



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

205  
24

FACULTAD DE CIENCIAS

"Revisión General de los Fertilizantes Orgánicos e Inorgánicos  
Aplicados a la Acuacultura"

TESIS

Que para obtener el título de:

BIOLOGO

PRESENTA

Miguel Serrano Vizuet

Director de Tesis:

Dr. José Luis Arredondo Figueroa



México, D.F.

1992

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## RESUMEN

**Serrano Vizuet Miguel "Revisión General de los Fertilizantes Orgánicos e Inorgánicos Aplicados a la Acuicultura". (Bajo la dirección del Dr. José Luis Arredondo Figueroa).**

El presente trabajo se realizó con el objeto de contribuir al conocimiento de la acuicultura, en este caso particular en lo referente a la fertilización, que es uno de los mecanismos base para que la biotecnología sea eficiente en la producción acuícola.

La estrategia de fertilizar los estanques, ya sea con compuestos químicos u orgánicos, tiene la intención de elevar la productividad tanto primaria como secundaria así como los niveles tróficos subsecuentes de la cadena alimenticia a través del aporte de nutrientes en una unidad de cultivo.

Dentro de los tipos de fertilizantes orgánicos, los excrementos de animales son los más utilizados en la acuicultura, ya que representan una alternativa para reducir los costos de producción sin alterar las formas convencionales de cultivo intensivo o semi-intensivo, ya que se obtienen producciones tan altas como con el uso de fertilizantes químicos y además representan una buena probabilidad para nuestro país, que no cuenta con grandes recursos económicos, pues los fertilizantes químicos o minerales que se usan actualmente en la acuicultura a un alto costo, pueden canalizarse al campo, ya que son prácticamente los mismos que se utilizan en la agricultura y parten de la base de sus componentes principales, como son el nitrógeno, fósforo y potasio. Estos tienen la presentación granular o líquida como en el caso de la urea, fórmula compleja, superfosfato triple y el amonio líquido.

Por tal motivo, en México es importante que se estudien los pros y contras de los diferentes tipos de fertilizantes y establecer mecanismos adecuados para cada región, entrenando técnicamente a los productores para el uso y aplicación de los fertilizantes adecuados, de tal manera que los organismos en cultivo cuenten con otras fuentes alternas de alimento, con lo que se puede disminuir el aporte de alimentos industrializados y abatir los costos de producción, haciendo rentable la producción acuícola. Además la acuicultura para una mayoría de habitantes de nuestro país representa una opción alimentaria de bajo precio y alto contenido proteínico que puede resolver la falta de alimento de zonas densamente pobladas y de escasos recursos.

## JUSTIFICACION

En la actualidad existe una transformación dinámica en el aspecto económico, particularmente en los países industrializados, quienes mantienen un alto nivel en la modernización de los procesos productivos, así también procuran mantener una supremacía para lograr la integración de la cadena productiva, fortalecer su economía y ser competitivos en sistemas internacionales. Tomando como base lo antes mencionado, nuestro país se enfrenta a una apertura en el ámbito económico y requiere entrar pleno a esta competencia, por lo tanto requiere un cambio en las estructuras obsoletas, buscando la eficiencia y modernización de los niveles de producción para poder afrontar el inminente cambio comercial que se pretende lograr al establecer el Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos de América y Canadá.

Ante estos acontecimientos la política nacional intenta acelerar la modernización en todos los sectores, incluyendo al educativo, no quedando exenta de ello nuestra Máxima Casa de Estudios, y en torno a esto se han realizado análisis y discusiones tendientes a la búsqueda de mejores alternativas frente al proceso de transformación.

Existen cambios en los programas curriculares de algunas carreras, entre ellas la Carrera de Biología en la Facultad de Ciencias, ya que después de 24 años de no sufrir modificaciones, en breve será aplicado un cambio de estructura. Este nuevo curriculum pretende acercar a la Universidad al proceso de cambio de nuestro país, razón por la cual se contemplan como materias obligatorias las relacionadas con la Biotecnología en donde se incluye la acuicultura, rama que exhibe un crecimiento acelerado con una gran perspectiva a futuro, pues la agricultura, los cultivos pecuarios y la pesca están llegando a niveles máximos de explotación debido a que se requiere cada vez de una mayor producción de alimentos.

Ante estas circunstancias y desde un punto de vista muy particular considero importante introducir a los alumnos desde el nivel medio superior en materias relacionadas con la Biotecnología y motivarlos a investigaciones prácticas aplicables a la problemática que actualmente vive nuestro país, de tal manera que con su vocación puedan obtener conocimientos necesarios para visualizar la necesidad de estudiar y practicar una carrera relacionada con esta materia y así al ascender a la licenciatura elijan opciones que les permitan apoyar la producción de alimentos en México a nivel competitivo.

Nuestros recursos naturales deben ser aprovechados por medio de las nuevas técnicas e innovaciones para lograr mejores resultados, ya que la naturaleza nos proporciona los elementos pero con cierto límite, por lo tanto está en nuestras manos lograr en conjunto con ella una mayor producción y calidad en nuestros productos.

El presente trabajo es un análisis de los diferentes métodos de fertilización en estanques para la producción acuícola. Es una actualización de la información en la técnica de la fertilización, que puede ser consultado por alumnos de nivel medio superior que estén interesados en información general de los métodos de fertilización o estén motivados para iniciar investigaciones en aspectos particulares aplicables en alguna región del país. A nivel licenciatura se distingue lo importante y amplia que es la acuicultura así como lo imprescindible que es realizar investigaciones sobre algunos mecanismos como: control de agua, la alimentación balanceada o suplementaria, sanidad acuícola, fertilización y todas las variantes que permitan las condiciones idóneas para la eficiente producción de alimentos.

# I N D I C E

Pág.

<b>I. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II. PRINCIPIOS BASICOS DE LA FERTILIZACION.....</b>	<b>2</b>
Descripción del fitoplancton .....	4
Composición y abundancia del fitoplancton en los estanques .....	6
Variación estacional del fitoplancton .....	10
Bacterias .....	15
Zooplancton.....	15
Conducta y variación estacional del zooplancton.....	18
<b>III. MACROFITAS ACUATICAS.....</b>	<b>20</b>
Generalidades .....	20
Composición química y valor alimenticio.....	21
Importancia de las lemnáceas .....	24
Utilización de las macrofitas como alimento para los peces .....	25
Producción y cultivo.....	29

<b>IV. LOS FERTILIZANTES</b> .....	30
Tipos de fertilizantes .....	30
Fertilizantes o abonos orgánicos.....	30
Tatsao o Dacao.....	31
Excretas animales.....	31
Consideraciones ecológicas.....	33
Fertilizantes químicos o minerales.....	35
Presentación de los compuestos .....	36
Técnicas de aplicación.....	37
Problemas asociados a la fertilización .....	38
Compostas .....	38
Compostas anaeróbicas.....	38
Compostas aeróbicas.....	39
Principios de un biodigestor .....	41
Tipos de digestores .....	42
Excremento animal fresco sin tratar .....	43
Rendimientos pesqueros obtenidos mediante el uso y aplicación de fertilizantes .....	44
Perspectivas del uso y aplicación de los fertilizantes en México.....	45

## **V. TECNICAS DE APLICACION DE FERTILIZANTES.**

Actividades previas a la fertilización.....	45
Factores que influncian la acción del fertilizante químico .....	46
Métodos y frecuencia de aplicación de los fertilizantes químicos .....	48
Precauciones .....	49
Programa de siembra y cosecha de camarones en Ecuador .....	50
Técnicas para la aplicación de excretas animales y desechos orgánicos .....	52
Manejo de los desechos a través de la integración de animales de granja.....	53

## I. INTRODUCCION

El propósito fundamental que persigue la acuicultura es obtener elevados rendimientos pesqueros que permitan mejorar significativamente la relación costo-beneficio y obtener una mayor ganancia económica. Para lograr esto, la biotécnica recurre a diversos mecanismos, como el control de la calidad del agua, la alimentación balanceada o suplementaria, la fertilización y la implementación de diversos artefactos que permitan mantener las condiciones óptimas del cultivo.

