia en la atmósfera: 78,084 % (Wetzel, 1981).

Las concentraciones de las formas inorgánicas, como el nitrito, nitrato y amonio varían considerablemente y en los estanques de cultivo fertilizados químicamente se reportan altas concentraciones de nitrógeno inorgánico inmediatamente después de la aplicación y un marcado descenso debido a la rápida asimilación que hacen los organismos fotosintéticos (Boyd, 1990).

El nitrógeno orgánico está presente como constituyente de la materia particulada viva y muerta y es liberado durante la descomposición del material biológico, principalmente como amoníaco ( $NH_3$ ), el cual es oxidado a nitrito ( $NO_2^-$ ) y finalmente a nitrato ( $NO_3^-$ ).

Los nitritos pueden aparecer como un producto intermedio en la nitrificación o en la reducción de los nitratos y es altamente tóxico para los peces y un poco menos para el camarón. Se ha observado que concentraciones de  $0,09 \text{ mg L}^{-1}$  de  $NO_2$  provoca una disminución en la actividad de los camarones (Franco, 1990).

El amonio es el principal producto de descomposición de la materia orgánica, específicamente de las proteínas y es la forma preferida y más rápidamente asimilada por

las algas, siendo su concentración en el mar y en algunos lagos (especialmente eutróficos) suficientemente alta para suprimir la absorción de nitrato y nitrito (Wetzel, 1981). Además, la absorción de amonio es menos dependiente de la luz que el nitrato y nitrito.

La mayoría de las algas pueden utilizar  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  o  $\text{NH}_4^+$  como fuentes de nitrógeno. El  $\text{NH}_3$  presente en las aguas obedece principalmente a la excreción de los peces (Tucker y Boyd, 1985; citado por Boyd, 1990) y crustáceos (Chin y Chen, 1987; citado por Boyd, 1990).

### *Fósforo*

El fósforo es uno de los 20 elementos reconocidos como esenciales para el crecimiento de todas las plantas, incluyendo el fitoplancton. Su abundancia en la hidrósfera es escasa, si se compara con la abundancia natural de otros componentes nutritivos y estructurales de la materia viva como son: el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y azufre (Wetzel, 1981).

El interés ecológico del fósforo proviene de su importante papel en el metabolismo biológico, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y del ATP (base de la síntesis de enzimas y de los sistemas de transferencia de energía intracelular). Es un nutriente primario del fitoplancton y a menudo es considerado elemento limitante de la productividad biológica de las aguas. Sin embargo, cuando se añade fósforo a los ecosistemas acuáticos (debido al vertido de productos de las actividades humanas o de forma experimental con el propósito de fertilizar) provoca un incremento rápido de la productividad algal. Raras veces la concentración del fósforo total excede los  $1\ 000\ \mu\text{g L}^{-1}$  (Boyd, 1990).

Estudios relacionados con el fósforo y el nitrógeno demostraron que la cantidad de fósforo total provoca generalmente un aumento en la productividad de los lagos (Vollenweider, 1968 citado por Wetzel, 1981).

La mayoría de datos sobre el fósforo en los ecosistemas acuáticos se refieren al fósforo total y al fósforo inorgánico soluble (ortofosfato). Este se encuentra en el agua en las siguientes formas:

- polifosfatos inorgánicos que ingresan a los cuerpos de agua provenientes de diferentes efluentes y que se hidrolizan transformándose a la forma ortofosfato. Los polifosfatos pueden también ser vertidos de manera directa como fertilizante en los estanques destinados a la acuicultura.
- fósforo orgánico disuelto que puede ser degradado y transformado a ortofosfato a través de la actividad microbial y
- fósforo como componente de sustancias orgánicas e inorgánicas particuladas.

La forma predominante e importante de fósforo para las algas es el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), este es tomado rápidamente por las células aún cuando las concentraciones en el agua están por debajo de  $1,0 \mu\text{g P L}^{-1}$  (Rigler, 1966; citado por Reynolds, 1984). Se sabe además, que las algas pueden utilizar compuestos orgánicos disueltos (Heath, 1986, citado por Boyd, 1990) como glicerofosfatos y pirofosfatos, lo cual varía con las especies (Wetzel, 1981).

### *Sílice*

El sílice es uno de los elementos químicos más abundantes de la corteza terrestre (25,5 % en peso). Es requerido para la formación de la pared celular de las diatomeas y estas lo toman en la forma del ácido ortosilícico  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$  en cantidades variables según la especie. Las concentraciones de sílice en los lagos, al igual que en el mar, exhiben frecuentemente marcadas variaciones en tiempo y espacio. Generalmente aparece en forma moderada en aguas límnicas y puede, a pesar de su poca reactividad química, tener una marcada influencia en la sucesión de especies y en la productividad primaria, la más evidente es la relación diatomeas : sílice.

### **b) Luz y temperatura**

La radiación solar es la fuente mas importante de energía para la productividad de los ecosistemas acuáticos. Esta energía dirige y controla el metabolismo de los mismos. La luz que penetra en el agua define la zona fótica y determina la profundidad hasta donde

puede crecer el fitoplancton. Sin embargo, la profundidad de penetración de la luz disponible para la fotosíntesis es dependiente de la atenuación provocada por el mismo fitoplancton, por los sólidos suspendidos, material disuelto en el agua y por la relación entre la zona fótica y profundidad de mezcla.

El rol de la luz es de gran significado para los procesos biológicos en aguas naturales como fuente de energía para la fotosíntesis de los organismos verdes. Para poder fotosintetizar, el fitoplancton debe permanecer en la zona fótica, mostrando diferentes respuestas fotosintéticas a la intensidad de luz, algunas están adaptadas a la luz tenue (algas de sombra), mientras que otras requieren de mucha luz (algas de sol). La mayoría, tienen un límite de tolerancia a la intensidad de luz, decolorándose a una gran intensidad de luz y dejando de crecer a una baja intensidad. Muchas actividades metabólicas están relacionadas con la luz, incluyendo la producción de pigmentos, tasas fotosintéticas, movimiento de los cloroplastos, bioluminiscencia y respuestas fototácticas. La forma en que ocurre la adaptación a la luz en las plantas es todavía una incógnita.

La eficiencia en la productividad de las algas, en términos de utilización de luz, está relacionado con la cantidad de luz disponible dentro del agua y con las tasas de transformación fotosintética de la energía luminosa en energía química. Casi todas las eficiencias estimadas en el fitoplancton son menores del 1 % y los valores más altos alcanzados se dan en las áreas tropicales en el rango del 2 al 3 % (Wetzel, 1981). En aguas superficiales y muy transparentes, las eficiencias son relativamente bajas por efecto de inhibición de fotosíntesis debido a la luz. En los puntos donde llegan intensidades bajas de luz, como en el límite inferior de la zona fótica, puede ocurrir una adaptación de las algas a la poca iluminación, lo cual contribuye a aumentar un poco la eficiencia. Sin embargo, los valores fotosintéticos en este estrato normalmente son tan bajos que incrementan poco la eficiencia total.

El fitoplancton experimenta variaciones en su actividad fotosintética según la hora del día. En general, aumenta por la mañana, decrece hacia el mediodía y, excepto en mares y lagos muy oligotróficos, presenta otro máximo, menor que el primero, al principio de la tarde (Margalef, 1983). Por lo tanto, se considera que la capacidad fotosintética de las algas es una función de la intensidad de luz.

Las células que crecen a baja radiación tienen un alto contenido de pigmentos y una alta tasa fotosintética que aquellas que crecen a altas radiaciones. Esto parece ser una consecuencia directa del mejoramiento en la absorción de luz (Morris, 1980). Lo anterior fue comprobado por Harris et al (1979a; citado por Morris, 1980) al mostrar que los cambios en la capacidad fotosintética sobre un período de tiempo, es consecuencia de cambios en el contenido celular de la clorofila, por lo tanto de la eficiencia fotosintética. Beardall y Morris (1976; citado por Morris, 1980) usando *Phaeodactylum*, concluyeron que, a bajas radiaciones las células exhiben un incremento en la actividad fotosintética por unidad de clorofila, lo cual es debido principalmente, al incremento en el contenido de pigmentos y a la alta absorción lumínica.

Una alta capacidad fotosintética refleja la habilidad de las células de mantener una alta tasa de fijación de carbono por un período de horas. Para que esto sea así, la temperatura, los nutrientes y otros factores deben ser tales que las células puedan crecer rápidamente (Morris, 1980).

La temperatura, además de ser un factor regulador importante de la actividad fisiológica y de las velocidades de reacción química en general, se halla relacionada con la solubilidad de los gases, variaciones de densidad, estratificación e incluso con las variaciones de toxicidad de una sustancia (Branco, 1984).

La mayor parte de los organismos acuáticos son de tipo poiquiloterms (sin capacidad para regular la temperatura interna) por consiguiente, la velocidad de sus reacciones metabólicas dependen de la temperatura del agua en el cual viven sumergidos. La elevación de la temperatura acelera la respiración, la nutrición, la reproducción y el movimiento en general, caso contrario ocurre en ambientes con bajas temperaturas.

Los efectos ecológicos de la luz y la temperatura sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las algas son inseparables, debido a las interrelaciones entre metabolismo y saturación de luz. Cuando las intensidades de luz es muy alta se tiene un efecto inhibitor, que se atribuye a la destrucción de la clorofila por fotooxidación, además, aumenta la respiración y especialmente la fotorespiración. A bajas intensidades lumínicas, la tasa fotosintética está limitada por las reacciones luminosas de la fotosíntesis, es decir, por las reacciones

fotoquímicas que incluyen el número de quanta disponibles y la capacidad de las células para absorberlos (Margalef, 1983).

### **c) Pastoreo**

La depredación o pastoreo, es el hábito de alimentación que implica la captura y consumo por parte de otros organismos, ésta forma de interacción determina la densidad poblacional, estructura espacial y temporal de las comunidades (González, 1988), por lo tanto es un factor determinante de la estructura comunitaria del fitoplancton.

La caída drástica en la densidad del fitoplancton no se debe completamente al agotamiento de nutrientes, sino que, puede obedecer a un rápido aumento del zooplancton. Por lo tanto, la determinación de la biomasa de una comunidad del fitoplancton puede no reflejar la productividad real ya que puede estar sometida a un pastoreo constante e intenso (González, 1988).

### **d) Condiciones físico - químicas del agua**

#### *Salinidad*

En terminología química, la salinidad corresponde a la concentración total de todos los iones presentes en el agua y se expresa en  $\text{mg L}^{-1}$  o  $\text{meq L}^{-1}$ . Normalmente está determinada por cuatro iones principales: calcio, magnesio, sodio, potasio y por los aniones: carbonatos, sulfatos y cloruros.

La salinidad de las aguas superficiales es altamente variable ya que su concentración depende de las influencias iónicas de la cuenca de drenaje, de las sustancias atmosféricas derivadas de la tierra y del océano, de la actividad humana y del equilibrio e intercambio del volumen de agua con los sedimentos (Wetzel, 1981).

Los ecosistemas acuáticos pueden ser clasificados en base a su salinidad (Fast, 1986; citado por Boyd, 1990) en aguas dulces,  $< 0,05 \text{ ‰}$ ; aguas oligohalinas,  $0,5 - 3,0 \text{ ‰}$ ; aguas mesohalinas,  $3,0 - 16,5 \text{ ‰}$ ; aguas polihalinas,  $16,5 - 30,0 \text{ ‰}$ ; aguas marinas,  $30,0 - 40,0 \text{ ‰}$  y aguas hipersalinas,  $> 40,0 \text{ ‰}$ .

Los estanques de agua salobre (0,5 – 30,0 ‰) ubicados en áreas tropicales y que se abastecen con agua de esteros, la salinidad varía grandemente con las estaciones seca y lluviosa. Durante la estación lluviosa, grandes volúmenes de agua dulce que descargan los ríos hacia los esteros, causan una disminución en los valores de salinidad. Caso contrario ocurre en la estación seca, donde la alta evaporación del agua en los estanques conlleva a la concentración de iones y por ende a un aumento en la salinidad. Para la estación seca, en estanques de camarones localizados en Ecuador y Panamá se han reportado valores de salinidad de 40,0 – 60,0 ‰ (Boyd, 1990).

Las algas exhiben un amplio rango de tolerancia a las concentraciones de sales que varía desde cantidades milimolares hasta soluciones salinas saturadas. Las bacterias y las cianofíceas muestran una gran adaptabilidad a los cambios de salinidad. Los organismos pueden dividirse en halotolerantes y en halofílicas. Las halofílicas requieren sal para el crecimiento óptimo, mientras que las halotolerantes tienen mecanismos de adaptación al medio salino como función de la actividad osmótica.

Algunas especies del fitoplancton de hábitats estuarinos pueden crecer bien en salinidades que van del agua dulce al agua marina (35 ‰) o más, mientras que otras especies son menos tolerantes y requieren aguas salobres con límites de salinidad más limitados (por ejemplo de 4 a 20 ‰).

Cuando las salinidades son altas (principio de la siembra), la mayoría de las algas presente en los estanques pertenecen a las diatomeas entre las que sobresalen: *Coscinodiscus*, *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Eucampia*, *Biddulphia*. Sin embargo, a bajas salinidades (principalmente durante la estación lluviosa), las Chlorophyta tienden a aumentar, pudiendo aparecer las Euglenophyta a salinidades por debajo de 15 ‰ (Lin, 1995) y más aún todavía a algas verde - azules (Boyd, 1990). Con lo antes mencionado, se considera a la salinidad como un factor que ejerce influencia sobre la presencia, distribución y abundancia de los organismos.

## Oxígeno

El oxígeno disuelto en los ecosistemas acuáticos es un parámetro importante y esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos con respiración aerobia. Las propiedades de solubilidad del oxígeno así como su distribución, son necesarios para comprender la distribución, el comportamiento y el crecimiento fisiológico de los organismos acuáticos (Wetzel, 1981).

La principal fuente de producción de oxígeno en los estanques es por parte del fitoplancton, sin embargo, cabe mencionar el efecto importante que ejerce el viento en el suministro de oxígeno y como generador de mezcla. Constituye una de las variables de calidad de agua más crítica en la acuicultura. Su consumo en los estanques es debido a los siguientes procesos:

- Respiración de los organismos presentes en el estanque; fitoplancton, zooplancton, bentos, camarones, peces, etc.
- Difusión del oxígeno hacia la atmósfera.
- Demanda por la materia orgánica en descomposición.

La concentración de oxígeno disuelto influye de sobremanera a las especies bajo cultivo. Los efectos se resumen a continuación:

<u>Concentración de Oxígeno Disuelto</u>	<u>Efecto</u>
Menor de 1 ó 2 mg L <sup>-1</sup>	Letal si la exposición dura más de unas pocas horas.
2 – 5 mg L <sup>-1</sup>	El crecimiento podrá ser lento si las concentraciones bajas de oxígeno es continuo.
5 mg L <sup>-1</sup> a niveles de saturación	Mejores condiciones para un buen crecimiento.
Por encima del nivel de saturación	Puede ser peligroso.

Fuente: Boyd (1990)

Cuando las concentraciones de oxígeno disuelto presente en los estanques se encuentran a niveles muy bajos, los organismos bajo cultivo pueden morir. Sin embargo, los efectos adversos que se presentan más a menudo se expresan en una reducción en el crecimiento y una alta susceptibilidad a las enfermedades. Lo anterior obedece, que bajo estas condiciones, los organismos comen menos, por lo tanto, la conversión alimenticia hacia la formación de tejido no se lleva a cabo de la manera más eficiente (Boyd, 1990).

### *Transparencia*

Una medida convencional para la transparencia del agua es la profundidad visual y se realiza utilizando el disco Secchi (según A. Secchi; italiano que lo introdujo en 1865). La profundidad de la desaparición visual se transforma en la transparencia del disco de Secchi el cual varía desde unos pocos centímetros en extensiones de agua muy turbia hasta 40 metros en lagos de gran altura, improductivo, muy claro, como por ejemplo, el Lago Cráter en Oregón (Odum, 1971).

La transparencia es esencialmente función de la reflexión de la luz por su superficie y por lo tanto, está influenciado por las características de absorción tanto del agua como de la materia disuelta y particulada existente en el medio acuático. Los problemas ecológicos que se plantea con el aumento de la turbiedad en el agua se refiere principalmente a la penetración y a la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis.