En el caso particular de la fertilización, ésta tiene la finalidad de promover la productividad primaria de una unidad de cultivo a través del aporte de los nutrientes esenciales para satisfacer los requerimientos de los productores primarios y establecer los niveles tróficos subsecuentes de la cadena alimenticia. De esta forma los organismos en cultivo tienen otras fuentes alternas de alimento, con lo que se puede disminuir el aporte de alimentos industrializados y abatir los costos de producción, caso sólo posible cuando se tienen condiciones de cultivo semi-intensivo o bien se practica un cultivo intensivo más tecnificado.

La capacidad productiva máxima (CPM) que tiene un cuerpo de agua, depende de una serie de factores, entre los que se pueden citar los edáficos, morfométricos y climáticos, que en conjunto determinan la productividad biológica que tiene su base en los mecanismos fotosintéticos y sus relaciones con los nutrientes y el crecimiento de los organismos (Cole, 1975).

Las relaciones inter e intraespecíficas que mantienen los diferentes parámetros expresan, en última instancia, el nivel trófico que ocupan en el ecosistema y por lo tanto determinan su capacidad de productividad máxima, que se refleja en forma clara en su rendimiento pesquero.

Para un acuicultor es deseable bajo ciertas condiciones, que se presenten elevados volúmenes de fitoplancton, ya que los organismos que integran la comunidad fitoplanctónica presentan un ciclo de vida corto y constantemente están muriendo, por lo que al descomponerse por acción bacteriana, se reincorporan sin demora al ciclo biológico. Proporcionalmente contienen mayor cantidad de proteínas que las plantas superiores; por lo general son móviles y, en consecuencia, si las condiciones son favorables ocupan diversos nichos ecológicos, además de que por su pequeño tamaño posibilitan su consumo directo por el zooplancton, invertebrados del bentos, peces pequeños y organismos filtradores.

No obstante, al estimular el crecimiento de los productores primarios como el fitoplancton, se puede favorecer el establecimiento de macrofitas acuáticas, que al crecer en forma desproporcionada ocasionan la disminución del fitoplancton, ya que compiten por la disponibilidad de nutrientes e impiden la penetración de los rayos solares, también provocan problemas en el manejo de los organismos estorbando la acción efectiva de las artes de pesca y sirven de protección y sustrato a larvas de mosquitos y otros insectos depredadores. Por esto es importante mantener un balance óptimo entre el volumen del fitoplancton y la cantidad de macrofitas, pues éstas últimas ayudan al intercambio mineral extrayendo del fondo los nutrientes e incorporándolos al ciclo biológico del cuerpo de agua; constituyen una fuente de alimento directo o indirecto para algunos organismos en cultivo e impiden la acción erosiva en las zonas marginales de los estanques.

## II. PRINCIPIOS BASICOS DE LA FERTILIZACION

La fertilización es una estrategia para aumentar la productividad tanto primaria como secundaria y los niveles tróficos subsecuentes en un cuerpo de agua.

Los estanques que son fertilizados con compuestos químicos u orgánicos, responden a este efecto estableciendo dos mecanismos simultáneos que operan de manera sinérgica y que son llamados cadenas tróficas o alimenticias; el primero depende de la luz solar o energía radiante y se le da el nombre de "AUTOTROFICO" o cadena alimenticia de pastoreo y el otro no depende de la luz y es conocido como "HETEROTROFICO", también llamado cadena alimenticia de detritus.

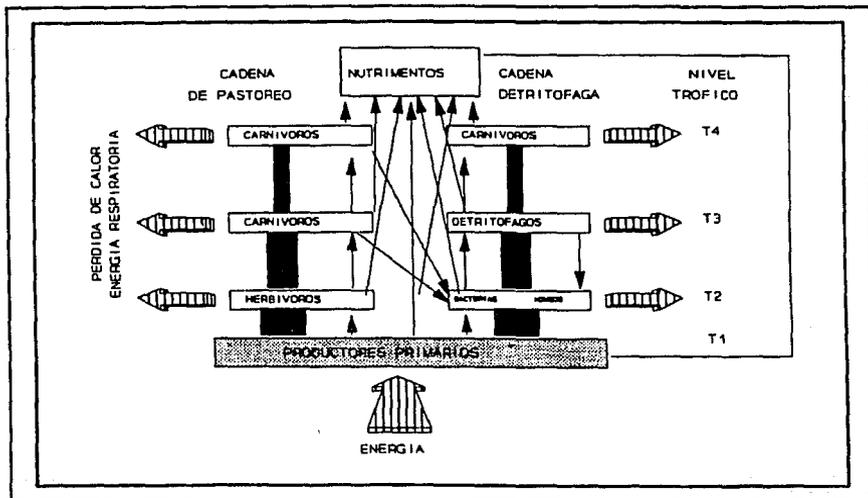
Como su nombre sugiere, la cadena autótrófica sintetiza la materia orgánica y permite la fijación de la energía solar por las plantas verdes durante la fotosíntesis, es por esta producción de nueva materia orgánica, CO<sub>2</sub>, agua y su subsecuente consumo por los animales por lo que se le da el nombre de cadena de pastoreo. Aunque las plantas verdes y en especial el fitoplancton son los principales productores primarios que operan en el estanque, ciertas bacterias anaeróbicas y cianobacterias no-fotosintéticas autótróficas son capaces de producir materia orgánica a partir del carbono inorgánico, usando la energía química derivada de la oxidación celular de sustratos inorgánicos tales como el azufre, nitrógeno, hidrógeno y otros compuestos químicos, por lo que son conocidas como autótrofos quimiosintéticos.

En contraste los organismos heterotróficos, se nutren de otros organismos o desechos de los mismos y forman una nueva biomasa microbiana para que libere nutrientes inorgánicos y CO<sub>2</sub>. Esta nueva biomasa formada por bacterias, sirve como fuente de alimento para los protozoarios, nemátodos y otros organismos del bentos.

Todos los organismos que viven en el ecosistema estanque están formados del llamado CHONPS, es decir: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre que son considerados los nutrientes básicos y su presencia fundamental para mantener una elevada productividad en la masa de agua. Por esta razón, es importante entender los procesos de productividad y procurar un manejo de la estanquería, a través de la aplicación controlada de fertilizantes químicos que actúan directamente sobre los organismos autótróficos, o los orgánicos que controlan la cadena heterotrófica. En la Figura 1, se presentan las dos cadenas que son producidas como efecto de los fertilizantes químicos y orgánicos en un estanque de cultivo en condiciones semi-intensivas.

Figura 1.

Representación gráfica de las cadenas autotróficas y heterotróficas propiciadas por la aplicación de fertilizantes.



El efecto que provoca la fertilización al generarse las cadenas alimenticias, es el de disponer de una gran variedad de organismos de diferentes tamaños, que conforman el plancton, el necton y el bentos y que constituyen las opciones alimenticias de los organismos en cultivo, que dependiendo del tamaño de la boca son consumidos directamente y reducen notablemente el consumo de alimentos balanceados o, en su caso, de suplementarios, teniendo ahorros que van del 40% al 60% en los costos de alimentación de un cultivo (Tabla 1).

Tabla 1.  
Clasificación del plancton de acuerdo con su tamaño.