La penetración de la luz se ve a menudo limitado por los materiales en suspensión que reducen la zona fotosintética. Por lo tanto, el enturbiamiento del agua constituye con frecuencia un factor limitativo importante. Sin embargo, cuando la turbidez es producto de organismos vivos, las mediciones de transparencia se convierten en índices de productividad.

A pesar de que actualmente existen instrumentos fotosensitivos modernos que proporcionan datos más precisos en relación con la penetración de la luz, el disco Secchi sigue siendo considerado un instrumento útil para administradores de piscicultura, los cuales se sirven a menudo de esta técnica para ajustar el nivel de fertilización de modo que produzca un buen crecimiento, pero no excesivo del fitoplancton (Odum, 1971).

## *pH y Alcalinidad*

El pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno libres [ $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ ] y es una función del contenido de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua. Constituye una de las propiedades más sensible para detectar variaciones en el sistema  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  del agua y es de fundamental importancia para la evaluación del potencial fotosintético de la comunidad del fitoplancton presente en un ecosistema acuático.

Los valores de pH aumentan con la fotosíntesis y disminuyen con la respiración. Las variaciones en los valores de pH que ocurren a lo largo del día debido a la actividad fotosintética, proporcionan una idea sobre el ritmo diario de la producción. Durante el día, la absorción de  $\text{CO}_2$  es intensa, provocando una elevación del pH y una precipitación de carbonatos, caso contrario ocurre por las noches, donde el pH disminuye. Estos simples cambios de pH en el agua, pueden ejercer influencia sobre la distribución y abundancia de los organismos, así como en la disponibilidad de ciertos nutrientes (Begon et al. 1987: Goldman & Horne, 1983).

Bajos valores de pH reducen la cantidad de fósforo inorgánico disuelto y la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  para el plancton. Los altos valores pH favorecen la rápida precipitación del fosfato cuando se aplican fertilizantes a los estanques (Boyd, 1990) y pueden conducir a una mayor concentración de  $\text{NH}_3$ , forma tóxica para el camarón (Franco, 1990).

Las algas exhiben una clara dependencia del pH para su crecimiento y las especies varían ampliamente en su respuesta al pH. Goldman & Horne (1983), indican que cuando el pH oscila entre 4 - 5 la diversidad de especies es severamente restringida. Se ha observado que las algas verde – azules dominan los sistemas acuáticos cuando el pH es mayor que 8,4 (Parkes et al 1975; citado por Chamberlain, 1955).

La alcalinidad total puede definirse en términos generales como una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, se expresa en  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  y tiene mucha relación con el pH del agua. En rangos aceptables de pH (7,0 – 8,5), su valor alcanza de 100 a 150  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ , que en la práctica ha demostrado ser un nivel aceptable para la producción de fitoplancton. Puede además, afectar la composición de la

comunidad del fitoplancton. Los estanques, Black Belt Praere y Predmont localizados en Alabama registraron alcalinidades totales de 69 – 148 mg L<sup>-1</sup> y 10 – 15 mg L<sup>-1</sup> respectivamente, donde el primer estanque presentó una baja concentración de algas verde – azules y una mayor proporción de algas verdes que el segundo estanque (Boyd, 1990).

#### **IV. HIPÓTESIS**

La estimación analítica del fitoplancton y la valoración de la productividad primaria en un estanque de cultivo facilita un mejor aprovechamiento de la productividad natural del estanque y la puesta en marcha de buenas prácticas de manejo.

## **V. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **Tipo de estudio**

Estudio descriptivo de corte transversal donde el universo de estudio corresponde a los estanques de cultivo de camarones localizados en el complejo estuarino del Estero Real, Puerto Morazán, Departamento de Chinandega. Abarcó un período comprendido del 03 Junio hasta el 06 Septiembre de 1999.

### **Selección del área de estudio**

El estanque de cultivo de camarones seleccionado para este estudio, fue un estanque manejado bajo modalidad extensiva tecnificada, perteneciente a la Cooperativa de Productos del Mar “COOPROMAR”. La misma fue escogida en base al cumplimiento de los requisitos del diseño estructural, principalmente en función de su forma regular.

### **Descripción del estanque**

El estanque de cultivo de camarones bajo consideración de estudio, tiene una extensión de 32 hectáreas de espejo de agua y cuenta con dos compuertas de entrada, las mismas funcionan como compuertas de salida durante la cosecha (Ver plano en Anexo No. 1).

Técnicamente estos estanques cuentan con una zona de canal que se caracteriza por ser la zona de mayor profundidad (promedio: 0,90 m) y una zona somera conocida como meseta (promedio: 0.50 m), esta última se localiza en la parte central del estanque. En la zona de canal se refugian la mayoría de camarones durante su etapa de desarrollo (mientras mas profunda es la piscina, mayor es la tasa de crecimiento del camarón), ya que se protegen de las altas temperaturas que se alcanzan en la zona de meseta, logrando así un mejor aprovechamiento de los componentes del agua.

Antes de la siembra, el estanque fue llenado con agua del Estero El Semillal por medio de bombeo hasta lograr un nivel de operatividad entre 0,90 – 1,0 m. La siembra de la granja se realizó con postlarvas silvestres de *Litopenaeus vannamei* (92 %), alcanzando una densidad de siembra de 10 postlarvas por metro cuadrado.

## **Sitio de muestreo**

Se determinó como la unidad de análisis, el agua captada en un sólo un punto de muestreo, el cual fue escogido por conveniencia, atendiendo la profundidad y migración de los camarones hacia la zona de canal (Ver plano, en Anexo No. 1).

## **Muestreo de estudio**

Desde la siembra hasta la cosecha, el punto de muestreo localizado en la zona de canal, fue muestreado entre las 8:00 - 9:00 AM con una frecuencia quincenal para un total de 8 muestreos.

En cada gira de campo fueron captadas muestras de agua para los 10 análisis siguientes:

- estudio cualitativo del fitoplancton,
- estudio cuantitativo (densidad poblacional, biomasa peso-húmedo) del fitoplancton,
- estudio cuantitativo (biomasa clorofila-a) del fitoplancton,
- estimación de la productividad primaria,
- diagnóstico físico-químico (pH, alcalinidad, oxígeno disuelto, nitrato, nitrito, ortofosfato disuelto, fósforo total y dióxido de sílice) del agua.
- concentración de amonio.
- oxígeno disuelto

Todas las muestras fueron tomadas considerando las características propias de captación y preservación de las mismas para el análisis de cada variable en particular.

Además, se tomaron dos muestras adicionales de agua para la medición in situ de la salinidad y la temperatura del agua. La medición de la transparencia del agua se midió al momento del muestreo.

Con lo antes descrito, se recolectó un total de 80 muestras, habiéndose practicado un total general de 88 análisis de agua durante todo el período de muestreo.

Todas las muestras a ser utilizadas fueron tomadas a 50 cm de profundidad en la zona de canal y con ayuda de una botella hidrográfica Van Dorn de 2,5 l (Anexo No. 2).

## **Métodos de Recolección de la Información**

Información primaria y secundaria fueron utilizadas en el estudio, consistentes en visitas en el sitio para estudio inicial de reconocimiento del área, de las condiciones del estanque, de las características de producción y manejo del estanque que permitieran llevar a cabo el estudio. La colaboración del Centro de Investigación del Camarón y del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua fueron determinantes al facilitar las giras de campo en las fechas según cronograma y en los análisis de las muestras de agua respectivamente. Entrevistas a autoridades de la comunidad, Presidentes de Cooperativas y autoridades universitarias fueron incorporados en el estudio, así como las revisiones bibliográficas.

### **Características metodológicas de la toma de muestras y del análisis de laboratorio en el período de estudio.**

#### **a) Toma de muestras y métodos para el estudio del fitoplancton: análisis cualitativo y cuantitativo (densidad poblacional y biomasa; peso - húmedo y clorofila - a)**

##### **a. 1) Análisis cualitativo**

Las muestras cualitativas del fitoplancton fueron recolectadas mediante el uso de una red de arrastre de 25  $\mu$  de luz de malla (Anexo No. 3). La identificación se llevó a cabo utilizando el material fresco colectado hasta el nivel máximo posible, utilizando el microscopio compuesto (40x y 100x) y las claves taxonómicas siguientes: Pascher, A (1925); Huber - Pestalozzi (1961); Hendey, Y. N (1964); Cupp, E. E. (1977) y Kramer, K. & Bertalot, L. H (1991).

##### **a. 2) Análisis cuantitativo (Densidad poblacional y Biomasa peso - húmedo)**

Se recolectó 250 ml de agua en un frasco plástico color ámbar previamente lavado y una vez captada la muestra fue preservada con solución lugol (3 gotas/100 ml de muestra) para realizar los análisis siguientes:

a. 2. 1) Densidad poblacional ( $\text{Ind L}^{-1}$ ) fue estimada por conteo directo en cámaras de sedimentación utilizando el microscopio invertido (Anexo No. 4 y No. 5) y siguiendo el método de Utermöhl (1958).

a. 2. 2) Biomasa peso - húmedo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) fue obtenida por el volumen de cada especie, la cual se calculó a partir de modelos geométricos aproximados (esferas, cilindros, conos, paralelepípedos etc.) a la forma del alga. La unidad de expresión ( $\text{mg L}^{-1}$ ) es obtenida al asumir que la gravedad específica del alga es igual a uno.

a. 3) Análisis cuantitativo (Biomasa Clorofila - a)

Se recolectó 1 000 ml de agua en un frasco plástico previamente lavado y cubierto de papel de aluminio el cual fue guardado en un termo con hielo hasta su arribo al laboratorio en un período aproximado de 8 horas. La concentración del fitoplancton se realizó por filtración haciendo uso de filtros Whatman GF/C ( $0,45 \mu$ ). La extracción de pigmentos se llevó a cabo mediante un solvente orgánico (Etanol al 90 %) y su posterior valoración espectrofotométrica, siguiendo el método de Nusch & Palme (1975). La biomasa clorofila - a fue expresada en  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Todos los análisis de fitoplancton se llevaron a cabo en el Depto. de Hidrobiología, sección Fitoplancton, perteneciente al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN).

### **b) Toma de muestras para la estimación de la productividad primaria**

Se utilizó el método del  $^{14}\text{C}$  y siguiendo la técnica descrita en Ahlgren (1988).

Una solución de bicarbonato radioactivo fue añadido (1 ml de  $\text{NaHCO}_3$ ; 1  $\mu\text{Ci}$ ) a las botellas claras y oscuras (135 - 141 ml), que habían sido llenadas con agua del estanque.

Las mismas fueron incubadas in situ por una hora a diferentes profundidades (0,10, 0,20, 0,30, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70 y 0,80 m).

Nota; la cantidad de profundidades de incubación estuvo en función con el aumento del nivel de agua del estanque que ocurrió durante la estación lluviosa.

Después de la incubación, en el laboratorio del Depto. de Hidrobiología, Sección Producción Primaria, perteneciente al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN), fue concentrada la muestra de agua por filtración utilizando filtros de celulosa (Nucleopore; 0,45  $\mu$ ).

La segunda fase consistió en el envío de los filtros al Instituto de Limnología de la Universidad de Uppsala (Suecia), para la valoración radioactiva a través de un contador de centelleo líquido (LKB Wallac 1217 Rackbeta), mediante la colaboración de los Doctores Ingemar y Gunnel Ahlgren.

Los datos de productividad se expresan en  $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  y en  $\text{mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Esta última se obtuvo por planimetría al integrar los datos obtenidos a cada profundidad sobre un metro de columna de agua.

#### **c) Toma de muestras de agua para el análisis físico-químico y determinación de amonio.**

Las muestras de agua para el análisis físico-químico (pH, alcalinidad, nitrato, nitrito, ortofosfato disuelto, fósforo total y dióxido de sílice) fueron recolectadas en galones plásticos previamente lavados y transportadas en termos con hielo hacia el laboratorio.

Las muestras de agua para la determinación de amonio fueron tomadas en botellas de un litro color ámbar y preservadas con 1 ml de ácido sulfúrico (95 %).

#### **d) Toma de muestras de agua para la determinación de oxígeno disuelto**

Las botellas para la estimación de la concentración de oxígeno disuelto fueron llenadas cuidadosamente mediante el uso de una manguera y fijadas inmediatamente con los reactivos de Winkler en el sitio de muestreo.

Los análisis que se mencionan en los incisos c y d se determinaron de acuerdo al Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (19th Edition, APHA, 1995) y contando con el apoyo del Depto. de Hidroquímica del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA - UNAN). Los métodos utilizados en los análisis arriba mencionados se resumen en la Tabla I.

Tabla 1

Métodos utilizados en el análisis físico-químico del agua del estanque bajo estudio.

	Nombre del método	Número de referencia del Standard Methods (APHA, 1995)
pH	Método electrométrico	4500 - 0C
Alcalinidad	Método de titración	2510.B
Nitrato	Método de cromatografía iónica	2320.B
Nitrito	Método colorimétrico	4500 - NO2.B
Ortofosfato disuelto	Método del ácido ascórbico	4500 - P.E
Fósforo Total	Método del ácido ascórbico	4500 - P.B.E
Sílice disuelta	Método molibdosilicato	4500 - Si.D
Amonio	Método de Rodier	***

#### **d) Toma de muestras para la medición de la temperatura y salinidad**

La temperatura del agua se midió usando un termómetro de mercurio, Fisher Scientific (20 – 100 °C, sensibilidad 0,2 °C), donde la parte sensible del termómetro fue introducida en la muestra de agua para su lectura.

La salinidad del agua se determinó utilizando un refractómetro-salinómetro (Area Inc. con escala de 0 - 100 partes por mil). Se colocó una gota de muestra en el refractómetro y se procedió a la lectura. Ambas variables fueron medidas in situ.

#### **e) Medición de la transparencia del agua**

La transparencia del agua fue medida dentro del estanque a través del disco Secchi (Anexo No. 6). La lectura de la transparencia del agua correspondió a la profundidad a la cual desaparece la visión del disco Secchi.

## Variables del estudio

- ◆ Composición cualitativa del fitoplancton

Proporciona información sobre la variedad de especies presentes en el cuerpo de agua, los cuales a su vez pueden ser utilizados como indicadores ecológicos.

- ◆ Densidad poblacional del fitoplancton

Valora el total de organismos presentes por unidad de volumen. Se expresa en  $\text{Ind L}^{-1}$ .

- ◆ Biomasa peso-húmedo del fitoplancton

Indica la cantidad de alimento vivo disponible para los siguientes niveles tróficos. Se expresa en miligramos por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

- ◆ Biomasa clorofila - a del fitoplancton

Forma indirecta de estimación de la biomasa del fitoplancton presente en un ecosistema ya que la clorofila - a es una molécula que está presente en todas las plantas verdes y es la que capta la energía radiante del sol haciendo posible la síntesis de moléculas orgánicas. Se expresa en microgramos por litro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

- ◆ Productividad primaria

Está definida como la tasa en que el carbono inorgánico es convertido a través de la fotosíntesis en compuestos orgánicos de alto contenido de energía. Se expresa en  $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$ .

- ◆ pH

Se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones libres [ $\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$ ] y es una función del contenido de  $\text{CO}_2$  disuelto en el agua.

#### ◆ Alcalinidad

La alcalinidad total puede definirse en términos generales como una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos, se expresa en miligramos por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de  $\text{CaCO}_3$  y tiene mucha relación con el pH del agua.

#### ◆ Oxígeno disuelto

Es un parámetro importante y esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos con respiración aerobia. Se expresa en miligramos por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

#### ◆ Nutrientes: nitrato, nitrito, amonio, ortofosfato disuelto y dióxido de sílice

Los nutrientes, generalmente en forma de sales minerales, son necesarios para que los organismos fotoautótrofos puedan crecer y multiplicarse. La mayoría de las algas pueden utilizar  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$  como fuentes de nitrógeno. La forma predominante e importante de fósforo para las algas es el ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Se expresan en microgramos por litro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ).

El sílice es un elemento químico requerido para la formación de la pared celular de las diatomeas y estas lo toman en la forma del ácido ortosilícico [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ] en cantidades variables según la especie. Se expresa en miligramos por litro ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

#### ◆ Salinidad

La salinidad corresponde a la concentración total de todos los iones presentes en el agua. Normalmente está determinada por cuatro iones principales: calcio, magnesio, sodio, potasio y por los aniones: carbonatos, sulfatos y cloruros. Se expresa en miligramos por litro o miliequivalentes por litro ( $\text{mg L}^{-1}$  o  $\text{meq L}^{-1}$ ).

#### ◆ Temperatura

Es un factor regulador importante de la actividad fisiológica y de las velocidades de reacción química en general. Se expresa en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

◆ **Transparencia**

Es una medida del grado de transparencia de un cuerpo de agua. Además, es una forma indirecta de medición hasta donde llega el 1 % de luz. Se expresa en metros (m).

**Tratamiento de los datos**

Los datos fueron procesados aplicando la estadística descriptiva (media, desviación estándar, porcentajes) y la estadística inferencial (Anova una vía, Análisis de Rangos Múltiples de Duncan y Coeficientes de correlación).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

### - Composición del fitoplancton

En la Tabla II se indica las especies del fitoplancton encontrado en el estanque extensivo de camarones perteneciente a la Cooperativa de Productos del Mar (COOPROMAR) durante el ciclo de cultivo (02 Junio - 06 Septiembre de 1999). Treinta y siete taxa fueron identificados; 19 taxa perteneciente a las Bacillariophyta, 11 taxa a las Cyanophyta, 6 taxa a las Chlorophyta y 1 taxón a las Dinophyta.

Tabla II

Lista de géneros y/o especies reportados en el estanque de cultivo de camarones de la Cooperativa de Productos del Mar (COOPROMAR)

#### **Cyanophyta**

*Anabaena constricta*  
*Anabaena viguieri*  
*Anabaena planctonica*  
*Anabaenopsis circularis*  
*Anacystis* sp  
*Lyngbya lagerheimii*  
*Lyngbya* sp  
*Merismopedia* sp  
*Nodularia spumigena*  
*Oscillatoria limosa*  
*Spirulina* sp

#### **Chlorophyta**

*Chlamydomonas* sp  
*Chlorella* sp  
*Chlorococcal*  
*Kirchneriella lunaris*  
*Oocystis submarina*  
*Schroederia indica*

#### **Dinophyta**

*Peridinium* sp

#### **Bacillariophyta**

*Amphiprora alata*  
*Amphiprora angustata*  
*Amphora ventricosa*  
*Amphora* sp  
*Caloneis westii*  
*Cyclotella pseudostelligera*  
*Chaetoceros gracilis*  
*Diploneis bombus*  
*Gyrosigma* sp  
*Mastogloia* sp  
*Melosira* sp  
*Navicula* sp  
*Nitzschia closterium*  
*Nitzschia longissima*  
*Nitzschia sigma*  
*Nitzschia tryblionella*  
*Nitzschia* sp  
*Terpsinoe musica*  
*Tropidoneis lepidoptera*

La comunidad es poco diversa y coinciden con los reportados por Hernández (1999) en cuanto a cantidad y aportación numérica de los taxa a las diferentes divisiones algales.

Generalmente los estanques salobres destinados al cultivo de camarones marinos se caracterizan por presentar baja riqueza de especies. La afirmación de Wetzel (1981) es válida cuando asevera, que el número de especies que habitan en aguas salobres es muy inferior al de las regiones marinas con hábitats similares y bastante inferior al número de especies de las aguas dulces. Lo anterior puede estar asociado a la inestabilidad de las condiciones ambientales que ocurren en los esteros (fuente de agua que alimenta a los estanques de cultivo), específicamente la salinidad.

### - Contribución relativa

La contribución relativa de los principales grupos de algas a la riqueza de especies se aprecia en la Fig. 1. Las Bacillariophyta seguidas de las Cyanophyta fueron los grupos taxonómicos que contribuyeron más a la riqueza de especies del fitoplancton en el estanque bajo estudio (Ver Anexo No. 7).

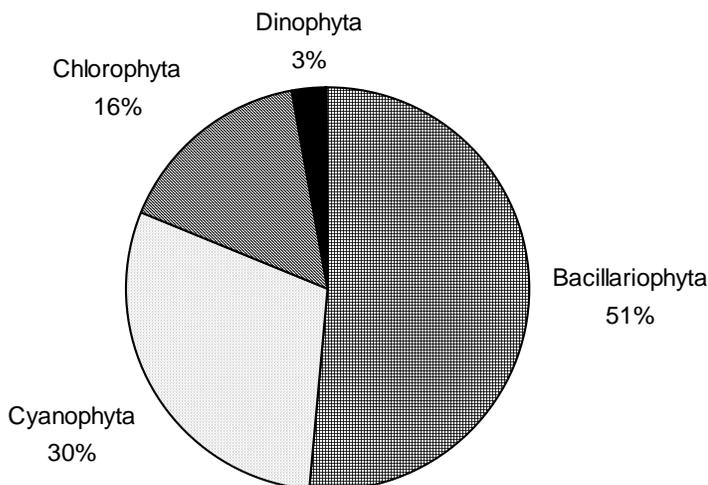


Fig. 1  
Contribución relativa de los grandes grupos taxonómicos a la riqueza de especies en el estanque de cultivo.

Sobresalen entre las Bacillariophyta las especies; *Nitzschia sigma* y *Amphiprora alata*, mientras que *Anabaena viguieri* y *Anabaena constricta* se destacan entre las Cyanophyta. Las especies antes mencionadas tuvieron presencia constante en todas las muestras analizadas y su persistencia se pudiera explicar en términos de una mayor eficiencia o

adaptación a los cambios ambientales frecuentes que ocurren en el medio acuático. Según Margalef (1986), los organismos vivientes en un ecosistema acuático han superado condiciones extremas de selección y forman un conjunto de especies oportunistas y muy resistentes, a veces inexplicablemente resistentes.

La presencia y abundancia de diatomeas en los estanques de cultivo, favorece a los acuicultores debido a que las diatomeas son elementos altamente nutritivos dado su alto contenido en ácidos grasos no saturados, alta permeabilidad de la pared silíceo lo que facilita la asimilación de enzimas, tamaño apropiado de sus células lo que permite la fácil ingestión y la ausencia de toxinas asociadas (Chamberlain, 1995). Cabe agregar que el alto contenido de ácidos grasos presente en las diatomeas, proporcionan al camarón una mayor resistencia al stress y juegan un papel esencial en las membranas celulares ya que se depositan en el tejido animal (Hernández & Rivera 1999). En un estudio llevado a cabo en estanques de camarones por Hunter et al 1987 y citado por Chamberlain (1995) encontró que las diatomeas ricas en ácido docosahexaenoico promueven altas tasas de crecimiento de la especie en cultivo.

En la Fig. 2 se ilustra el número de taxa por grupo taxonómico en las diferentes fechas de muestreo durante el ciclo de cultivo. Los cuatro grupos mantuvieron su representación durante el transcurso de todo el estudio, presentando variaciones en el tiempo. El análisis de varianza de un factor demostró que existen diferencias significativas ( $\alpha < 0,05$ ) entre los promedios de los taxa de los cuatro grupos algales (Anexo No. 8). La división Cyanophyta resultó diferente con las Dinophyta y el grupo de las Bacillariophyta fue el que determinó la diferencia entre los tres grupos restantes (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan).

Estos cambios que ocurren en la composición del fitoplancton de los estanques de cultivo de camarones, son eventos que se manifiestan en todo sistema acuático, lo cual podría corresponder a la modificación en las condiciones físico-químicas del agua. Factores tales como: salinidad, pH, temperatura, materia orgánica, concentración de nutrientes, condiciones climáticas, pastoreo, competencia inter e intraespecífica, toxinas naturales presentes en las algas etc. pudieran explicar estos cambios temporales en la estructura

comunitaria del fitoplancton (Boyd, 1990 & Martínez, 1997).

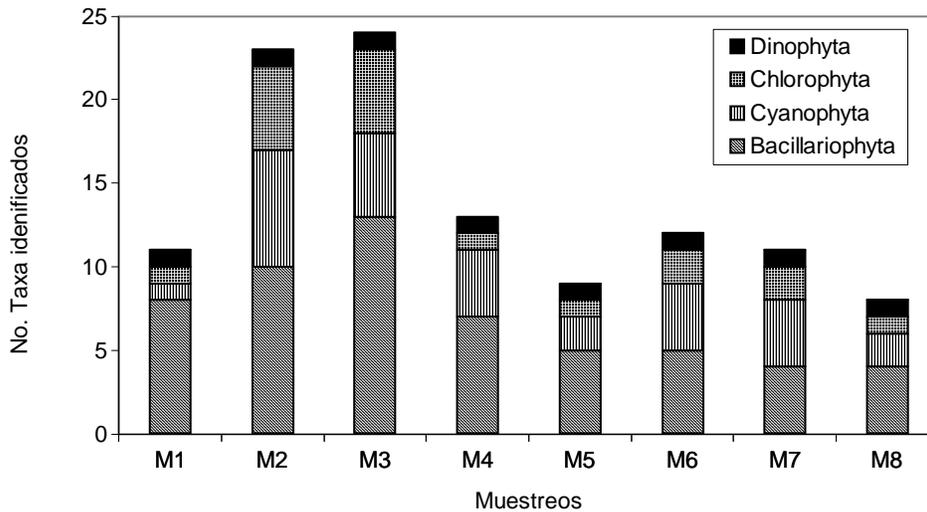


Fig. 2  
Variación de la composición del fitoplancton en el estanque durante el ciclo de cultivo.

Un factor que ha demostrado estar asociado con la presencia, distribución y abundancia de los organismos fitoplanctónicos, en lagunas costeras, es la salinidad. Los valores de salinidad que se reportan para este estudio, muestran un descenso gradual durante el ciclo cultivo (17 - 7 ‰ respectivamente), lo cual coincidió con la entrada de las lluvias, al provocar éste un efecto de dilución. El descenso de la salinidad durante este período favoreció el aumento de las Cyanophyta (Fig. 3), cuyo crecimiento y desarrollo está ligado con la baja salinidad en sistemas estuarinos. El coeficiente de correlación calculado ( $r= 0,60$ ) revela algún grado de asociación entre ambas variables.

Boyd (1990) y Lin (1995) indican, que cuando la salinidad baja en los estanques salobres durante la estación lluviosa, la comunidad del fitoplancton a menudo cambia de diatomeas a algas verdes y más aún a algas verde - azules. Por su parte, Chen (1997) en sus estudios del fitoplancton en estanques de cultivo de camarones, encontró que la baja salinidad, se asocia a menudo con el aumento de las Chlorophyta, aunque a salinidades por debajo de 15 ‰ tienden a aumentar la abundancia de las Euglenophyta. Ningún representante de este último grupo se registró en el estanque bajo estudio, a pesar de que los valores de salinidad reportados están por debajo del señalado. La presencia de

las Euglenophyta en los estanques son indicadores de una deficiente calidad del agua y generalmente es sintomático de excesiva materia orgánica (Clifford, 1997).

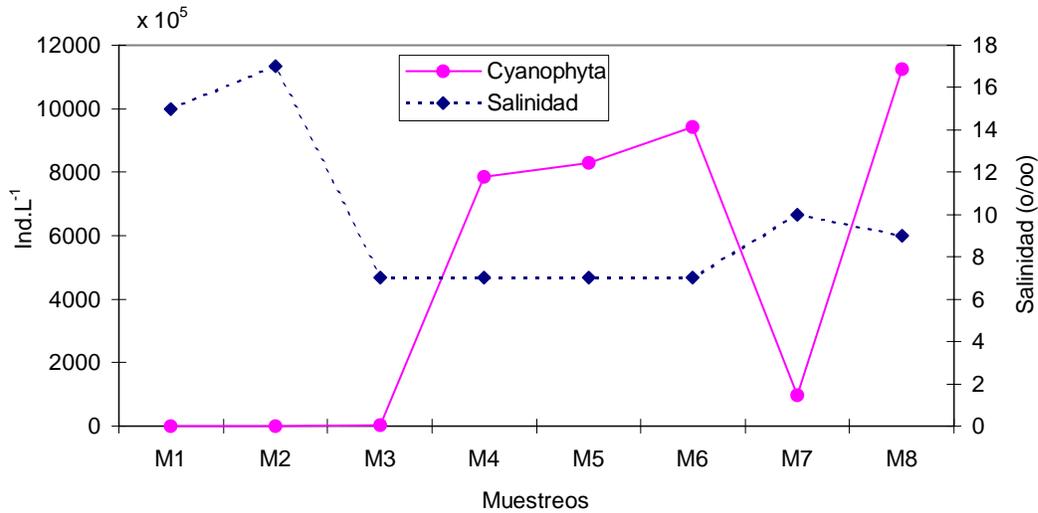


Fig. 3 Comportamiento de la densidad de las Cyanophyta en relación a las variaciones de salinidad en el estanque de cultivo.

#### - Densidad Poblacional (Ind L<sup>-1</sup>)

La contribución de cada grupo taxonómico a la densidad total del fitoplancton en el transcurso del período de estudio se ilustra en la Fig. 4. Los valores mínimo, máximo y promedios se resumen en la Tabla III, así como las especies representativas de cada grupo algal.

En general, la concentración del fitoplancton a inicios del ciclo de cultivo fue baja, aumentando de manera paulatina a medida que se avanzaba en el ciclo productivo. Esta baja densidad inicial, podría ser consecuencia de la colonización y establecimiento lento de las nuevas poblaciones procedentes del estero a un nuevo ambiente, en nuestro caso el estanque.

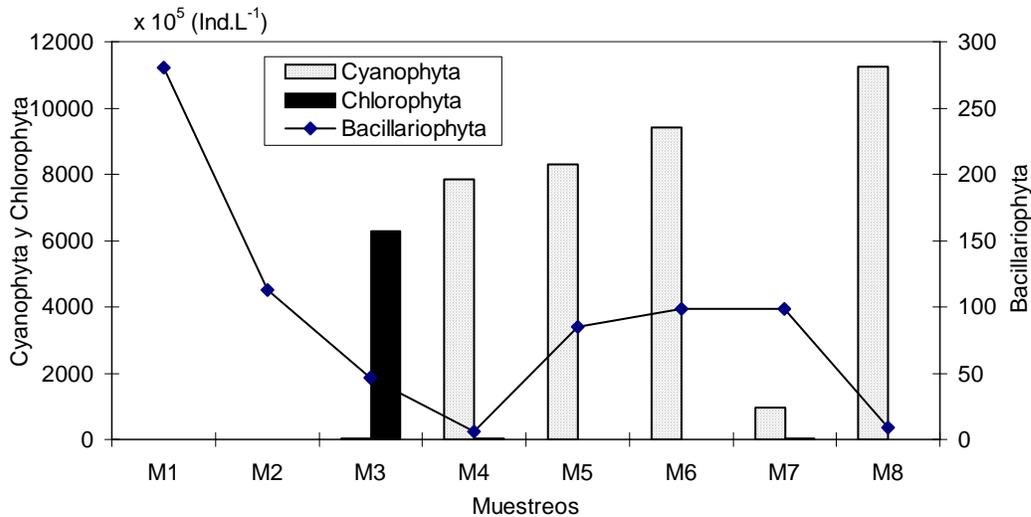


Fig. 4 Comportamiento de la densidad poblacional de la comunidad del fitoplancton en el estanque de cultivo.

La densidad poblacional de las Dinophyta no se ilustra en la Fig. 4 por presentar una tendencia muy regular y valores sin mayor significancia para el desarrollo óptimo del camarón ya que los valores reportados (desde cero individuos hasta 504 355 Ind L<sup>-1</sup>) sobrepasan muy ligeramente la densidad máxima permitida en estanques manejados bajo modalidad semi – intensiva (Tabla IV) y en estanques de Super Shrimp (Tabla V).

La producción de toxinas es el principal problema que representan los dinoflagelados para la acuicultura, ya que los florecimientos masivos de estas algas pueden causar la muerte a gran escala de peces, crustáceos y moluscos cuando éstos ingieren grandes cantidades de microorganismos (Dawes, 1986), principalmente los pertenecientes a los géneros *Gymnodinium* y *Gonyaulax*. El género que representó a la división Dinophyta en el estanque de cultivo bajo estudio fue *Peridinium* sp, por lo que en ningún momento representó riesgo alguno para los camarones.