CLASIFICACION	TAMAÑO	DIVISION
Ultraplancton	>2 $\mu$	Bacterias planctónicas.
Nanoplancton	2-20 $\mu$	Microalgas verdes, diatomeas, dinoflagelados, algas doradas, etc.
Microplancton	20-200 $\mu$	Cianobacterias, diatomeas, protozoarios y pequeños crustáceos.
Macroplancton	200-2000 $\mu$	Cladóceros y copépodos.
Megaplancton	>2000 $\mu$	Cladóceros y otros.

De acuerdo con algunos autores, se ha encontrado que el 90% de la productividad de los estanques está sostenido por los dos primeros grupos de organismos, ultraplancton y nanoplancton, que comprende a las bacterias y microalgas con una dimensión de 2 a 20  $\mu$ .

#### Descripción del fitoplancton.

El fitoplancton está compuesto de una gran cantidad y diversidad de organismos que ocupan distintos nichos ecológicos y propician una gran disponibilidad de alimentos para los otros niveles tróficos. Su tamaño es variable y se pueden reconocer tres grupos (Tabla 2).

Tabla 2.  
Clasificación de los organismos que integran los componentes del fitoplancton.

CLASIFICACION	DIVISION
Procariontes	1.-Bacterias planctónicas 2.-Cianobacterias
Mesocariontes	3.-Dinoflagelados
Eucariontes	4.-Clorofitas 5.-Diatomeas 6.-Euglenofitas 7.-Crisofitas 8.-Xantofitas 9.-Criptofitas

Organismos procariontes. Típicamente en forma de células bacterianas, sin un núcleo genuino y sin cromoplastos, entre los que se encuentran las bacterias planctónicas y las cianofitas o algas azul-verdes.

Organismos mesocariontes. Cuyo núcleo contiene Acido Desoxirribonucleico (ADN), pero sin la presencia de histona como los dinoflagelados (Pirrofitas).

Organismos eucariontes. Contienen un verdadero núcleo y cromoplastos, entre ellos se encuentran representadas las principales divisiones del fitoplancton:

- Algas verdes (Clorofitas).
- Diatomeas centrales y penales (Bacilariofitas).
- Euglenales (Euglenofitas).
- Algas doradas o verde-amarillas (Crisofitas).
- Algas amarillas (Xantofitas).
- Criptomonadales (Criptofitas).

A continuación se presenta (Tabla 3) una síntesis de las características fundamentales de cada una de las divisiones.

Tabla 3.

Descripción de los principales grupos de microalgas más comunes en estanques fertilizados.

DIVISION	CARACTERÍSTICAS GENERALES	EJEMPLOS DE GENEROS COMUNES
Cianofitas	Organismos unicelulares, coloniales o filamentosos. La pared celular contiene celulosa, pectina y nucleágos. No presentan membrana nuclear y nucleolos y el ADN combina con las histonas y cromoplastos. Pigmentos: <i>C-ficocianina</i> y <i>C-ficoeritrina</i> .	<i>Merismopedia</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Anabaena</i> . La tilapia puede digerir especies como <i>Anabaenopsis</i> sp., y el sabalote <i>Oscillatoria</i> sp. y <i>Anabaena spiroides</i> , es buen alimento para la carpa platada.
Pirrofitas	Organismos unicelulares y móviles; con formas esféricas, de aguja o ramificadas. Su pared celular está compuesta de un anfidesma que es secretado por el protoplasma, con teclas o no, divididos por placas identificándose una epiteca y una hipoteca. Pigmentos: Cloroplastos pequeños con clorofila a y c; carotenos; <i>ficopirrina</i> y <i>peridina</i> .	<i>Ceratium</i> spp. Esta especie puede formar florecimientos (blooms), en el verano.
Criptomonadales o Criptofitas	Unicelulares y de corta pared celular, con una capa externa de citoplasma llamada periplasto. La mayoría de ellos con dos flagelos. Pigmentos: Clorofila a, c, e2 y carotenos.	<i>Chroomonas</i> sp., <i>Cryptomonas</i> sp. Pueden formar blooms.
Clorofitas	Es un grupo muy complejo, el 90% pertenecen a las aguas dulces. Hasta el momento se tienen registrados 450 géneros con 6,500 especies. Son unicelulares y coloniales. La pared celular está compuesta de microfibrillas de celulosa. Las células nadadoras tienen de 2 a 4 flagelos y presentan estructuras muy complejas. Pigmentos: Clorofila a, b y carotenos.	<i>Chlamidomonas</i> sp., <i>Scenedesmus</i> sp., <i>Pediastrum</i> sp., <i>Closterium</i> sp., <i>Cosmerium</i> sp., <i>Eudorina</i> sp., <i>Coelastrum</i> sp.
Euglenofitas	Unicelulares y nadadoras. La célula es desnuda sin pared celular; pocas son loriciadas; uno o dos flagelos que emergen de una invaginación en la membrana de la célula. Pigmentos: Los cloroplastos pueden tener forma de placa, listón o estrella y los pigmentos son los mismos que en las algas verdes.	<i>Euglena</i> sp., <i>Phacus</i> sp., <i>Trachelomonas</i> sp., <i>Euglena sanguinea</i> . Pueden formar blooms en el verano.
Crisofitas	Unicelulares y móviles, coloniales o ramificadas. La mayoría no tienen pared celular rígida. Generalmente tienen dos flagelos de longitud igual y desigual. Pigmentos: Cromatóforos amarillo-café o amarillo-verde; clorofila a y c; diatoxantina; <i>ficopirrina</i> y <i>risolaminarina</i> .	<i>Chroomulina</i> sp. y <i>Ochromonas</i> sp. viven en rangos bajos de temperatura, y algunas especies pueden formar blooms en primavera y otoño.
Bacilariofitas	Coloniales, la pared celular de pectina y abundante sílice, tiene dos valvas; epiteca e hipoteca llamadas frustelas; carecen de flagelos o cilios. Pigmentos: Cromatóforos amarillos, café-amarillos y verdes, clorofila a y c, <i>diatoxantina</i> y <i>xantofila</i> .	<i>Melosira</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Navicula</i> , <i>Nitzschia</i> y <i>Cyclotella</i> . Las dos últimas son especies dominantes y pueden producir blooms.
Xantofitas	Unicelulares, coloniales, o filamentosas, la pared celular formada de pectina y una pequeña cantidad de sílice, dos valvas interconectadas una con otra. Pigmentos: Clorofila a y <i>fluoroxantina</i> a	<i>Ophiocytium</i> sp. y <i>Tribenema</i> sp. viven en aguas limpias de altas temperaturas; no producen blooms.

El color del agua de un estanque, representa diferentes cantidades de especies del fitoplancton. La experiencia china a lo largo de más de 10 años, ha permitido identificar 10 tipos de florecimientos masivos de microalgas y los datos señalan que la biomasa óptima de un estanque fertilizado es de 20 a 50 mg/l que corresponde a una transparencia entre los 30 y 40 cm. Cuando se tiene una biomasa de 50-100 mg/l, la transparencia se ubica de 25 a 35 cm. Generalmente, se procura mantener una producción entre 20 y 100 mg/l para tener condiciones adecuadas en los estanques (He-Zhihui, 1985). En la Tabla 4 se muestran los principales florecimientos (blooms) detectados en estanques con una elevada productividad.

#### Composición y abundancia del fitoplancton en los estanques.

Un estanque sometido a una fuerte fertilización, presenta una elevada densidad fitoplanctónica en la que es posible reconocer representantes de varias divisiones taxonómicas, como las clorofitas, cianofitas, euglenofitas, crisofitas, dinoflagelados y pirrofitas. En estanques utilizados para el cultivo intensivo en la Universidad de Auburn, Alabama, EE.UU., durante el verano, los grupos dominantes en un 90% corresponden a las clorofitas y cianofitas, siguiendo en orden de importancia las crisofitas y diatomeas y al final las euglenofitas y pirrofitas, que son raras y poco frecuentes (Boyd, 1979).

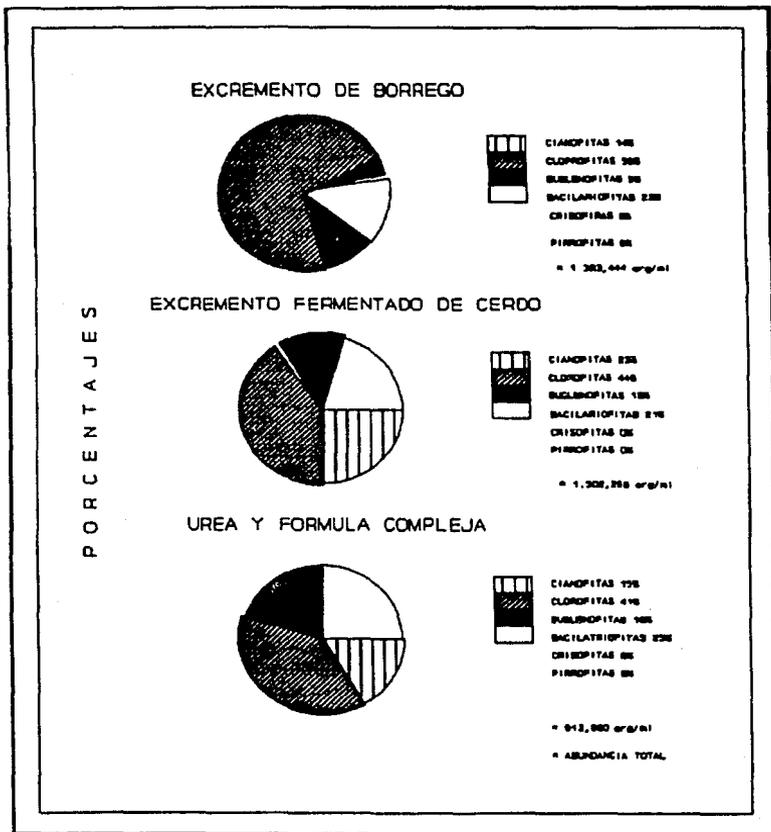
Tabla 4.  
Principales grupos de microalgas productoras de blooms en estanques.

TIPO DE FLORECIMIENTO	ESPECIE DOMINANTE O GENERO	ESPECIE SECUNDARIA O GENERO	BIOMASA OPTIMA EN MG/L.	DISCO SE SECCHI EN CM.	COLOR DEL AGUA.	OTROS	ESTACION DEL AÑO
Anabaena o Anabaenopsis	Anabaena spirroides y Anabaenopsis		200-300	20-25	Verde jade, verde oscuro y azul verde	> pH > N > P	Verano
Cryptomonas	Cryptomonas	Cyclotella y Chroomonas	100	25-35	Café, café rojizo y verde café	Rico en materia orgánica.	Todo el año
Gonyostomum	G. depressum	Gyanodinium sp.	100	25-35	Café azul o café verde	Eutrófico	Verano
Ceratium	C. hirundinella		100	25-35	Amarillo café a café		Verano
Cyanodinium	C. cyanus	Gonyostomum	100	25-35	Verde café, azul verde o gris acero.	Eutrófico	Verano y otoño
Euglena.	E. sanguinea	Cyanophyta	100-200	25-35	Verde, café	Eutrófico	Todo el año
Volvocales.	Eudorina	Chlorococcales	100	25-35	Verde pasto con verde membrana	Eutrófico	Todo el año
Bacillariophyta	Cyclotella Nitzschia	Cryptophyta Chlorophyta	100	25-35	Café o café oscuro	Rico en N, P y Si	Primavera y otoño

En México, casi no existe información sobre la composición del fitoplancton en estanques, algunos estudios realizados por Arredondo (1987), mostraron que la composición porcentual general de los distintos componentes que integran el fitoplancton en los estanques estudiados, de acuerdo a diferentes tratamientos aplicados (excretas de borrego, fermentado de cerdo y urea más fórmula compleja) exhibió el comportamiento expresado en la Figura 2.

Figura 2.

Composición porcentual y abundancia total de los componentes del fitoplancton, en los tres bloques de tratamiento.



El grupo de las clorofitas fue dominante; 59% para el bloque de estanques tratados con excretas fermentadas de borrego, 41% para los tratados con urea más fórmula compleja. El segundo grupo en importancia varió sensiblemente en los distintos tratamientos; en el primer tratamiento las bacilariofitas ocuparon el primer lugar, en segundo fueron las cianofitas y en tercero las bacilariofitas. El tercer grupo fue ocupado por las cianofitas en el tratamiento con excretas fermentadas de borrego, las bacilariofitas en el cerdo y las euglenofitas en la urea más compuesto complejo.

En términos de abundancia total, el bloque de estanques fertilizados con excremento de cerdo ocupó el primer lugar con 1,502,290 org/ml; seguido por el bloque fertilizado con excremento de borrego con 1,383,444 org/ml y al final el fertilizante químico con 913,860 org/ml, considerando sólo las muestras colectadas en superficie.

Estos resultados coincidieron con las observaciones realizadas por (Boyd, 1973 y 1979) en el sentido de que las clorofitas constituyen el grupo dominante en los estanques fertilizados. En este trabajo otro grupo dominante estuvo constituido por las bacilariofitas, organismos indicadores de aguas fuertemente mineralizadas, por lo que son comunes en ambientes con elevadas concentraciones iónicas, en las que altas cantidades de sodio y cloro determinan su presencia, sobre todo en especies indicadoras como es el caso de *Cyclotella meneghiniana*.

La abundancia relativa del fitoplancton en estanques con o sin fertilizar, ha sido estimada por conteo directo y como datos comparativos se han registrado en los lagos no fertilizados hasta 82,700 organismos por litro, mientras que el promedio de tres lagos fertilizados fue de 80,700 organismos por litro (Langfrod, 1984). McIntire y Bond (1962), encontraron un incremento en el número de organismos del fitoplancton después que se aplicó fertilizante con nitrógeno y fósforo en algunos estanques, alcanzando un valor de hasta un millón de organismos por litro.

Los datos obtenidos en este estudio expresaron que la abundancia es mucho más alta a la observada en estanques fertilizados de la Universidad de Auburn, que en suma representó un millón de organismos por mililitro, que es la abundancia total registrada en tres estanques de cada tratamiento. Esta cifra tan grande puede deberse a la acción conjunta del fertilizante y las especies de peces filtradoras, ya que en especial la carpa plateada incrementa los florecimientos masivos del fitoplancton y colabora con la eutroficación del estanque (Opuszynski, 1979).

Spature (1977), Cremer y Smitherman (1980), encontraron en los contenidos intestinales de la carpa plateada una abundante cantidad de fitoplancton y raramente zooplancton, lo que permite clasificar a esa especie como fito y microzooplanctófaga, con menos de 7% de zooplancton ingerido. En contraste, la carpa cabezona en sus contenidos intestinales presentó zooplancton en mayor proporción, pero también asimila un alto porcentaje de detritus orgánicos, que alcanzan el 69.3% del contenido alimenticio total. Por otro lado, encontraron que la carpa plateada no disminuye la densidad fitoplanctónica, sino que al contrario la incrementa.

La elevada abundancia de organismos del fitoplancton encontrada en este estudio puede ser atribuida a varios factores, entre ellos cabe destacar: la baja eficiencia en el

control de microalgas por la carpa plateada, ya que tan solo representó el 2% de la abundancia total por especie en el policultivo; la eliminación de zooplancton por la carpa cabezona, que se introdujo a un 15%; la elevada tasa de fertilización que contribuyó grandemente a incrementar la productividad primaria y a las características tan particulares que presentó la calidad del agua.