En nuestro país no existe información sobre la densidades óptimas de fitoplancton en estanques de engorde de postlarvas de camarón, por lo tanto, el uso de los estándares antes citados son los únicos patrones de comparación.

Tabla III

Resumen de la densidad poblacional (Ind.L<sup>-1</sup>) de los principales grupos del fitoplancton en el estanque extensivo bajo estudio.

	Mínimo	Máximo	Promedio	Especie Dominante
Bacillariophyta	623,808.00	28,031,521.00	9,348,843.00	<i>Nitzschia sigma</i> <i>Nitzschia longissima</i>
Chlorophyta	132,726.00	629,222,680.00	9,703,022.00	<i>Chlorella palmelloccus</i>
Cyanophyta	145,998.00	1,125,436,317.00	472,532,690.00	<i>Anabaena viguieri</i>
Dinophyta	0	504,355.00	54,293.00	<i>Peridinium sp.</i>

Tabla IV

Densidades ideales (Ind.L<sup>-1</sup>) de fitoplancton en estanques semi-intensivos.  
Fuente: Clifford (1994)

	Mínimo	Máximo
Bacillariophyta	20,000,000.00	----
Chlorophyta	50,000,000.00	----
Cyanophyta	10,000,000.00	40,000,000.00
Dinophyta	----	500,000.00
Fitoplancton total	80,000,000	300,000,000.00

Tabla V

Densidades óptimas (Ind.L<sup>-1</sup>) de fitoplancton en estanques de Super Shrimp.  
Fuente: Clifford (1997)

	Mínimo	Máximo	A la siembra
Bacillariophyta	30,000,000.00	----	70,000,000.00
Chlorophyta	80,000,000.00	----	100,000,000.00
Cyanophyta	10,000,000.00	50,000,000.00*	30,000,000.00
Dinophyta	----	500,000.00	----
Euglenophyta	----	5,000,000.00	----
Fitoplancton total **	150,000,000.00	500,000,000.00	200,000,000.00

(\*) incluyendo coccoides de algas verde-azules

(\*\*) excluyendo los coccoides

Fuente: Clifford (1997)

A inicios del ciclo, la comunidad fitoplanctónica estuvo dominada numéricamente por dos especies de la División Bacillariophyta. *Nitzschia sigma* contribuyó a la densidad total con un 83,9 % en el primer muestreo, mientras que en el segundo, *Nitzschia longissima* superó numéricamente a esta especie con una densidad de  $7,711 \times 10^5$  Ind L<sup>-1</sup> equivalente a un 54,9 % de la densidad. Las diatomeas disminuyeron notablemente después del segundo muestreo, registrando durante el cuarto muestreo la densidad mas baja ( $6,23 \times 10^5$  Ind L<sup>-1</sup>). Las poblaciones de diatomeas aumentaron paulatinamente en los tres muestreos subsiguientes, disminuyendo drásticamente al final del período de cultivo. La dinámica poblacional de este grupo de algas puede ser el resultado de la actividad de pastoreo selectivo ejercido por el zooplancton herbívoro como por el crustáceo en cultivo. Análisis del contenido estomacal reveló que la diatomea *Nitzschia sigma* fue un componente importante de la dieta del camarón durante el segundo muestreo, razón por la cual se observó un descenso drástico en la densidad de esta especie entre el primer y el segundo muestreo.

El aporte de las Chlorophyta a la densidad total del fitoplancton en el estanque de cultivo fue siempre baja, a excepción del tercer muestreo en el que se registró la máxima densidad ( $6292,22 \times 10^5$  Ind L<sup>-1</sup>), sobresaliendo *Chlorella* sp con una contribución porcentual del 92,3 % de la densidad total. Ninguno de los siete muestreos restantes las Chlorophyta superaron el 8 % de la densidad total, que es el mínimo requerido de algas verdes en estanques semi – intensivos (Clifford, 1994).

El aporte de las Cyanophyta registra valores de densidad muy bajos durante los tres primeros muestreos. Sin embargo, en los muestreos subsiguientes experimentan un crecimiento acelerado (se exceptúa el séptimo muestreo donde manifiesta una fuerte disminución), alcanzando densidades consideradas peligrosas para el camarón. La densidad promedio que registra este grupo durante los ocho muestreos fue de  $472\ 532\ 690$  Ind L<sup>-1</sup>, cantidad que sobrepasa la densidad mínima - máxima permisible de Cyanophyta que recomienda Clifford (1994) para estanques semi - intensivos (Tabla III).

Se destaca dentro de este grupo, la especie filamentosa *Anabaena viguieri* que predominó desde el cuarto muestreo hasta el octavo muestreo, registrando durante ese

período, una densidad promedio de 755 109 956 células L<sup>-1</sup>, lo cual corresponde al 96,9 % de la densidad total estimada. Esta alga se caracteriza por poseer células especializadas llamadas heterocistes, capaces de fijar nitrógeno molecular cuando este nutriente está escaso en el medio, esto les permite competir con bastante eficiencia con demás algas. Según Boyd (1973a; citado por Boyd, 1990), las especies de algas verde – azules capaces de fijar nitrógeno molecular son a menudo el componente principal del fitoplancton en estanques eutróficos.

Un análisis de varianza de un factor, demostró la existencia de diferencias significativas ( $< \alpha 0,05$ ) entre los promedios de las densidades poblacionales de los cuatro grupos taxonómicos (Anexo No. 8), lo cual sugiere la hipótesis que la densidad predominante puede ser resultado de un proceso dinámico de sucesiones que son determinadas por la presión de pastoreo del camarón y ciertos factores ambientales, como la salinidad. El comportamiento poblacional de las Cyanophyta fue el que determinó la diferencia entre los diferentes grupos algales (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan).

La dominancia de las algas verde - azules en los estanques de cultivo encierra de por sí un problema de manejo, porque además de competir por los nutrientes y por luz con especies de alto valor nutritivo, pueden afectar la salud del camarón. Las altas concentraciones de algunas Cyanophyta pueden resultar en una enteritis hemocítica en el camarón, como resultado de la acumulación de toxinas en el tracto digestivo después de la ingestión de ciertas algas filamentosas y verde – azules bentónicas, entre las cuales sobresalen; *Oscillatoria*, *Schizotrix*, *Spirulina*, *Lyngbya* entre otras. Estas toxinas también interfieren en la asimilación de nutrientes causando un crecimiento lento y enanismo en Super Shrimp (Clifford, 1997).

Las especies predominantes de cada grupo taxonómico anteriormente mencionadas, mostraron fluctuaciones en su abundancia numérica durante el ciclo de cultivo. Los cambios de las especies individuales del fitoplancton como el observado en el estanque bajo estudio puede ser atribuido a un sinnúmero de factores entre los que se incluyen; pH, temperatura, concentración de nutrientes, luz, estación del año, enfermedades, pastoreo

por peces y zooplancton, competencia entre especies, toxinas naturales de las algas (Boyd, 1990) y según la calidad de las aguas debido a la acumulación de materia orgánica producto de la alimentación y excreción de los camarones (Martínez & Zapata 1997).

Si se compara las concentraciones mínimas de fitoplancton reportados en nuestro estudio (Tabla III) con las concentraciones ideales según Clifford (Tabla IV y V) ninguno de los grupos taxonómicos alcanzan las concentraciones mínimas requeridas para el crecimiento óptimo del camarón, en especial las densidades de las diatomeas y Chlorophyta estimadas en este estudio. Clifford (1997), afirma que las diatomeas y las Chlorophyta (algas verdes) constituyen una fracción deseable del fitoplancton ya que contribuyen positivamente a la nutrición del camarón. De igual manera, las Cyanophyta y Dinophyta son algas indeseables y además son potencialmente tóxicas. El crecimiento excesivo de Cyanophyta (algas verde - azules) son indeseables porque proporcionan mal olor y sabor al organismo bajo cultivo. Lo anterior fue señalado por Lovel & Sackey (1973; citado por Boyd; 1990), al concluir que las Cyanophyta sintetizan y excretan al medio compuestos como la geosmina y 2 metilisoborneol que luego son absorbidos por los peces, proporcionándoles olores y sabores a tierra húmeda putrefacta, motivo suficiente para no ser fácilmente comercializables.

Para tener una idea del tipo de alimento natural ingerido por el camarón, se realizaron análisis de contenido estomacal a veinticuatro organismos bajo cultivo (seis individuos por muestreo), los cuales fueron capturados a partir del cuarto muestro hasta el séptimo. Aunque estamos conscientes de que el número de individuos analizados fue muy poco, lo anterior se hizo únicamente con el propósito de conocer si el camarón consumía el alga filamentosa, *Anabaena viguieri*, dada la abundancia numérica que se reportó para ese período. Los resultados obtenidos en el contenido estomacal de *Litopenaeus vannamei* mostraron una abundancia de especies del fitoplancton, pertenecientes a las Bacillariophyta (*Nitzschia sigma*, *Caloneis westii*, *Tropidoneis lepidoptera* y *Gyrosigma*) y muy poca *Oscillatoria* (Cyanophyta filamentosa).

Hay que mencionar que organismos representantes del zooplancton y del bentos fueron muy escasos en el contenido estomacal de los camarones analizados. El hecho de que en ninguno de los especímenes analizados se haya reportado presencia de *Anabaena*

*viguieri* para este período en particular, evidencia la preferencia que tiene el camarón para con algunos géneros de las Bacillariophyta y la importancia de éstas como fuente de alimento.

Un resumen de las condiciones físico-químicas del agua prevaleciente en el estanque de cultivo se presenta en la Tabla VI, así como los rangos óptimos a mantener según Franco (1990).

Los valores de temperatura y de pH no presentan variaciones significativas a lo largo de los ocho muestreos (Fig. 5). Aunque los valores de pH son altos (8,35 – 9,86) no presentan riesgo alguno para la salud del camarón ya que esta condición permite la formación de un exoesqueleto duro, sin embargo, es indeseable porque altera el equilibrio iónico del amonio a favor del estado no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) que es más tóxico para el camarón que el estado ionizado ( $\text{NH}_4$ ). En experimentos llevados a cabo por Chen & Kou (1993) sobre el efecto que ejerce el pH en la acumulación de amonio inorgánico total como nitrógeno ( $\text{NH}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$ ) en la hemolinfa de *Litopenaeus monodon*, reflejó que camarones expuestos a  $50 \text{ mg L}^{-1}$  y a distintos valores de pH (8,2 y 9,0) mueren después de ser expuestos a diferentes horas (8 y 2 respectivamente). Sin embargo, camarones expuestos a la misma concentración pero a diferentes valores de pH (6,3 y 7,2) sobrevivieron después de 8 horas de exposición.

La salinidad y la concentración de oxígeno disuelto presentan diferencias marcadas durante el transcurso del ciclo de cultivo (Fig. 6). Los valores de salinidad varían en función de la entrada de las lluvias, lo que resultó en un descenso gradual en los valores ( $17 - 7 \text{ ‰}$ ).

Tabla VI

Resumen de las características físico-químicas del agua en el estanque bajo estudio.

	Parámetros registrados en el estanque bajo estudio		Parámetros a mantener en un estanque de cultivo (Franco, 1990)		
	Rango	Promedio	Mínimo	Mantener	Máximo
Temperatura (° C)	28.0 - 32.0	29.9 ± 1.47	25	26 - 31	32
Oxígeno disuelto (mg.L <sup>-1</sup> )	5.7 - 8.9	7.31 ± 1.13	4	6 - 10	12
Salinidad (o/oo)	7.0 - 17.0	9.9 ± 3.98	5	15 - 30	40
pH	8.35 - 9.86	8.87 ± 0.53	6	7 - 8.5	9
Nitrato (µg.L <sup>-1</sup> )	< Ld	<Ld	500	1500 - 2000	****
Nitrito (µg.L <sup>-1</sup> )	< Ld - 3.0	0.375 ± 1.06	90	90	****
Amonio (µg.L <sup>-1</sup> )	< Ld - 50.0	24.5 ± 16.11		700 - 1000	1500
Ortofosfato react. disuelto (µg.L <sup>-1</sup> )	< Ld	<Ld	50	150 - 200	****
Fósforo total (µg.L <sup>-1</sup> )	<Ld - 107.0	57.1 ± 40.53	****	****	****
Dióxido de sílice (mg.L <sup>-1</sup> )	1.02 - 4.48	2.69 ± 1.19	1500	3500	****
Disco Secchi (m)	0.20 - 0.30	0.23 ± 0.045	0,4	0.25 - 0.30	0,2

Ld: límite de detección (µg.L<sup>-1</sup>)

Nitrato = Ld; < 50

Nitrito = Ld; < 3.0

Amonio = Ld; < 4.0

Ortofosfato react disuel = Ld; < 5.0

Fósforo total = Ld; < 5.0

Las concentraciones de oxígeno disuelto (5,7 – 8,9 mg L<sup>-1</sup>), fueron altas en el estanque alcanzando en ciertas ocasiones niveles de sobresaturación, lo cual puede ser explicado en función de la alta producción fotosintética registrada y al aporte del viento que mezcla la somera columna de agua incorporando de esta manera oxígeno al sistema. Estas concentraciones están por encima de la concentración mínima permisible (3,0 mg L<sup>-1</sup>) para un adecuado desarrollo del camarón (Franco, 1990). Sin embargo Boyd (1990) considera, que las mejores condiciones para lograr un crecimiento excelente del camarón se alcanza a concentraciones desde 5,0 mg.L<sup>-1</sup> de oxígeno disuelto hasta niveles de saturación.

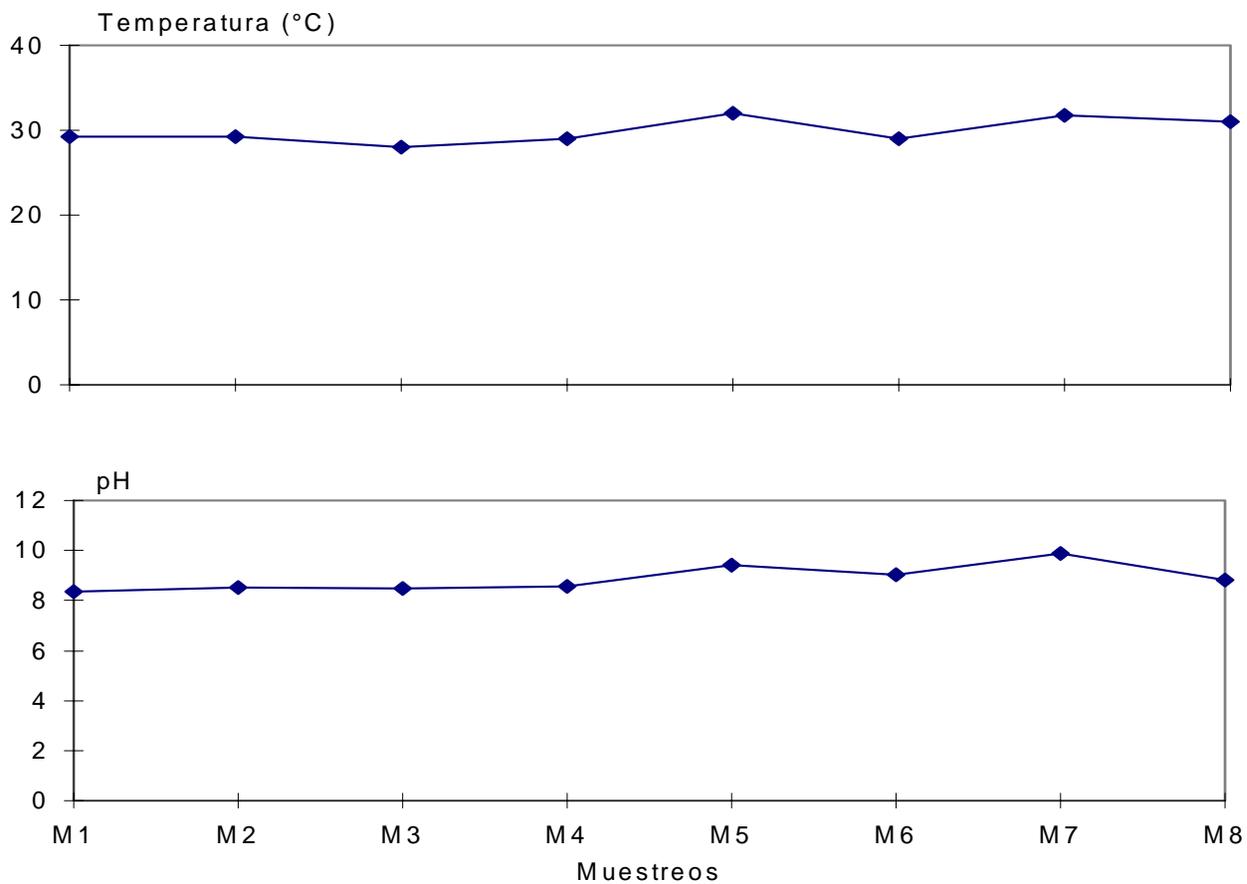


Fig. 5 Variaciones en el comportamiento de la temperatura y pH en el estanque de cultivo.