En cuanto a la composición porcentual de los grupos del fitoplancton (Boyd, 1982), reportó que en algunos estanques se presenta una dominancia marcada de clorofitas, seguida de las euglenofitas y siendo las cianofitas y diatomeas escasas y de poca importancia. Hall y colaboradores (1970) encontraron en estanques de Nueva York, EE.UU., que las diatomeas fueron raras, en cambio las cianobacterias como *Microcystis aeruginosa* fueron muy abundantes sobre todo en los estanques que recibieron una fuerte fertilización. Por otra parte, (Mc. Intire y Bond, 1962) reportaron que en estanques de Oregon, EE.UU., las diatomeas fueron muy abundantes.

Boyd (1973) al estudiar el fitoplancton de tres estanques fertilizados con fósforo, tres con nitrógeno y fósforo y tres controles, encontró que las cianofitas no estuvieron presentes en los estanques control, siendo en este caso las clorofitas y diatomeas las más comunes; en los estanques fertilizados con fósforo no se presentó una dominancia constante de las cianofitas, pero sí en los tratados con nitrógeno y fósforo.

De esta información resulta que la fertilización produce un aumento en la abundancia del fitoplancton, pero no tiene un efecto sobre la composición genérica resultante, tal como lo demostró Parson y colaboradores (1972) quienes después de fertilizar un lago, concluyeron que no existe un cambio substancial en la abundancia de las principales especies, ya que éstas se mantienen uniformes y sólo se observa un aumento en la productividad y la presencia de algunas especies indicadoras de ambientes eutróficos, como es el caso de *Ceratium sp.*, *Peridinium sp.* y *Scenedesmus sp.*

Del total de géneros y especies identificadas en este trabajo, 16 fueron las más frecuentes y sólo algunos géneros estuvieron presentes en un tipo de tratamiento. *Scenedesmus quadricauda*, se registró únicamente en el bloque de estanques fertilizados con excretas fermentadas de cerdo; *Pediastrum boryanum* en el de urea más compuesto complejo; *Nitzschia palea* en el de borrego y *Trachellomonas sp.* en el de cerdo (Tabla 5).

Estos datos reforzaron el hecho de que las clorofitas fueron las más frecuentes a lo largo del tiempo, destacando algunas especies que son consideradas como indicadoras de ambientes eutróficos, como es el caso de *Peridinium sp.*, *Trachellomonas sp.* y *Staurastrum sp.*, y otras que son especies típicas de aguas ricas en calcio y nitrógeno o de aguas con altos contenidos de sales como *Oocystis sp.*, *Cyclotella sp.*, y *Scenedesmus sp.* (Margalef, 1983).

Tabla 5.  
Abundancia total expresada en organismos por milímetro, de los géneros y especies con mayor frecuencia de aparición.

TRATAMIENTOS			
DIVISION Y ESPECIE.	UREA MAS COMPUUESTO COMPLEJO.	BORREGO	CERDO
<b>CLOROFITAS</b>			
<i>Monoraphidium</i> sp.	81,950	84,300	56,600
<i>Schroederia setigera</i>	76,420	43,790	17,390
<i>Oocystis</i> sp.	63,450	463,400	64,800
<i>Scenedesmus biluga</i>	36,450	45,350	37,150
<i>Scenedesmus aruminatus</i>	19,650	13,600	24,000
<i>Scenedesmus quadricauda</i> *	-----	-----	11,200
<i>Pediastrum boryanum</i> *	6,250	-----	-----
<i>Elakatothrix</i> sp.	-----	10,250	-----
<b>BACILARIOFITAS</b>			
<i>Nitzschia</i> sp.	94,750	107,516	153,850
<i>Nitzschia palca</i> *	-----	54,500	-----
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	60,250	73,100	135,850
<i>Denticula tenuis</i>	18,300	23,900	-----
<b>EUGLENOFITAS</b>			
<i>Euglena</i> sp.	154,650	59,050	59,800
<i>Trachelomonas</i> sp.	-----	-----	115,250
<b>CIANOFITAS</b>			
<i>Oscillatoria</i> sp.	132,440	178,950	255,200

\* Presentes en un solo tratamiento.

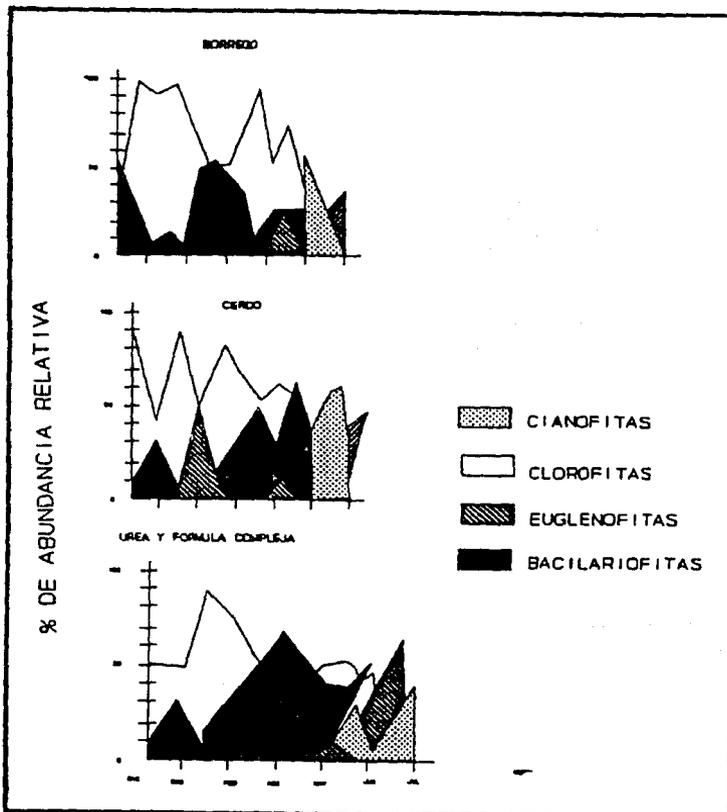
#### Variación estacional del fitoplancton.

Los diferentes componentes que integraron la comunidad fitoplanctónica de los estanques sufrieron cambios en la abundancia relativa a lo largo del tiempo, de tal forma que las clorofitas presentaron una tendencia marcada a la reducción, alcanzando en los meses más fríos del año valores altos, sobre todo en diciembre y enero, para después disminuir sensiblemente en los meses cálidos de mayo, junio y julio, comportamiento que fue similar en los tres bloques de tratamientos. La abundancia total mayor de clorofitas, se presentó en los estanques fertilizados con excretas de borrego (816,940 org/ml). Por otro lado las bacilariofitas mostraron una conducta inversa, siendo más abundantes en la época cálida (abril a junio), con una abundancia mayor en el tratamiento con excretas de cerdo (317,000 org/ml). Pero una mayor dominancia en el bloque de estanques fertilizados con urea más compuesto complejo.

Las cianofitas sólo fueron más abundantes en los meses finales del experimento (junio y julio) y principalmente en los estanques fertilizados con excretas de cerdo (347,650 org/ml). Por último, las euglenofitas se comportaron también en forma semejante a las cianofitas, siendo más abundantes en el tratamiento de cerdo (Figura 3).

Figura 3.

Variación estacional de los principales componentes del fitoplancton en los estanques.



En el caso de las crisofitas y pirrofitas, estos grupos menores se incrementaron hacia el final, siendo las primeras más abundantes en el tratamiento químico (3,400 org/ml) y las segundas en el de cerdo (2,450 org/ml). Al parecer estos resultados mostraron que la abundancia total se incrementó notablemente en los meses cálidos y hubo una mayor presencia de los diferentes componentes del fitoplancton, lo que sin duda reflejó una mayor productividad primaria, ya que se presentaron las condiciones más favorables para su desarrollo y crecimiento, cosa que no sucedió con las clorofitas, las que al parecer toleran temperaturas más bajas.

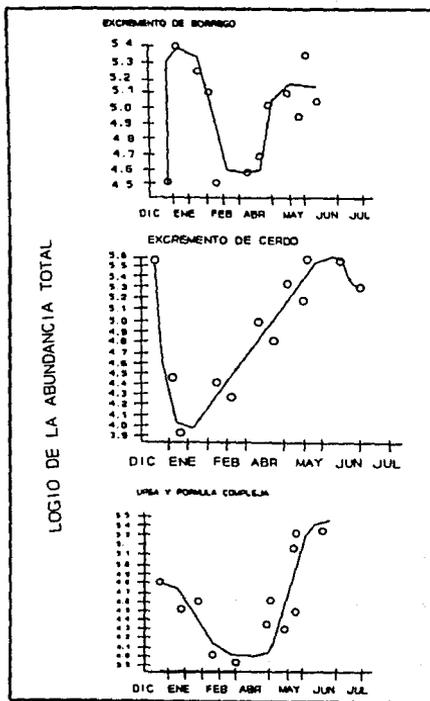
Fogg (1965), sugirió que los cambios en la abundancia y diversidad del fitoplancton pueden ser atribuidas a varios factores, como el ph, temperatura, concentración de nutrimentos, clima, depredación de los peces y el zooplancton, competencia intraespecífica, toxinas secretadas por las microalgas y otros. Algunos de estos factores son determinantes en el comportamiento estacional, principalmente la temperatura y la depredación por peces y el zooplancton; este último factor limitado por la acción selectiva de la carpa cabezona y posiblemente por las toxinas que liberan algunas algas y que restringen el desarrollo de otras especies, aunque aún falta por investigar las relaciones sinérgicas que se dan en estos sistemas.

La tendencia de la distribución estacional de la abundancia total, se presenta en la Figura 4.

En esta figura se aprecia que en los tres tratamientos se marca una caída durante los meses de febrero y abril, debido posiblemente al efecto de la temperatura. En el caso del tratamiento con excretas de borrego, se observó un aumento drástico en los meses de diciembre a enero, para empezar a disminuir posteriormente hasta alcanzar un mínimo en abril y de ahí incrementarse durante los meses de mayo, junio y julio. En los estanques tratados con excretas de cerdo, se vio una clara caída a partir de diciembre, para lograr un mínimo a principios de febrero y aumentar gradualmente a partir de este mes para alcanzar un pico en junio y una disminución al final de la cosecha.

El incremento tan marcado al inicio del experimento con estos dos tratamientos pudiera deberse a la forma en que fueron preparados los estanques antes de comenzar el estudio, ya que en ellos se aplicó una base de excremento seco, dejándolo por un tiempo, para después llevarlos hasta su nivel normal. Esta acción permitió que los estanques actuaran como un gigantesco biodigestor en donde la materia orgánica fue degradada, liberando grandes cantidades de nutrimentos y puesto que la temperatura aún no disminuía considerablemente, se propiciaron las condiciones adecuadas para el establecimiento y florecimiento de grandes masas de fitoplancton, principalmente de clorofitas, las que después de un tiempo consumieron los nutrimentos disponibles y las bajas temperaturas del agua, redujeron su abundancia.

Figura 4.  
Variación estacional de la abundancia total del fitoplancton con respecto al tiempo.



Algo parecido sucedió en el bloque de estanques fertilizados con granulado de urea y fórmula compleja, aunque el efecto fue menos marcado al inicio, ya que en este caso el tratamiento preliminar fue diferente, por lo que los nutrientes estuvieron más limitados; no obstante, fue notorio el efecto de la baja temperatura sobre la abundancia total del fitoplancton.

Las especies del fitoplancton sufrieron también cambios en su abundancia, siendo algunos géneros dominantes unos meses y otros durante periodos de tiempo cortos, como fue el caso de *Mallomonas sp.*, *Staurastrum sp.*, *Euglena sp.*, *Anabaena sp.* y *Microcystis sp.* entre otros géneros. Algunos de ellos dominan en el verano, otros en el otoño y otros en la primavera (Boyd, 1979). En este estudio las especies dominantes en cada tratamiento durante los siete meses del muestreo estuvieron representadas por diez géneros en el tratamiento con excretas de borrego: *Oscillatoria sp.*, *Elakathorix sp.*, *Monoraphidium sp.*, *Oocystis sp.*, *Scenedesmus bijuga*, *Serhoederia seingeri*, *Sphaerocystis sp.*, *Cyclotella meneghiniana* y *Nitzschia sp.* y en el de urea más complejo con cinco géneros: *Monoraphidium sp.*, *Oocystis sp.*, *Scenedesmus bijuga*, *Cyclotella meneghiniana* y *Nitzschia sp.*

La complejidad química del agua pudiera ser ocasionada por la secreción o excreción de sustancias de la sucesión de especies, así como por una elevada disponibilidad de nutrientes que son seleccionados por las especies participantes, las cuales aumentan sus requerimientos y establecen relaciones muy complejas y difíciles de explicar.

Los datos expresaron diferencias claras en el índice de diversidad entre los estanques de cada bloque de tratamientos y distintas tendencias entre ellos, de tal manera que en los estanques fertilizados con excretas de borrego hay una tendencia a disminuir la diversidad de diciembre a febrero y un aumento progresivo hasta junio, para caer de nuevo en julio. En el de excretas de cerdo se marcó una caída en febrero y una ligera tendencia al aumento en los meses sucesivos, para caer de nuevo en julio; en el de urea más fórmula compleja, se tuvo una disminución en el mes de abril, un brusco aumento a principios de mayo y una caída progresiva hacia el final del experimento.

Esta tendencia posiblemente signifique los cambios sucesionales de las diferentes especies que integran la fitocenosis, ligada al comportamiento estacional de la temperatura y a la disponibilidad de nutrientes.

El índice de similitud de Sorensen señaló que los núcleos de similitud fueron muy semejantes en los tres tratamientos, lo que permite suponer que no existen diferencias entre las comunidades fitoplanctónicas. Para comprobar tal aseveración se efectuó un análisis de varianza de una sola vía considerando los valores de similitud entre tres grupos: B-U (borrego-urea más compuesto complejo); B-C (borrego-cerdo) y U-C (urea más fórmula compleja-cerdo); resultando negativo y aceptando la hipótesis nula de que  $B-U = B-C = U-C$ , lo que permite confirmar que no hay diferencias significativas en la composición de las comunidades fitoplanctónicas de los estanques cuando se aplican los tres diferentes tipos de fertilizantes y éstas sólo se dan con respecto a la abundancia.

En general los datos indican que los estanques presentan una alta abundancia de fitoplancton que es característica de ambientes eutróficos y de elevada productividad primaria, que favorece el crecimiento de las especies del policultivo y en especial de las filtradoras. Esto se debe a la intensa fertilización a la que estuvieron sometidos los estanques durante todo el experimento y a la consideración de que la comunidad de la fitocenosis no cambia, sólo se presentan cambios en la abundancia y dependen de la naturaleza del tipo de fertilizante aplicado.

## **Bacterias.**

Juegan un papel importante en la cadena alimenticia de detritus, generalmente se les encuentra asociadas a la matriz orgánica o a los fragmentos de plantas en estado de descomposición, ya que del contacto con esta materia toman las fuentes de energía necesarias para producir protefna bacteriana que a su vez sirve de alimento a otros organismos, como los protozoarios. En estos fragmentos se genera una biocenosis y al ser consumidos por los organismos en cultivo les brindan una fuente importante de alimentación, por lo que los desechos en un estanque son comparados con el estómago de los rumiantes, en el cual la actividad microbiana sobre los alimentos ricos en fibra proveen al animal de alimento en forma más asimilable.