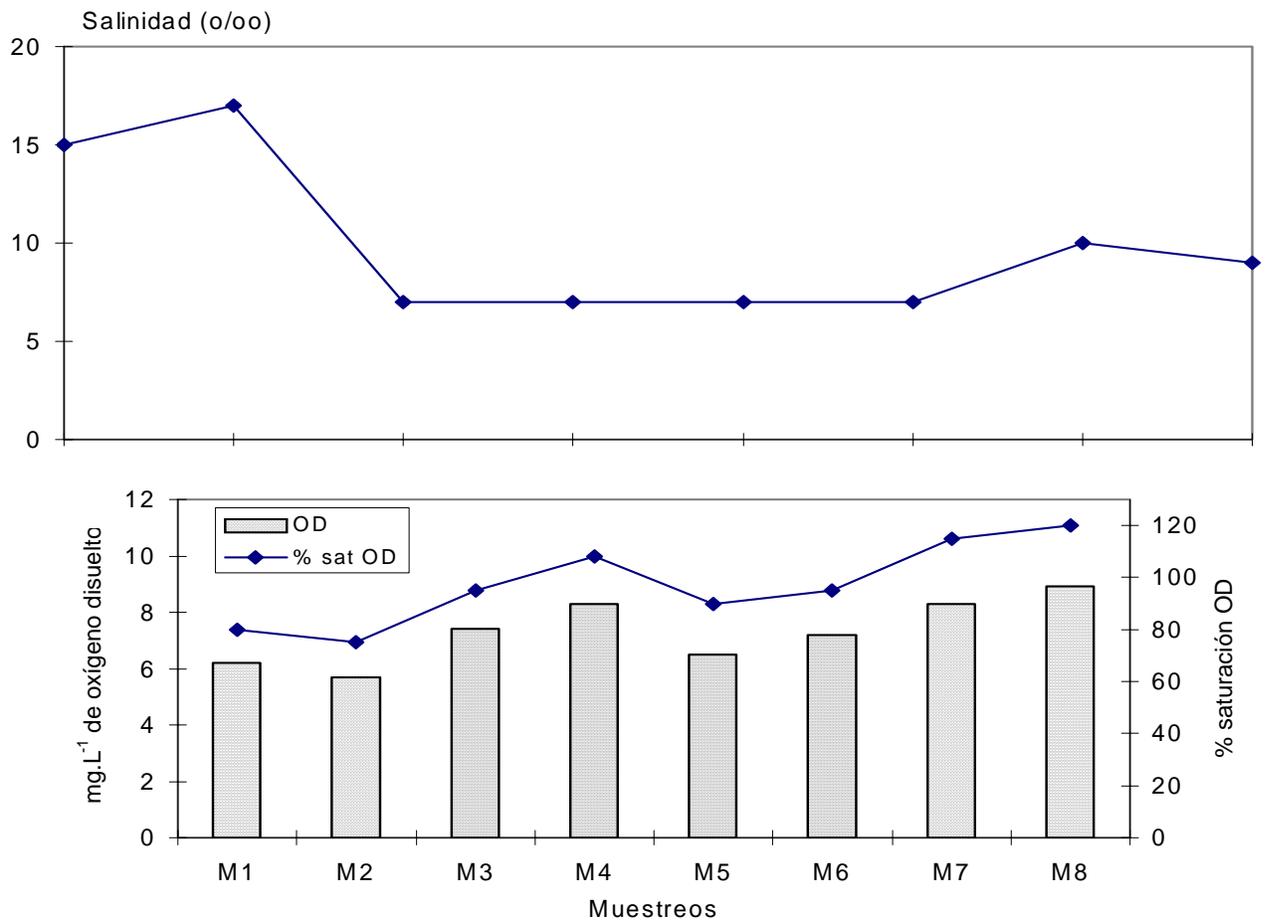


Fig. 6 Variaciones en el comportamiento de la salinidad y oxígeno disuelto en el estanque de cultivo.

Aunque la velocidad del viento no fue medido en este estudio, se ha estimado que velocidades de viento superiores a  $8 \text{ m seg}^{-1}$ , ejerce un efecto positivo sobre la difusión de aire en la interfase aire – agua y la estimulación de la circulación y mezcla del agua en el estanque. Por lo tanto, el viento es un componente importante en la dinámica del  $\text{O}_2$  en los estanques acuícolas y puede afectar no sólo las ganancias sino que también la distribución del  $\text{O}_2$  a través del estanque (Martínez & Zapata 1997).

#### **- Nutrientes, Biomasa; peso - húmedo y clorofila - a**

El concentración de los principales nutrientes; fósforo total, amonio y dióxido de sílice se ilustran en la Fig. 7. La línea punteada vertical indica el inicio del programa de alimentación (23 de Agosto; dos días antes del séptimo muestreo), al cual fue sometido el estanque bajo estudio.

La concentración de fósforo total varió durante el ciclo de cultivo, registrando valores desde el límite de detección ( $< 5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) en el tercer y cuarto muestreo hasta  $107,0 \mu\text{g L}^{-1}$  en el octavo muestreo. La concentración inicial fue alta, alrededor de  $60,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , valor considerado como adecuado para suplir las necesidades nutricionales del fitoplancton (Wetzel, 1981). La concentración del ortofosfato inorgánico siempre estuvo por debajo del límite de detección del método ( $< 5,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ), indicando la incorporación de esta fracción de fósforo en la biomasa algal. De acuerdo a Wetzel (1981), una proporción grande del fósforo total en los ecosistemas acuáticos se encuentra en la forma orgánica y alrededor de un 70 % o más del fósforo orgánico total se encuentra dentro de la materia orgánica particulada y el resto está presente como fósforo orgánico disuelto o coloidal.

La única forma de nitrógeno inorgánico presente en el agua fue el amonio con valores entre  $13,0$  y  $50,0 \mu\text{g L}^{-1}$ , solamente en una ocasión (tercer muestreo) se detectó una concentración cercana al límite de detección ( $< 4,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) del método utilizado. Los valores de concentración de amonio que se reportan, están relacionados con los productos de excreción del camarón y otros organismos presentes en el sistema como los peces, jaibas etc. La concentración de la fracción no ionizada ( $\text{NH}_3$ ) fue calculada, de manera indirecta a partir del amonio ( $23,12 \mu\text{g L}^{-1}$ ) y nunca sobrepasó el nivel máximo

(120  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; según Franco, 1990), el cual podría ser peligroso para el crecimiento óptimo del organismo bajo cultivo.

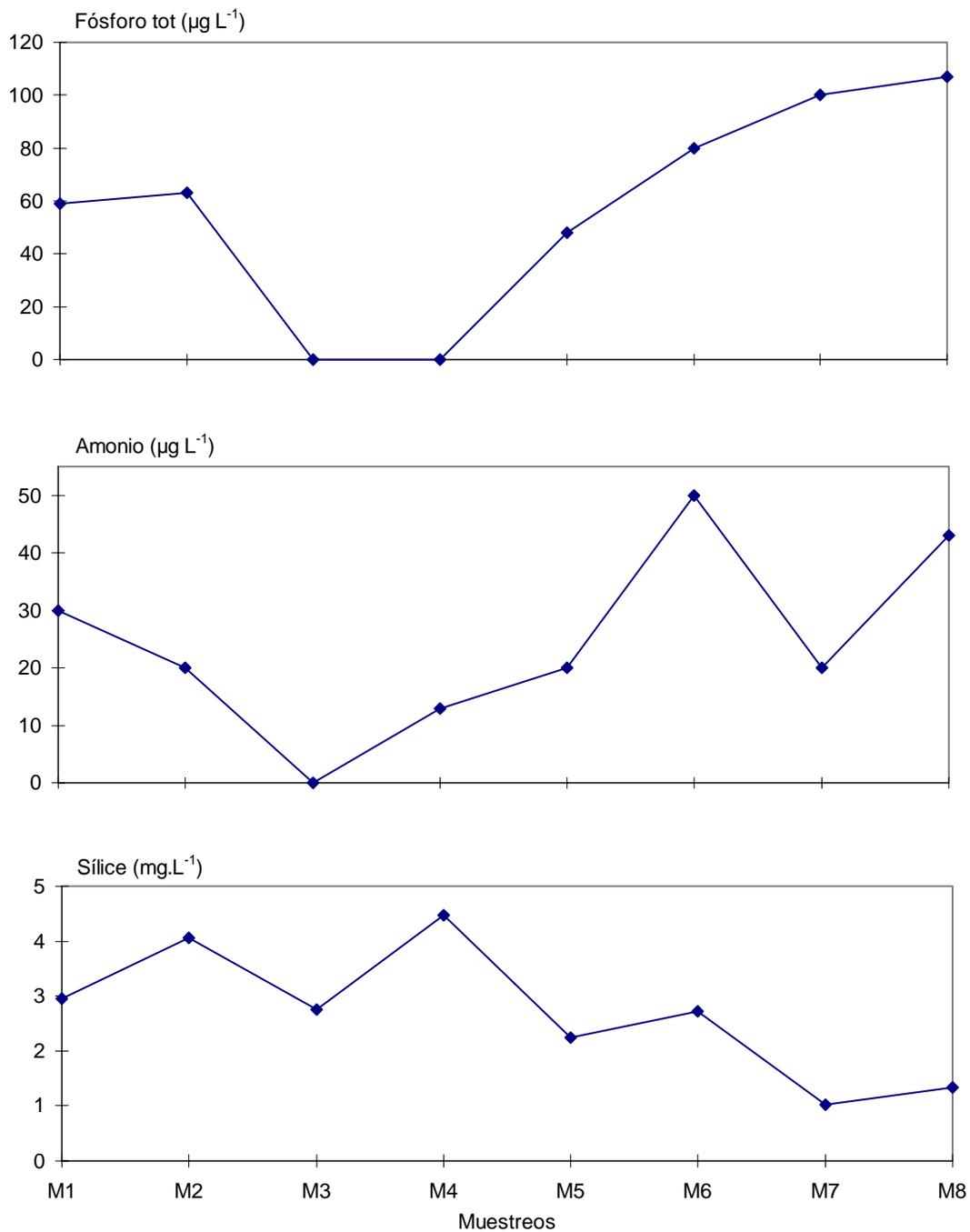


Fig. 7 Variaciones en la concentración de fósforo total, amonio y sílice en el estanque de cultivo.

Cabe destacar que durante el período de estudio la concentración de nitratos y nitritos estuvieron siempre por debajo del límite de detección ( $< 50,0$  y  $< 3,0 \mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente) a excepción del séptimo muestreo en el que se reporta una concentración de nitritos de  $3,0 \mu\text{g L}^{-1}$ . En los ecosistemas tanto de agua dulce como salinos, los nitratos son rápidamente asimilados por las plantas, por lo tanto, las concentraciones de esta forma de nitrógeno inorgánico es siempre bajo.

De las varias formas de nitrógeno en el agua, el amonio es preferido fisiológicamente por las algas, debido a la asimilación directa a aminoácidos. En un experimento llevado a cabo con nitrato, nitrito y urea (Levasseur, 1993; citado por Chamberlain 1995), se determinó la preferencia que tiene el fitoplancton por el amonio, seguido por el nitrato y urea. El costo energético para la asimilación del nitrato es muy alto, ya que este debe ser reducido enzimáticamente a amonio antes de su uso. Sin embargo, el nitrato posee la ventaja de poder ser guardado durante períodos de abundancia, beneficiando particularmente a células grandes del fitoplancton que poseen un volumen celular grande (Chamberlain, 1995). Lo anterior fue comprobado por Stolk et al 1994 (Chamberlain, 1995) en un cultivo mixto de algas donde tres especies grandes de diatomeas resultaron dominantes cuando el nitrato fue suministrado como la única fuente de nitrógeno.

El sílice elemento básico para el crecimiento de las diatomeas estuvo siempre presente en las concentraciones necesarias para mantener una población adecuada de diatomeas. Los niveles de dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) variaron entre  $1,02$  y  $4,48 \text{ mg L}^{-1}$  con un valor promedio de  $2,69 \pm 1,19 \text{ mg L}^{-1}$ . Según Pearsall (1932; citado por Ahlgren, 1970), las diatomeas no pueden multiplicarse cuando la concentración de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es menor a  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ .

Como producto del suministro de alimento suplementario a finales del ciclo de cultivo se esperaba detectar una mayor concentración de nutrientes en el séptimo y octavo muestreo, ya que teóricamente el alimento proporcionado nunca es consumido en su totalidad por los camarones, por consiguiente, el suplemento alimenticio no utilizado es degradado mediante la acción bacteriana, constituyéndose de esta manera en una fuente importante de nutrientes orgánicos e inorgánicos en el agua.

Las fluctuaciones de los nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo son difíciles de interpretar,

ya que paralelo al programa de alimentación se llevó a cabo recambios de agua (2 – 4 % interdiario), que variaron en dependencia del estado operativo de la bomba; Juan Morales, comunicación personal, socio mayoritario COOPROMAR. Además, cabe señalar que la escasez de nutrientes en el agua, no siempre es prueba suficiente prueba de una limitación de los mismos, ya que éstos son a menudo consumidos con mucha rapidez por los organismos autótrofos hasta por debajo de límite de detección y algunos nutrientes incluso, pueden ser absorbidos por sobre la necesidad momentánea y ser almacenados (Rhee, 1978; citado por Tilzer et al 1984).

La biomasa peso - húmedo y concentración de clorofila - a reportados en el estanque durante el ciclo de cultivo se aprecia en la Fig. 8. La biomasa del fitoplancton expresado como peso - húmedo y clorofila - a, muestran importantes variaciones, lo que refleja la dinámica de desarrollo de la producción.

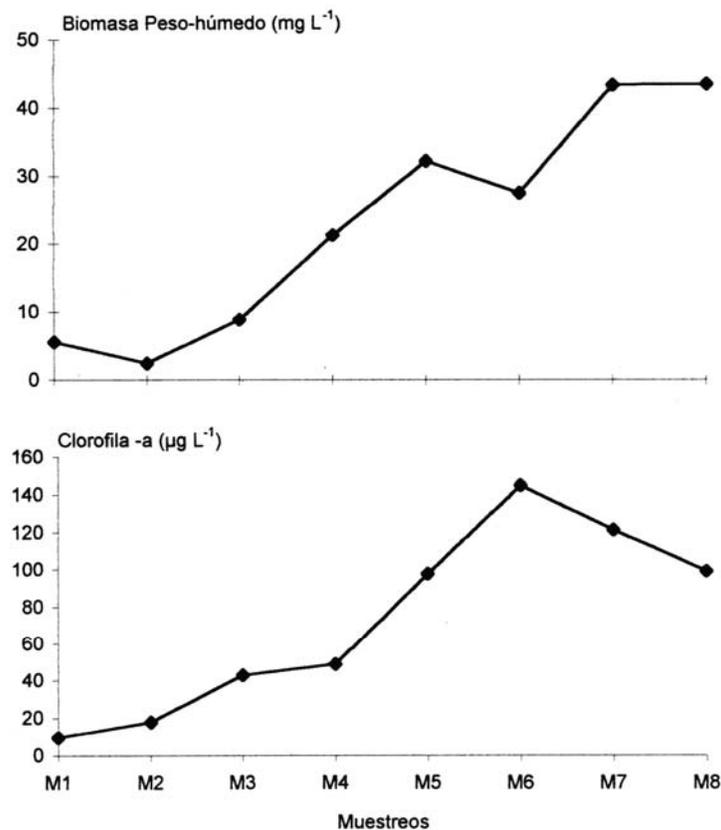


Fig.8 Comportamiento temporal de la biomasa peso-húmedo y clorofila-a en el estanque de cultivo.