Las bacterias suelen constituir del 1 al 5% del peso seco de los detritus y se presentan en agregados, hojuelas, glomérulos y colonias compuestas. Las hojuelas, de 6 a 20  $\mu$  son atrapadas y consumidas por el zooplancton, un gramo de detritus suele contener de 450 a 520 millones de bacterias. Entre más pequeña es la partícula, existe una mayor superficie y consecuentemente mayor cantidad de bacterias se fijan, con lo que aumenta la producción. Cuando los organismos consumen los detritus, en ellos van millones de bacterias que constituyen una importante fuente de proteínas, minerales, lípidos y vitaminas.

Se ha encontrado que en la digestión aeróbica de la materia orgánica, del 20 al 50% del carbón disponible se fija como células bacterianas y el remanente se utiliza para la energía metabólica. También se ha encontrado que para digerir materia orgánica con alto contenido de fibra cruda se requiere más energía que para unidades de carbono de cadena corta y se ha obtenido mayor producción de bacterias en excretas de gallina que en las de vaca.

## **Zooplancton.**

El zooplancton difiere del fitoplancton, en que los organismos de este grupo carecen de pigmentos fotosintéticos y por ello son heterotróficos. En general viven en la zona limnética de los estanques y su tonalidad es transparente o parda. Está generalmente compuesto de diversas especies de protozoarios, rotíferos, cladóceros y copépodos, alimentándose de detritus, bacterias, fitoplancton y otros pequeños organismos.

El zooplancton se alimenta principalmente de fitoplancton o de pequeño bacterioplancton que forman agregados mayores de 20  $\mu$ m. Aunque son importantes en los estanques como alimento para los organismos en cultivo, existen evidencias de que pueden ser suprimidos debido a una elevada densidad de la comunidad fitoplanctónica, causada por una carga fuerte de materia orgánica. Probablemente todos estos organismos son muy importantes como alimento y en especial para los estadíos juveniles. Los estudios sobre los hábitos alimenticios de juveniles y adultos en estanques de cultivo de distintas especies, muestran que casi todas ellas se alimentan del zooplancton durante sus estadíos juveniles hasta que la longitud del cuerpo alcanza los 30 mm. y se desarrollan las estructuras que definen sus hábitos alimenticios adultos, tal es el caso de las carpas chinas que después que alcanzan este tamaño desarrollan las branquiespinas y cambian sus hábitos tróficos (Tabla6)

Tabla 6.  
Cambios en los hábitos alimenticios de carpas juveniles.

ESPECIE LONGITUD (mm)	CARPA PLATEADA <i>H. molitrix</i>	CARPA CAJEZONA <i>A. nábilis</i>	CARPA HERBÍVORA <i>C. idellus</i>	CARPA NEGRA <i>M. pikusa</i>	CARPA COMÚN <i>C. carpio</i>
7.9	rotíferos y nauplios	rotíferos y nauplios	rotíferos y nauplios	rotíferos y nauplios	rotíferos y microcladóceros
10-10.7			microcladóceros	microcladóceros	cladóceros y rotíferos
11-11.5	rotíferos, microcladóceros y copépodos	rotíferos y microcladóceros			cladóceros y chironómidos
12.3-12.5	rotíferos, cladóceros, detritus y fitoplancton	rotíferos, cladóceros, copépodos y macrofitoplancton	cladóceros	cladóceros	cladóceros y bentos
14-15					
15-17	fitoplancton, rotíferos, cladóceros y detritus.	rotíferos, cladóceros, detritus y macrofitoplancton	macrocladóceros y bentos	macrocladóceros y bentos	macrocladóceros y bentos
18-23					
21-23	fitoplancton, rotíferos, cladóceros y detritus.	rotíferos, cladóceros, detritus y macrofitoplancton	macrocladóceros bentos y detritus	macrocladóceros bentos y detritus	macrocladóceros, bentos y detritus
24	fitoplancton más que zooplancton	fitoplancton aumenta	<i>Wolffia</i> sp.	<i>Wolffia</i> sp.	cladóceros y bentos
30	fitoplancton más que zooplancton	fitoplancton aumenta	<i>Wolffia</i> sp.	<i>Wolffia</i> sp.	bentos y detritus de plantas

La importancia del zooplancton radica en que conjuntamente con el fitoplancton, constituye la base de la cadena trófica en los ecosistemas acuáticos. Sirve de alimento a diversos animales lacustres y todos los peces pequeños lo ingieren. Al crecer, muchas especies lo consumen e incluso lo prefieren a otro tipo de alimento bentónico como los insectos o vegetación acuática.

Los principales grupos zooplanctónicos que se encuentran en los estanques son:

a) Protozoarios de vida libre como las amibas, ciliados como *Dinidium* y *Chilodonella* y flagelados o mastigóforos como *Euglena*. Estas últimas por presentar pigmentos fotosintéticos suelen ser clasificadas como vegetales por diversos autores.

b) Rotíferos, que son pequeños animales caracterizados por poseer una corona ciliada y estar provistos de una mastax o aparato masticador, como *Keratella*, *Asplachna*, *Brachionus*, *Synchaeta*, *Filinia* y muchos otros géneros que son comunes en los estanques de México. El promedio de vida de estos organismos no sobrepasa las dos o tres semanas (Huet, 1973). Viven en las zonas ricas en vegetación y en ocasiones suelen ser abundantes en el estanque. Sirven de alimento a los alevines y juveniles.

c) Cladóceros y copépodos, ambos grupos son crustáceos y aportan la mayor biomasa en los estanques; *Cyclops* y *Diaptomus* (copépodos) y *Daphnia*, *Bosmina*, *Moina* y *Chrydorus*

(cladóceros), son algunos ejemplos de las especies que se encuentran en los estanques. Estos dos grupos son los más importantes en estanques con altas tasas de fertilizante y las especies que dominan son *Daphnia pulex* y *D. magna*. En el zooplancton se pueden encontrar larvas nauplio y metanauplio de crustáceos que en esta etapa de su vida son libres nadadores y en estado adulto serán de vida sésil.

El medio acuático influye directamente en el desarrollo y distribución vertical del zooplancton, interviene principalmente la penetración de la luz solar, a la que se debe en gran parte el comportamiento horizontal que sigue un patrón diferente al fitoplancton, ya que con la luz tiende a concentrarse en las capas de agua inferiores a las que llega poca luz, reacción contraria a lo que ocurre con el fitoplancton. En la noche se invierte el proceso y el zooplancton se distribuye en toda la columna de agua. También influye el oxígeno disuelto que determina la cantidad y calidad del zooplancton; se ha observado que a concentraciones bajas de oxígeno disuelto predominan los cladóceros y los rotíferos y existe una relación directa entre la abundancia del fitoplancton y el zooplancton (Gómez-Aguirre, et al; 1974).

Muchas especies de crustáceos y rotíferos están adaptadas a vivir en condiciones extremas, como es el caso de *Moina*, *Bosmina*, *Daphnia* y *Cyclops*, cuyas características de adaptabilidad se manifiestan a través de una rápida reproducción. Los cladóceros y copépodos siguen distintos caminos en su ciclo de vida y forma de reproducción. Los cladóceros se reproducen por partenogénesis en condiciones normales, es decir las hembras no necesitan de los machos para la fecundación de los óvulos, los cuales se desarrollan en una cámara de cría que es un espacio entre el cuerpo y el caparazón que envuelve a la madre. El desarrollo es directo y no hay etapa larvaria. Los machos rara vez aparecen, a menos que se presenten condiciones desfavorables en el medio. En este caso los huevos sí son fecundados y se llaman epifios, poseen una capa resistente y sobreviven a la desecación.