La primera (biomasa; peso - húmedo) muestra una tendencia ascendente, con dos descensos marcados; antes y después de la máxima biomasa alcanzada. Los valores mínimo y máximo se registran para el segundo y octavo muestreo ( $2,44 \text{ mg L}^{-1}$  y  $43,43 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente), alcanzando un promedio de  $23,07 \pm 16,32 \text{ mg L}^{-1}$ . Para ésta alta biomasa, sobresale la Cyanophyta filamentosa *Anabaena*, la cual reporta el 58 % de la biomasa total que se registra para ese muestreo.

La concentración de clorofila - a fluctuó durante el período estudiado mostrando una tendencia ascendente desde el primer muestreo hasta el sexto muestreo. En los dos muestreos subsiguientes se produjo un descenso en la concentración de pigmentos. El mínimo y máximo alcanzados corresponden al primer y sexto muestreo ( $6,92$  y  $145,04 \mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente) y la concentración promedio fue de  $72,46 \pm 49,82 \mu\text{g L}^{-1}$ . Según Boyd (1990), los estanques con concentraciones de clorofila que oscilan entre  $50 - 200 \mu\text{g L}^{-1}$  son considerados productivos en acuicultura.

El porcentaje de clorofila - a por biomasa peso - húmedo varió entre  $0,172$  y  $0,72 \%$ . Los valores de este estudio son bastante similares a los obtenidos en cuerpos de agua dulce (Dokulil, 1979, 1983; Ahlgren, 1970) y más bajos que los obtenidos en el Lago Xolotlán (Chow & Vargas, 1991) el cual arroja un valor aproximado de  $1 \%$ . También se observó un contenido menor de clorofila por biomasa, en las fechas de dominancia de las Cyanophyta, a pesar de los incrementos en la biomasa peso húmedo y clorofila - a (Tabla VII). Estos resultados fueron contrarios a los reportados por Kalff & Watson (1986), quienes observaron que la tasa de clorofila-a : biomasa peso - húmedo fueron mayores cuando las Cyanophyta dominaron la comunidad algal en el lago Naivasha (África). Aparentemente, el contenido de clorofila por biomasa peso - húmedo en este estudio varía con la composición de especies, tanto el menor como el mayor valor calculado coinciden cuando dominaron las diatomeas.

Tabla VII

Biomasa, clorofila-a, contenido de clorofila como contenido % de biomasa peso-húmedo y división algal dominante.

	Biomasa Clorofila a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	Biomasa Peso húmedo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	Clorofila/Peso húmedo	Grupo dominante	Alga dominante
M1	9,62	5,56	0,172	Bacillariophyta	<i>Nitzschia sigma</i>
M2	17,76	2,44	0,729	Bacillariophyta	<i>Nitzschia longissima</i>
M3	42,92	8,86	0,484	Chlorophyta	<i>Chlorella</i> sp
M4	48,84	21,29	0,229	Cyanophyta	<i>Anabaena viguieri</i>
M5	97,68	32,18	0,303	Cyanophyta	<i>Anabaena viguieri</i>
M6	145,04	27,45	0,528	Cyanophyta	<i>Anabaena viguieri</i>
M7	121,36	43,33	0,279	Bacillariophyta	<i>Gyrosigma</i> sp
M8	99,16	43,44	0,227	Cyanophyta	<i>Anabaena viguieri</i>

El contenido de clorofila en el fitoplancton depende de la luz, la concentración y los cambios en la composición de especies. De acuerdo a la literatura (Ahlgren, 1970), el contenido de clorofila en el fitoplancton es directamente proporcional a la concentración de nutrientes en el agua, pero inversamente proporcional a la luz, esto significa que las concentraciones más altas de clorofila se obtienen bajo condiciones moderadas de luz y alta concentración de nutrientes. Por otro lado, cuando la intensidad de luz es alta y los nutrientes bajos y ambos factores influyen sobre el contenido de clorofila, entonces los niveles de clorofila son bajos. Cuando solamente uno de estos factores afecta el contenido de clorofila, el rango de variación es más pequeño que cuando actúan los dos factores.

Aunque no se realizaron mediciones de luz subacuática, los valores de transparencia del agua medidos con el disco Secchi oscilaron entre 0,20 y 0,30 m de profundidad. Estos valores indican una baja transmisión de luz en el estanque a pesar de la alta intensidad lumínica que ocurre en la zona del Estero Real (zona descrita en el mapa solar del Padre Julio López de la Fuente como una zona de mayor radiación solar en Nicaragua; Martínez, 2000 manuscrito). Es muy probable que el contenido de pigmentos fotosintéticos en las células algales esté regulado por la concentración de nutrientes y el

clima de luz subacuático existente en el estanque. La síntesis de clorofila va a la par del crecimiento celular y es sensible a las deficiencias de nutrientes, en especial a las deficiencias de nitratos (Ahlgren, 1970) y los valores de esta forma inorgánica siempre estuvieron por debajo del límite de detección. La incidencia de estos dos factores pudiera explicar parcialmente la variación en los valores de la relación clorofila - a : biomas peso – húmedo. Por otra parte, aunque las células fitoplanctónicas que crecen a baja radiación, se adaptan incrementando su contenido de pigmento es muy difícil extraer esta tendencia de los datos de campo para una comunidad compuesta por muchas especies diferentes cada una de ellas con diferente pigmentación. De acuerdo a Jones et al (1996), aparte del aumento de clorofila en las células, la adaptación a diferentes irradiaciones puede involucrar además cambios en otros pigmentos aparte de la clorofila.

#### **- Productividad Primaria**

Los perfiles de producción por unidad de volumen de agua ( $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ) de la Fig. 9, muestran curvas típicas de producción. La actividad fotosintética estuvo restringida a los primeros cincuenta centímetros de la columna de agua, la tasa máxima de producción ( $A_{\text{max}}$ ) se registró en los primeros 0,30 m de profundidad, aunque en la mayoría de los casos (75 %) se obtuvo en los primeros 0,20 m. La depresión de la actividad fotosintética en la superficie se atribuye a la inhibición de la fotosíntesis por inactivación fotooxidativa del sistema de pigmentos.

El descenso de la actividad fotosintética con la profundidad, refleja la atenuación de luz que limita la zona eufótica a más o menos 0,70 m. La radiación incidente, las partículas suspendidas en el agua y la biomasa algal controlan el clima de luz subacuático y por lo tanto, determinan la profundidad de la zona eufótica o zona productiva en la columna de agua.

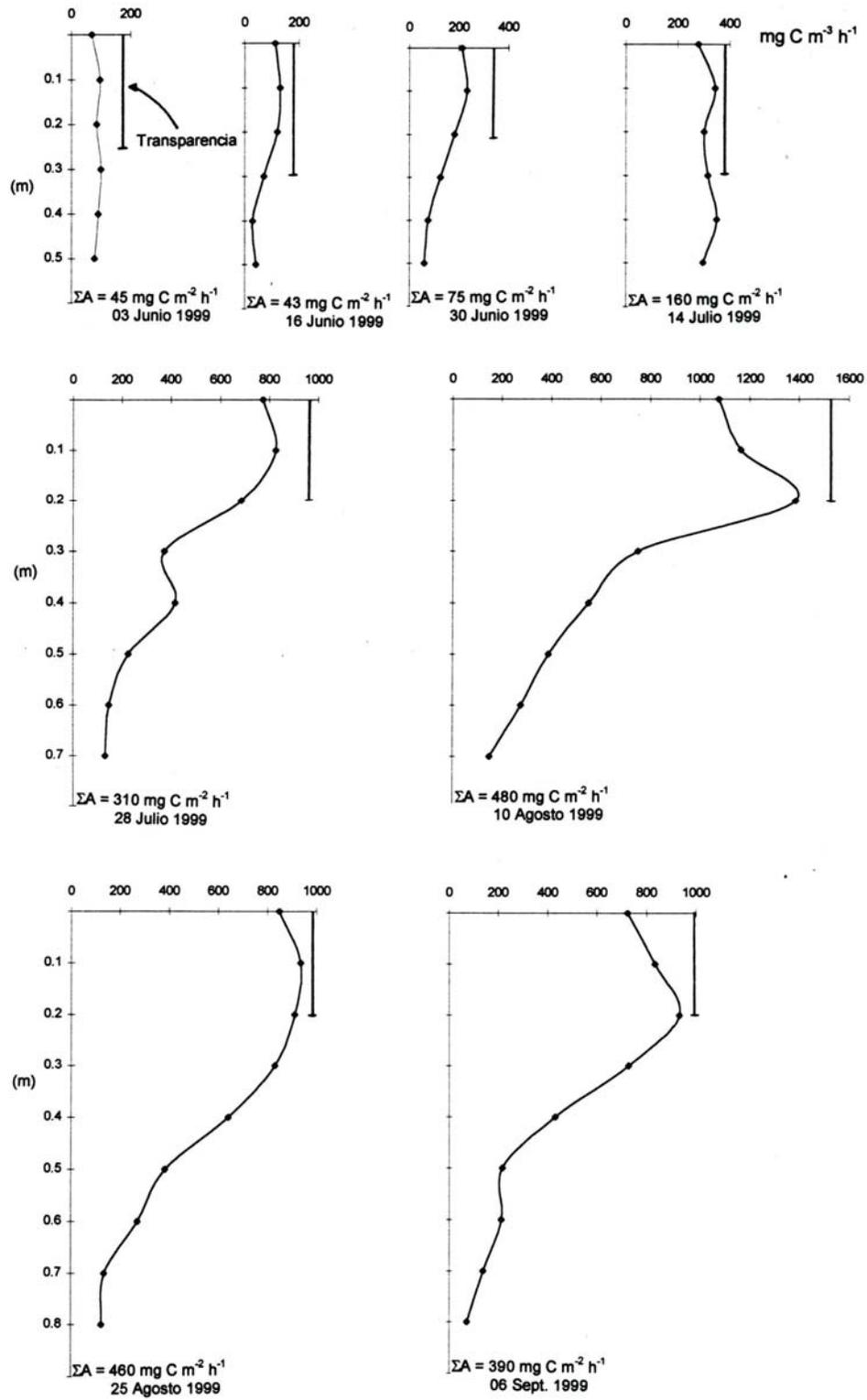


Fig. 9  
Perfiles de producción primaria y valores de transparencia del agua en el estanque de cultivo.

El coeficiente de extinción vertical de la luz (K) y la zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) fueron estimados por métodos indirectos utilizando las mediciones de transparencia del agua medidos con el disco Secchi y usando las siguientes fórmulas:

$K = 1,7$  ; Idso & Gilbert (1974) citado por Boyd, 1990

$Z_{sd}$

$Z_{sd}$  = visibilidad del disco Secchi (m)

$Z_{eu} = 3 \times Z_{sd}$  ; Cole (1975)

El valor promedio del coeficiente de extinción vertical de la luz (K) fue de  $7,5 \text{ m}^{-1}$  (CV = 17,8 %) y el valor promedio de  $Z_{eu}$  fue de 0,69 m (CV = 19,9 %), ambos con cambios mínimos en el transcurso del tiempo (Tabla VIII).

Tabla VIII

Mediciones de la producción fotosintética y parámetros relacionados

	$A_{max}$ $\text{mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$	$P_{max}$ $\text{mg C mg Cl-a}$	$\Sigma A$ $\text{mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	K $\text{ln (m}^{-1}\text{)}$	$Z_{eu}$ (m)
M1	100	10,4	45	6,8	0,75
M2	130	7,3	43	5,6	0,9
M3	23	5,4	75	8,5	0,6
M4	350	7,2	160	5,6	0,9
M5	830	8,5	310	8,5	0,6
M6	1400	9,7	480	8,5	0,6
M7	920	7,6	460	8,5	0,6
M8	930	9,4	390	8,5	0,6
x	611,25	8,187	245,375	7,56	0,69
CV %	77,56	19,9	76	17,8	19,9

$A_{max}$ = actividad fotosintética a luz óptima  
 $P_{max}$ = capacidad fotosintética  
 $\Sigma A$ = tasa fotosintética por unidad de área  
K= coeficiente de extinción vertical  
 $Z_{eu}$ = profundidad de zona eufótica

Los valores más bajos de  $Z_{eu}$  se obtuvieron en las fechas de mayor concentración de clorofila - a en el estanque (últimos cuatro muestreos), presentando el coeficiente de extinción vertical (K) valores altos para el mismo período, mostrando de esta manera la incidencia de la biomasa algal sobre la atenuación de la luz y por ende, sobre la profundidad de la zona eufótica. Entre mayor es el valor de K, mayor será la atenuación de luz y menor la profundidad de la zona eufótica. La relación inversa entre la densidad algal y la penetración de la luz subacuática fueron descritas por Talling (1966, 1971), Bindloss (1974) y Ganf (1974a) en sus trabajos clásicos de producción primaria. Este efecto de autosombreo del fitoplancton impone un límite a la productividad fotosintética, aunque no debemos obviar el rol que juega el componente no algal en la atenuación de luz, como sucede en algunos cuerpos de agua de alta turbidez, en donde las partículas en suspensión son responsables de alrededor de un 40 % de la atenuación de la luz (Ganf, 1974).

La actividad fotosintética a luz óptima ( $A_{max}$ ) fue alta, presentó un promedio de  $611,25 \text{ mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$  (CV = 77,56 %), con incrementos sustantivos en los últimos cuatro muestreos. Los cambios en los valores de  $A_{max}$  en el tiempo coinciden con los incrementos en la concentración de clorofila. Se observó además que los valores más altos de  $A_{max}$  se registraron en las fechas de mayor concentración de clorofila. El coeficiente de determinación calculado entre  $A_{max}$  y clorofila - a ( $r^2 = 0,96$ ) indica que la biomasa algal expresado como clorofila - a explica en un 96 % el comportamiento de la producción máxima (Fig. 10).

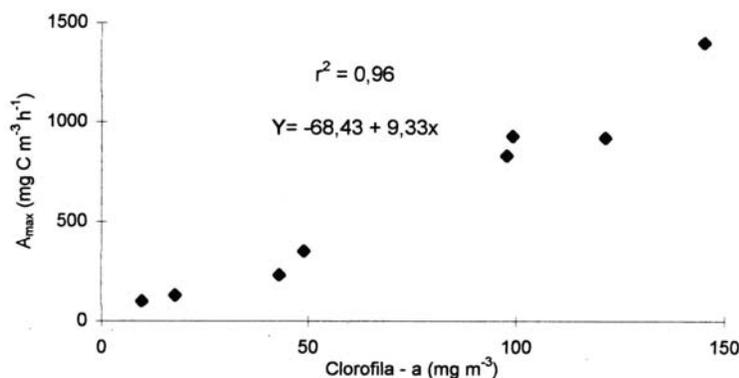


Fig. 10  
Relación entre la producción primaria máxima y la biomasa clorofila-a en el estanque de cultivo.

La tasa fotosintética promedio por unidad de área y por hora ( $\Sigma A$ ) fue alta de  $245,37 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . El coeficiente de variación entre muestreos fue de 76 %, mostrando una alta variabilidad temporal en el estanque de cultivo. En la Fig. 11 se presentan los cambios temporales de la tasa máxima de producción ( $A_{\text{max}}$ ), tasa fotosintética integral por hora ( $\Sigma A$ ) y la capacidad fotosintética ( $P_{\text{max}}$ ).

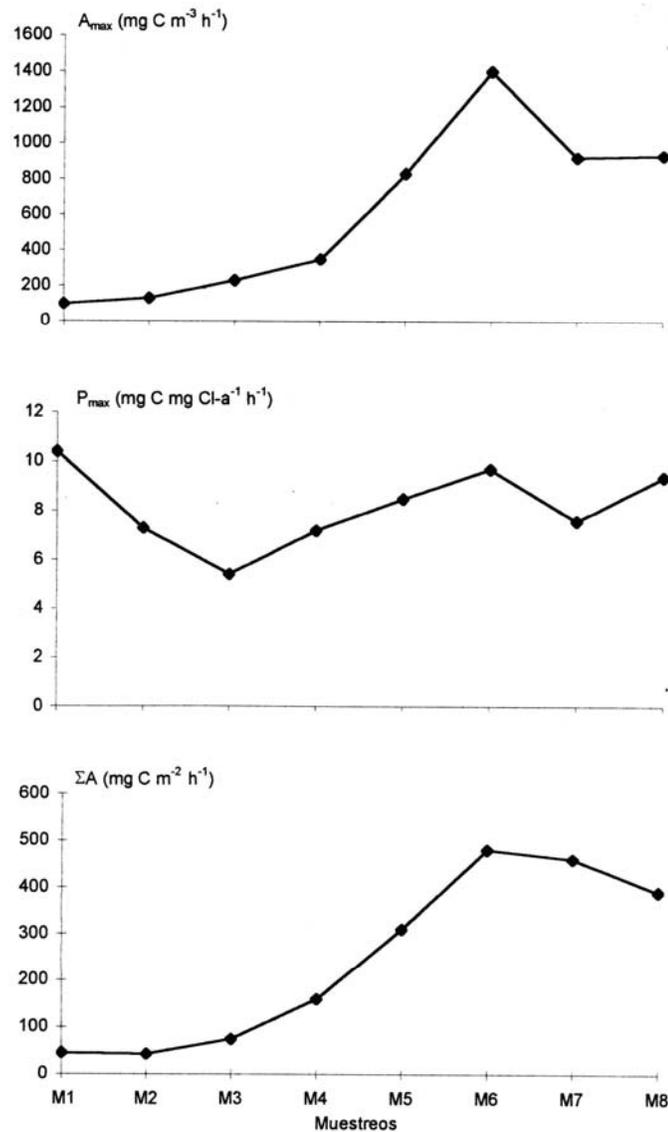


Fig. 11 Variación temporal de la tasa máxima de producción ( $A_{\text{max}}$ ), capacidad fotosintética ( $P_{\text{max}}$ ) y fotosíntesis integral por hora ( $\Sigma A$ ).

De manera general, la alta productividad de las regiones tropicales es mantenida por la tasa máxima de producción ( $A_{\text{max}}$ ) y por la capacidad fotosintética ( $P_{\text{max}}$ ). La capacidad

fotosintética varió entre 5,4 y 10,4 mg C mg Cl-a h<sup>-1</sup>, con promedio de 8,817 mg C mg Cl-a h<sup>-1</sup> (CV= 19,9 %) y se encuentran entre los rangos reportados en ecosistemas tropicales (7,5 – 11,25 mg C mg Cl-a h<sup>-1</sup>). La tasa de asimilación de carbono por unidad de clorofila o la capacidad fotosintética es utilizado como un indicador del potencial fotosintético y es altamente dependiente de la temperatura, por lo que ha sido considerado por Talling (1965) como uno de los factores responsables de las altas tasas fotosintéticas de los trópicos. Como la capacidad fotosintética se obtiene a partir de la relación  $A_{max} : Cl-a$ , es afectada directamente por la densidad del fitoplancton, estableciendo una relación inversa entre ambos (Bindloss, 1974; Ganf, 1975 y Robarts, 1979). La tasa  $A_{max}/K$  determina la productividad areal (Robarts, 1979) y es probable que los cambios temporales en la tasa fotosintética areal se explique en función de la variación en la tasa de  $A_{max}/K$ . Al mismo tiempo, la correlación significativa ( $r = 0,84$ ) obtenida entre  $\Sigma A$  y el cociente  $A_{max}/K$  muestra que la productividad en el estanque es una función simple del contenido de clorofila y la atenuación de la luz. Sin embargo, debemos tener presente que la concentración de los pigmentos fotosintéticos es altamente dependiente de la concentración de nutrientes, por lo tanto los cambios en la densidad comunitaria del fitoplancton en el estanque pudiera atribuirse a la fluctuación o agotamiento del nitrógeno y fósforo ó a las variaciones en la eficiencia del sistema fotosintético inducidos por un clima de luz no adecuado.

La condición transitoria y variable (mareas y recambios de agua) de los estanques dedicados al engorde del camarón dificulta la interpretación de los resultados de productividad y el establecimiento de tendencias sobre el comportamiento de la comunidad fitoplanctónica. No obstante, los datos obtenidos revelan que tanto la composición de especies, biomasa, como la productividad primaria del fitoplancton están regulados por el patrón de luz subacuático y por la concentración de nutrientes en el estanque. Sin embargo, no debemos obviar que ocho datos son muy pocos para inferir sobre el comportamiento y la productividad primaria de un ecosistema acuático de alta complejidad y diferentes relaciones biótica y abióticas.

La estimación de la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos es una herramienta de manejo en la acuicultura (aunque muy poco utilizado) porque permite

valorar la productividad del sistema a partir de la cantidad de carbono fijado durante la fotosíntesis. Teóricamente se sabe que el 10 % de la productividad de un nivel trófico es transferido al subsiguiente nivel (trófico) y la eficiencia en la transferencia de un nivel a otro dependerá de la simplicidad o complejidad de la trama trófica. Los herbívoros que se alimentan principalmente de los productores primarios presentan una cadena de alimentos muy corta y la eficiencia resulta ser alta, en contraste, los peces que se alimentan de consumidores (zooplancton, invertebrados béntonicos) y de otros peces, definen una cadena de alimento más larga y menos eficiente.

La productividad primaria total estimada en el estanque durante el ciclo de cultivo fue de  $255 \text{ g C m}^{-2}$  equivalentes a  $2\,550 \text{ kg C ha}^{-1}$ . Si asumimos que el 10 % de esta producción representa el carbono transferido e incorporado a la biomasa peso fresco del camarón (regla simple), obtendremos una producción potencial de  $255 \text{ kg C ha}^{-1}$ , con los cuales se aseguraría una producción potencial equivalente de  $2\,550 \text{ kg}$  de camarón por hectárea.

La producción real fue de  $507,7 \text{ kg}$  de camarón por hectárea para este estanque en particular y puede ser calificado por excelente ya que se obtuvo aproximadamente dos veces el rendimiento esperado ( $272,7 \text{ kg}$ ). Sin embargo, los resultados de producción primaria obtenidos en este estudio suponen una producción de camarones superior a la alcanzada, aproximadamente 5 veces más de los que se obtuvo en la presente cosecha.

La producción primaria fue alta y suficiente para sustentar la producción de camarones si consideramos que la trama trófica es el estanque es corta y simple, aunque, no podemos afirmar basados en estos resultados que un incremento en la producción primaria daría una producción mayor de camarón. Lo que si es evidente, es que el camarón no utiliza en su totalidad el alimento natural producido en el estanque ya que la biomasa algal y la producción primaria aumentaron durante el período de estudio, lo cual implica un pobre pastoreo de parte del camarón. Lo antes planteado puede ser sustentado por la presencia de altas concentraciones de Cyanophyta filamentosas en el estanque que no fueron consumidas en su totalidad, lo cual sugiere una pérdida de alimento y de energía del sistema. La composición de especies algales no fue óptimo, ya que las algas verde – azules filamentosas no son alimento de buena calidad.

## Consideraciones de manejo

Debido a que la alimentación representa uno de los grandes costos en la crianza de camarones en estanques, éstas demandan un adecuado manejo, lo cual implica el conocimiento de las características físico – químicas del agua, así como del tipo y cantidad del alimento natural disponible en el sistema. Por lo tanto, es importante la vigilancia periódica de las aguas, con el fin de lograr un aumento en la eficiencia de la producción.

El estanque de camarones bajo estudio fue monitoreado a su vez por UPROCAM (Unión de productores camaroneros de Morazán), donde los resultados referente al ritmo de crecimiento del fitoplancton coincidieron con los nuestros, revelando un aumento paulatino en las densidades de Cyanophyta a lo largo del ciclo productivo. Es decir, se tenía conocimiento de la presencia de Cyanophyta en el estanque y del peligro que representaban las mismas. Sin embargo, se hizo caso omiso a esta evidencia y no se tomaron medidas preventivas en el momento requerido ya que fue considerada como una situación circunstancial y momentánea. Semanas próximas a la cosecha se pensó en la aplicación de cal como floculante y posteriormente la realización de recambios fuertes de fondo, sin embargo, era demasiado tarde ya que el camarón había consumido grandes cantidades de algas filamentosas, principalmente *Anabaena* y *Oscillatoria*, dada la mayor disponibilidad de ésta sobre los demás tipos de algas (Información suministrada por el Vice-Presidente de UPROCAM; Dr. Evenor Martínez). El consumo de estas algas afectó la calida del producto cosechado.

Cabe destacar que el tipo de alimento natural consumido no fue el idóneo y que la cantidad de alimento complementario administrado fue bajo ya que se obtuvo una producción de camarones con cabeza amarga (camarón choclo), lo cual trajo como consecuencia pérdidas económicas al ser castigada la cosecha total en calidad y precio (de clase A pasó a clase B y se perdió \$ 0,15 por libra de camarón cola). Esto indica que la alta de un monitoreo de la alimentación natural implica pérdidas económicas cuantiosas. Situaciones como éstas no pueden ser posible ya que las medidas preventivas deben ser puestas en práctica justo en el momento que éste la demande, así se evitará crecimientos exagerados de especies no deseables como las pertenecientes a

las Dinophyta y Cyanophyta, ya que está comprobado que provocan problemas de salud de de sabor en el camarón.

## VII. CONCLUSIONES

- La estructura comunitaria y riqueza del fitoplancton estuvo representada principalmente por las Bacillariophyta, Cyanophyta y Chlorophyta. Las Dinophyta fueron menos importante. La biomasa (peso-húmedo y clorofila-a) y densidad poblacional del fitoplancton fueron bajas a inicios del ciclo de cultivo, aumentando paulatinamente en el tiempo. El grupo de las Cyanophyta sobresalieron en cuanto a abundancia numérica, desde el cuarto muestreo hasta el octavo, destacándose el alga filamentosa; *Anabaena viguieri*. Este grupo fue el responsable de la obtención final de una cosecha de camarones con cabeza amarga (camarón choclo).
- La alta densidad de Cyanophyta filamentosas presentes en el estanque y el consumo de las mismas por parte del camarón, ocasionaron pérdidas económicas y problemas de sabor al organismo bajo cultivo. Por consiguiente, el monitoreo de la comunidad del fitoplancton debe ser considerado como una medida preventiva de manejo, ya que reduce la posibilidad de crecimientos excesivos de especies indeseables de algas.
- La concentración de los nutrientes; nitratos, nitritos y ortofosfato estuvieron siempre por debajo del límite de detección ( $< 50,0$ ,  $< 3,0$  y  $< 5,0 \mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente), sugiriendo una alta tasa de asimilación por parte de los organismos fotosintéticos, la cual se refleja en el comportamiento de la biomasa peso – húmedo y clorofila – a a lo largo del ciclo productivo.

Los valores de concentración de fósforo total y amonio oscilaron desde el límite ( $< 5,0$  y  $4,0 \mu\text{g L}^{-1}$ ) hasta  $107,0$  y  $50,0 \mu\text{g L}^{-1}$  respectivamente.

Los niveles de dióxido de sílice registraron concentraciones altas para el crecimiento de las diatomeas (promedio;  $2,69 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Los valores de temperatura y pH no presentaron variaciones marcadas a lo largo del ciclo productivo. El comportamiento de la salinidad disminuyó en el tiempo ( $17 - 7$  ‰) como consecuencia del aporte de agua dulce procedente de las lluvias.

La alta concentración de oxígeno disuelto en el agua ( $5,7 - 8,9$  mg L<sup>-1</sup>) está explicada por la alta actividad fotosintética del fitoplancton en el estanque de cultivo y al aporte del viento que mezcla la somera columna de agua.

Los valores de transparencia oscilaron entre  $0,20 - 0,30$  m, registrando en los últimos cuatro muestreos el límite inferior del rango, lo cual coincide con la alta densidad de las Cyanophyta en el agua (turbidez biogénica).

- La producción primaria total estimada en el estanque de cultivo de camarones fue de  $2\ 550$  kg C ha<sup>-1</sup>. Asumiendo que un 10 % de la producción primaria es transferido hacia tejido de camarón (Regla simple) se podría esperar una producción potencial de camarones de  $2\ 550$  kg de camarón por hectárea.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Realizar los análisis cualitativos del fitoplancton con una frecuencia diaria ya que es necesario detectar a tiempo algas consideradas peligrosas para el camarón ya que si son detectados tempranamente, pudieran ser controlados más fácilmente antes de que alcancen altas concentraciones que pudieran afectar el desarrollo y crecimiento óptimo del organismo bajo cultivo.
- Es recomendable que los acuicultores que realizan análisis sistemático de la calidad biológica de sus aguas, principalmente del fitoplancton, utilicen esta información con prontitud ya que constituye una herramienta útil y barata para la detección temprana de especies indeseables. Además, debe ser considerado como un instrumento guía que oriente la toma de decisiones en lo referente a los ajustes necesarios que deben practicarse en los programas de fertilización y/o alimentación. Con lo anterior se evitará el uso sin control de fertilizantes y de alimentos en los estanques de cultivo, lo cual repercute en el cuerpo receptor, en nuestro caso el Estero Real.
- Evaluar la calidad del alimento natural (biomasa, producción y composición) antes de dosificar la alimentación suplementaria para reducir el gasto y prevenir recarga de materia orgánica a los estanques.
- Propiciar un control de la floración de fitoplancton para evitar que la sucesión comunitaria desemboque en la dominancia de grupos de poco valor nutritivo y alto riesgo para la calidad del camarón.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

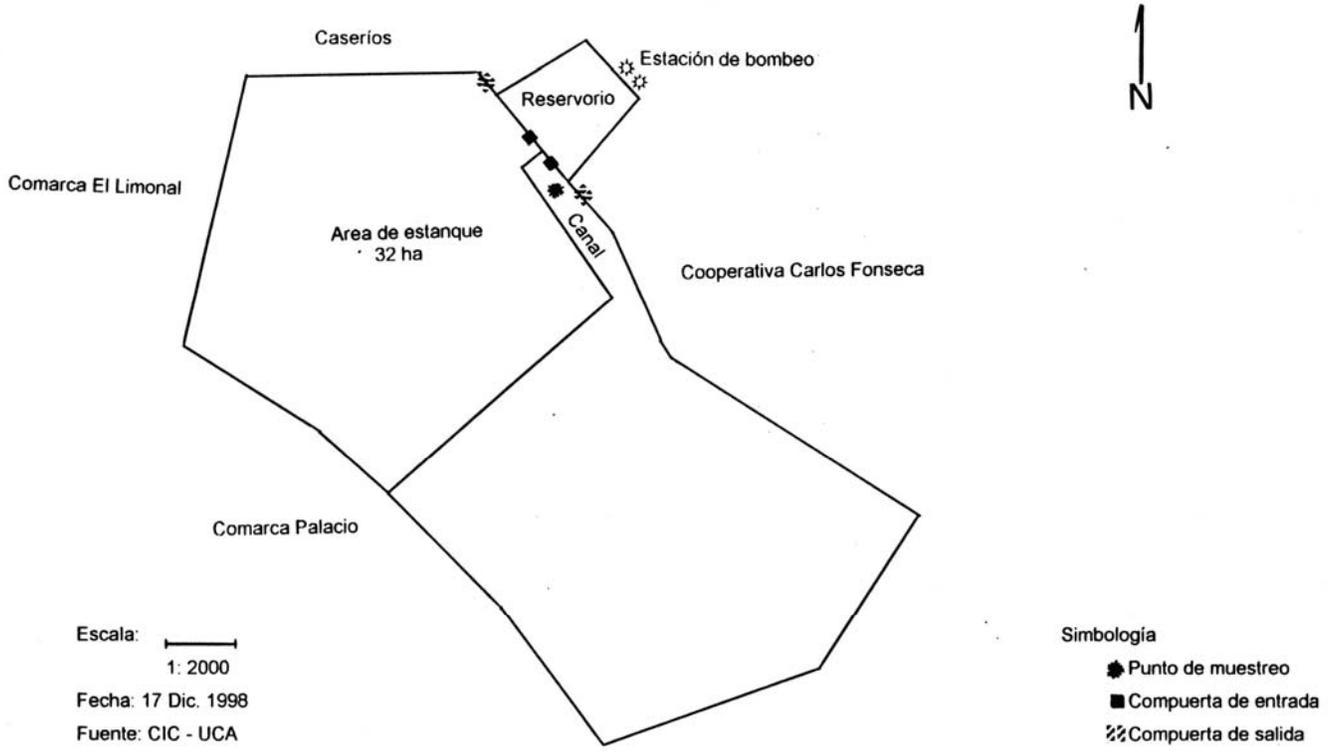
- Ahlgren, G. 1970. Limnological studies of Lake Norrviken, a eutrophicated Swedish Lake. II. Phytoplankton and its production. Schweizerische Zeitschrift Für Hydrologie Vol. 32 Fasc. 2
- Ahlgren, G. 1988. Phosphorus as growth-regulating factor relative to the environmental factors in cultured algae. Hydrobiologia 170:191-210.
- Branco, S. M. 1984. Limnología sanitaria. Estudio de la polución de aguas continentales. Serie de Biología. Monografía no. 28. OEA. 120 pág.
- APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. 2414 pág.
- Begon, M., Harper, J. y Townsend, C. 1987. Ecología. Individuos, Poblaciones y Comunidades. 886 pág.
- Bindloss, M. E. 1974. Primary productivity of phytoplankton in Loch Leven. Kinross. Proc. R. Soc. Edind. (B) 74: 157 – 181.
- Boyd, C. E. 1990. Water quality for pond aquaculture. 477 pág
- Clifford, H. C. 1994. A case study in marine shrimp pond management. Semi-Intensive Sensation. In World Aquaculture. September 1994. Volumen 25 (3).
- Clifford, H. C. 1997. Manual de operación para el manejo de Super Shrimp en estanques. 105 pág.
- Cole, G. A. 1975. Textbook of limnology. 283 pág.
- Cupp, E. 1977. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. 237 pág.
- CYTED – D. 1999. Engorde y maduración de camarones peneidos. Volumen II. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Subprograma II Acuicultura.
- Chamberlain, G. W. 1985. Effects of fertilization on ecology, nutrients dynamics, and productivity of shrimp ponds. Memorias del III Simposio Centroamericano sobre camarón cultivado. “Desarrollo en armonía con el medio ambiente”. 225 - 264 pág.
- Chen, C. C. 1997. Monitoreo de control de la calidad del fitoplancton. Misión Técnica Agropecuaria de la República de China. Managua, Nicaragua, 28 pág.
- Chen, J. C & Y, Kou. 1993. Accumulation of ammonia in the haemolymph of *Penaeus monodon* exposed to ambient ammonia. Aquaculture, 109: 177-185.

- Chow, N & L. Vargas 1991. Vertical distribution of phytoplankton in Lake Xolotlán. *Hydrobiol. Bull.* 25(2), 133-136.
- Darley, M. W. 1987. *Biología de las algas. Enfoque fisiológico.* 236 pág.
- Dawes, C. J. 1986. *Botánica Marina.* Editorial Limusa. 672 pág
- Dokulil, M. 1979. Seasonal pattern of phytoplankton. In: Seasonal pattern of phytoplankton. In: H. Loeffler, Ed, *Neusiedlersee: The limnology of a shallow Lake in Central Europe.* Dr. Junk Publishers, The Hague, P. 203 – 231.
- Dokulil, M., K. Bauer & I. Silva. 1983. An assessment of the phytoplankton biomass and primary productivity of Parakrama Samudra, a shallow man – made Lake in Sri Lanka. In: F. Schiemes, Ed, *Limnology of Parakrama Samudra Sri Lanka.* Dr. Junk Publishers, The Hague, P. 49 - 74.
- Dokulil, M. 1984. Metodología de medición de fotosíntesis en fitoplancton. En *Embalses, Fotosíntesis y Productividad Primaria.* Curso taller realizado en la Universidad de Chile (Enero, 1983).
- Erikson, R., M. Pum., K. Vammen., A. Cruz., M. Ruiz & H. Zamora. 1997. Nutrient availability and stability of phytoplankton biomass and production in Lake Xolotlan (L. Managua, Nicaragua). *Limnologica* 27: 157 – 164.
- Fee, E. J. 1984. Productividad Primaria. En *Embalses, Fotosíntesis y Productividad Primaria.* Curso taller realizado en la Universidad de Chile (Enero 1983).
- Franco, A. 1990. *Manejo técnico de granjas camaroneras.* 88 pág.
- Ganf, G. G. 1974 (a). Incident solar irradiance and underwater light penetration as factor controlling the chlorophyll – a content of a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *J. Ecol.* 62: 593 – 609.
- Ganf, G. G. 1975. Photosynthetic production and irradiance – photosynthesis relationships of the phytoplankton from a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Oecologia (Berlín)* 18: 165 – 183.
- Goldman, Ch. R & A. J. Horne. 1983. *Limnology.* 464 pág.
- González, A. 1988: *El plancton de las aguas continentales.* Serie Biología. Monografía No. 33. OEA. 130 pág.
- Hendey, Y. N. 1964. An introduction account of the smaller algae of british coastal waters. 317 pág.
- Hernández, N. 1999. Distribución y abundancia del fitoplancton en un estanque de cultivo extensivo de camarones Peneidos, Cooperativa “Lucrecia Lindo”, Puerto Morazán, Chinandega, Nicaragua. Monografía. 41 pág.

- Hernández, C. 1999. Curso sobre nutrición de camarones. Centro de Investigación del Camarón. Universidad Centroamericana (CIC-UCA).
- Hooker, E., N. Chow., K. Rivas., R. Erikson., I. Ahlgren & G. Ahlgren. 1998. Primary production and estimation of potencial fish yield in Lake Cocibolca, Nicaragua. Reprint : International Association of Theoretical and Applied Limnology 27.
- Huber-Pestalozzi, G. 1961. Das Phytoplankton Des Susswassers. Systematik und Biologie. 1, 2, 3, 4, 5 Teil. (365, 322, 1135, 951 pág).
- Jones, R. I., j. M. Young., A. M. Hartley & A. E. Baeley – Watts. 1996. Light limitation of phytoplankton development in an oligotrophic lake – Loch Ness, Scotland. Freshwater Biology, 35: 533 – 543.
- Kalff, J. & S. Watson. 1986. Phytoplankton and its dynamics in two tropical lakes: a tropical and temperate zone comparison. Hydrobiologia, 138: 161 – 176.
- Kramer, K & Bertalot, L. 1991. SuBwasserflora von Mitteleuropa. Bacillariophyceae. 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. 576 pág.
- Lanza, E. G., R. De Lara & J. L. García. 1991. La acuicultura en palabras. 160 pág.
- Lin, F. 1995. Monitoreo de fitoplancton en estanques de cultivo de camarón. Misión Técnica China-MEDEPESCA. Managua, Nicaragua. 33 pág.
- Margalef, R. 1983. Limnología. 1010 pág.
- Margalef, R. 1986. Limnología del Lago Enriquillo (República Dominicana). Oecología Aquatica, 8: 1 – 10.
- Martínez, E & B. Zapata. 1997. Aprovechamiento del alimento natural para el engorde del camarón e importancia del control y análisis de los parámetros. IV Encuentro Nacional de Productores de camarones de cultivo. Chinandega, Nicaragua. 29 – 46 pág.
- Martínez, E. 2000. Manual para una camaronicultura responsable y sostenible. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. (UNAN - León). Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Manuscrito. 94 pág.
- Morris, I. 1980. The physiological ecology of phytoplankton. Studies in ecology. Volume 7. 625 pág.
- Nush, E. A. & G. Palme, 1975. Biologische Methoden fur die Praxis der Gewässeruntersuchung, Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigment-gehaltes in Oberflächenwasser. wasser, 116. 562-565.
- Odum, E. P. 1971. Ecología. Nueva Editorial Interamericana. 3ra. Edición. 639 pág.

- Olrik, K. 1978. Cyanophyceae and environmental factor in 15 Danish lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 20. 690 – 695.
- Pascher, A. & Geitler, L. 1925. Die Susswasser-Flora. Deutschlands, Osterreichs Und Der Schweiz. Heft 12. Cyanophyceae. 463 pág
- Reynolds, C. S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. 384 pág.
- Rivera, G. Y. 1999. Curso sobre manejo de estanques. Centro de Investigación del Camarón. Universidad Centroamericana (CIC-UCA).
- Robarts, R. D. 1979. Underwater light attenuation, chlorophyll – a and primary production in a tropical African lakes (Lake Mc Ilwaine, Rhodesia). Arch. Hydrobiol. 86: 423 – 444.
- Saborío, A. 1998. La camaronicultura en Nicaragua. Medepesca – Managua. 27 pág.
- Smayda, T. J. 1970. The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. Oceanogr. mar. Biol. Ann. Rev., 8, 353-414.
- Tait, R. V. 1970. Elementos de ecología marina. 320 pág.
- Talling, J. F. 1965. The photosynthetic activity of phytoplankton in East African Lakes. Int Revue. ges Hydrobiol. 50: 1 – 32.
- Talling, J. F. 1966. The annual cycle of stratification and phytoplankton growth in Lake Victoria (East Africa). Int. Revue. ges. Hydrobiol. 51: 545 – 621.
- Talling, J. F. 1971. The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton. Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 19: 212 – 243.
- Tilzer, M et al 1984. Ciclo del carbono y cadenas tróficas en la zona abierta del Lago Constanza. En Embalses y Productividad Primaria. Curso Taller realizado en la Universidad de Chile. Enero 1983.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mitt. internat. Verein. Limnol, 9:1-38.
- Wetzel, R. G. 1981 Limnología. 679 pág.

## **X. ANEXOS**



Anexo No. 1

Ubicación del punto de muestreo en el estanque de la Cooperativa de Productos del Mar (COOPROMAR).



Anexo No. 2 Botella hidrográfica Van Dorn



Anexo No. 3 Red de Arrastre



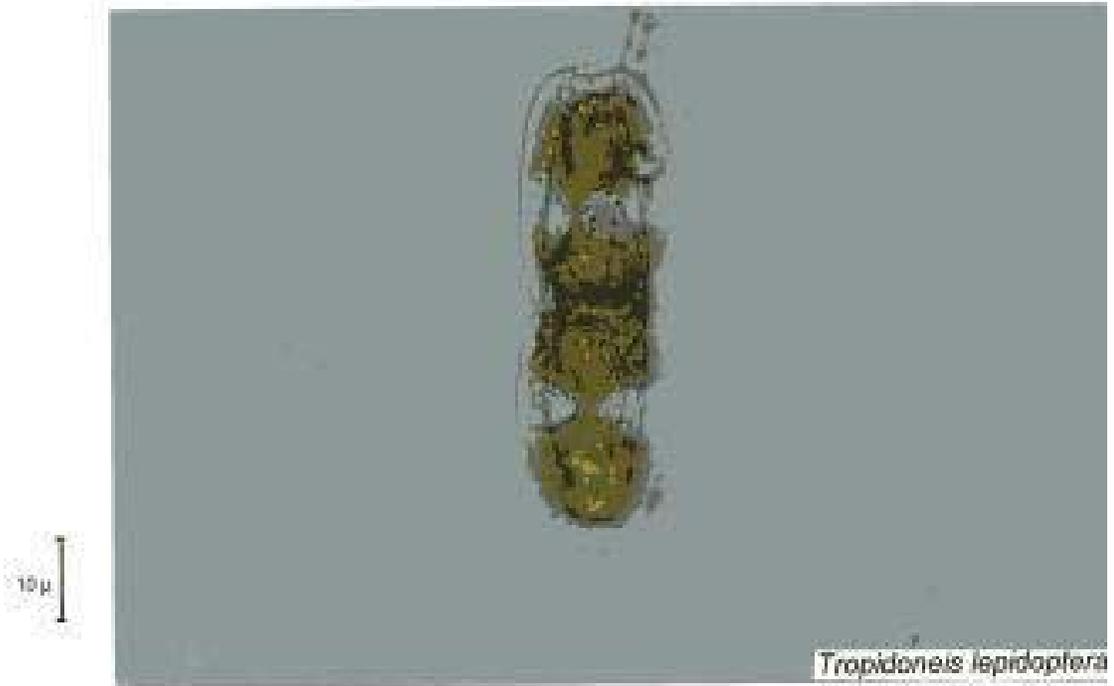
Anexo No. 4 Cámaras de sedimentación



Anexo No. 5 Microscopio invertido



Anexo No. 6 Disco Secchi



Anexo No. 7

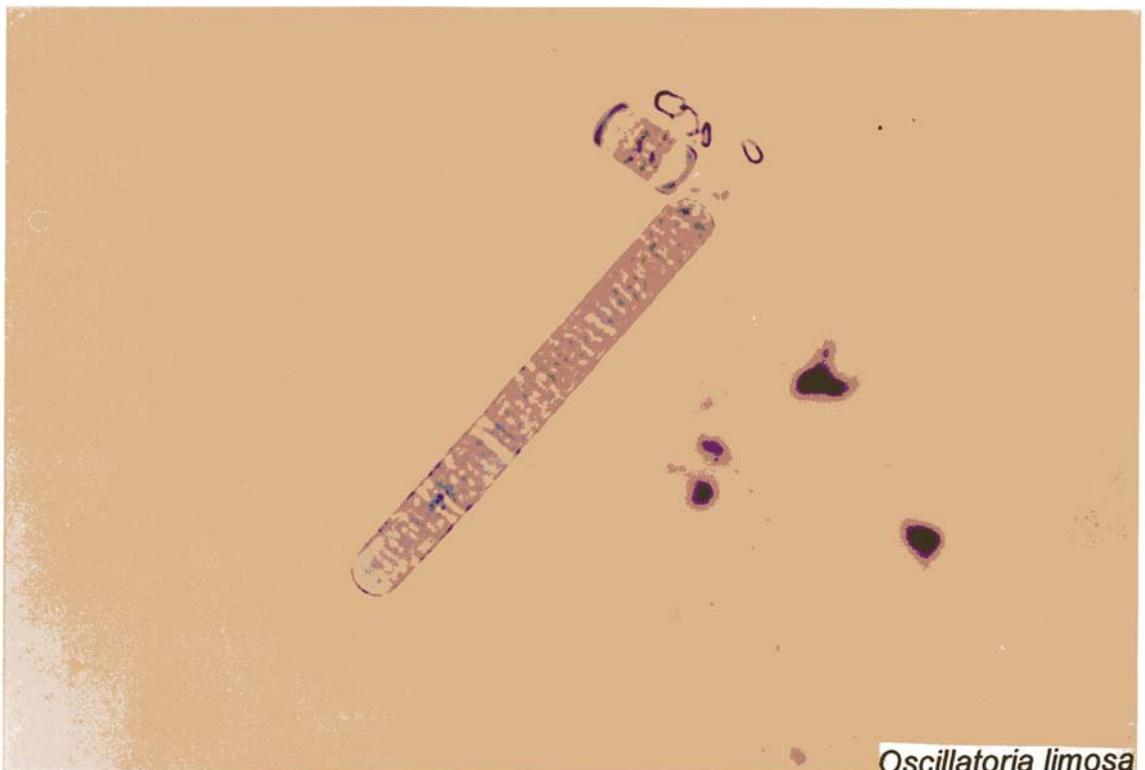
Fitoplancton encontrado en el estanque de cultivo

10  $\mu$



*Diploneis bombus*

10  $\mu$



*Oscillatoria limosa*

Análisis de varianza de un factor

Fitoplancton cualitativo

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Bacillariophyta	8	56	7	10,28571429
Cyanophyta	8	29	3,625	3,696428571
Chlorophyta	8	18	2,25	3,071428571
Dinophyta	8	8	1	0

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	160,59375	3	53,53125	12,55602094	2,20722E-05	2,946684674
Dentro de los grupos	119,375	28	4,263392857			
Total	279,96875	31				

Anexo No. 8

Análisis estadístico

Análisis de varianza de un factor

Densidad por grupos del fitoplancton

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Dinophyta	8	12,34344	1,54293	2,672270752
Bacillariophyta	8	747,9074	93,488425	7508,881651
Chlorophyta	8	6376,24175	797,0302188	4930317,588
Cyanophyta	8	37802,6152	4725,3269	23986750,14

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	120671605,1	3	40223868,35	5,562586471	0,004009895	2,946684674
Dentro de los grupos	202472055	28	7231144,821			
Total	323143660	31				