En el caso de los copépodos, el macho fecunda los óvulos de las hembras, las cuales pueden almacenar esperma y fertilizar varias puestas de huevos. Los copépodos sí presentan desarrollo larvario, siendo el primer estadio la larva nauplio que también es común en otros tipos de crustáceos y es de vida libre nadadora.

Las características químicas del agua influyen en la distribución y desarrollo del zooplancton, existiendo especies adaptadas a vivir en aguas ácidas como *Collotheca tenuilobata* que es un rotífero que habita en aguas con un ph de 4.1 a 7.5. Otro caso es el copépodo *Hemidiapturus amblyodon* que puede vivir en aguas ácidas o alcalinas. *Keratella cochlearis*, *Brachionus sp.* y otras especies de tricópteros (rotíferos) son típicos de ambientes eutróficos con un ph alcalino. El crustáceo *Artemia sp.*, sólo se desarrolla en aguas con un alto grado de salinidad y distintas especies de *Daphnia* y *Moina* pueden vivir en aguas alcalinas.

El zooplancton que vive en las orillas de los estanques está constituido por individuos voluminosos que no presentan movimiento y que se sumergen en el fondo. Mientras que el zooplancton que vive lejos de las orillas, se caracteriza por presentar formas flotantes y transparentes, nadan activamente y son llevados por las corrientes.

Como alimento el zooplancton tiene un alto valor nutritivo y su porcentaje de proteína es de 46% como peso seco, 6% de grasas, 23% de carbohidratos y 25% de cenizas.

Las comunidades del zooplancton de los estanques de aguas cálidas, pueden diferir marcadamente debido a las diferencias en la calidad del agua. Además, las comunidades que integran el zooplancton son altamente sensitivas a los fertilizantes y al uso de agentes químicos como los pesticidas y herbicidas entre otros biocidas. Como resultado de los ciclos de vida los patrones de sucesión, puede ser acelerados o retardados y algunas veces las poblaciones cambian drásticamente en cuestión de días.

Los acuicultores por esta razón tienen que tomar en cuenta la dinámica del zooplancton, así como los ciclos de las bacterias, protozoarios y fitoplancton, que constituyen el alimento primario del zooplancton, ya que éste es importante para el cultivo de especies zooplancófagas. Los factores ambientales como la temperatura y el fotoperiodo, así como los factores biológicos, tales como la depredación, competencia, cantidad y calidad del alimento, pueden afectar la dinámica de la comunidad zooplancónica (Schwartz y Ballinger, 1980).

#### Conducta y variación estacional del zooplancton.

A continuación se presenta un ejemplo de un estudio realizado en una granja de Texas (Possum Kingdon), para explicar y ejemplificar la sucesión.

En este caso se emplearon cuatro estanques de tierra previamente secados, con un área de 0.24 a 0.38 ha, que fueron llenados con agua filtrada para prevenir la introducción de peces silvestres. Todos los estanques recibieron un tratamiento inicial con fertilizante orgánico (450 kg/ha de desperdicios secos de cacahuete y 56 kg/ha de harina de semilla de algodón) y fertilizante inorgánico granular (56 kg/ha de 18:46:0 o fosfato diamónico) al llenado. De 10 a 17 días después del llenado se aplicaron 34 kg/ha de harina de semilla de algodón y 28 kg/ha de fosfato de amonio. La cantidad promedio aplicada de fertilizante orgánico fue de 576 kg/ha y de 112 kg/ha la de fertilizante inorgánico.

Los organismos fueron identificados taxonómicamente y expresados como número de cladóceros (*Bosmina* o *Daphnia*) y copépodos nauplio y adultos por litro.

La calidad del agua varió muy poco en los estanques durante el periodo de muestreo. El oxígeno disuelto promedio fue de 5.8 mg/l  $\pm$  1.2 mg/l y se encontró en un intervalo de 4.0 a 8.7 mg/l. La temperatura promedio fue de 20.3 °C  $\pm$  3.2 °C y fluctuó en un intervalo de 13.3 °C a 26.0 °C. La dureza promedio fue de 373 mg/l como carbonato de calcio y una salinidad media que fue de 0.82 p.p. mil.

Las poblaciones de copépodos en los estanques fertilizados consistieron primariamente de calanoides y especies de ciclopoideos y los cladóceros dominantes fueron *Bosmina* y *Daphnia*. Los patrones de sucesión de estos grupos difirieron grandemente; *Bosmina* alcanzó las máximas densidades en el día 15, copépodos nauplio y adultos el día 26 y *Daphnia* en el día 30 (Figura 5), los bosmínidos tienen las densidades medias más altas, seguidos por los copépodos adultos (Tabla 7). Las poblaciones de copépodos adultos y nauplios declinan rápidamente 6 días después del establecimiento de sus máximas densidades, mientras que las de *Daphnia* y *Bosmina* declinan 7 días después del establecimiento de sus máximas densidades (Tabla 7, figura 5).

Figura 5.  
Variación estacional de los principales grupos de organismos del zooplancton en los estanques.

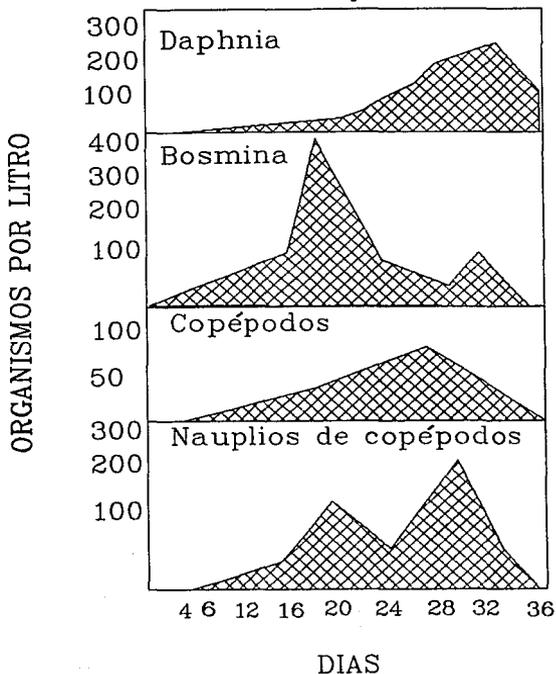


Tabla 7.

Número promedio de días (SD; intervalo en paréntesis) requeridos para alcanzar la máxima densidad de zooplancton (número de organismos por litro en el estanque).

TAXA	DIAS PARA ALCANZAR LA MÁXIMA DENSIDAD	DENSIDAD MÁXIMA (No/l)	DIAS PARA LA DISMINUCIÓN DESPUÉS DE LA MÁX. DENSIDAD
Copépodos	25.5+1.9	265+181.7	6.3+3.6
Nauplios	(22-26)	(150-580)	(3-11)
Adultos	33.5+1.7	90+78.4	5.3+2.1
Daphnia	(22-26)	(60-230)	(3-8)
	30.5+3.9	257+-68.5	7.3+-1.3
	(30-36)	(180-340)	(7-9)
Bosmina	15.3+-6.1	400+-398.7	7.3+-0.5
	(15-19)	(90-1090)	(7-11)

La visibilidad del disco de Secchi ha sido empleada para dar una estimación aproximada de la abundancia del fitoplancton en estanques de cultivo (Barica, 1975; Almazan and Boyd, 1978). La abundancia de *Daphnia* y su declinación estuvieron también estrechamente ligadas a las mediciones del disco de Secchi y presumiblemente a los niveles de fitoplancton. La transparencia permaneció igualmente constante (52-56 cm), del día 12 hasta el día 24 después del llenado, incrementándose posteriormente. Las poblaciones de *Daphnia* retardan los niveles de fitoplancton, llegando a su punto máximo el día 30 y entonces declina rápidamente.

La continua presión ejercida por los organismos filtradores como la *Daphnia* y otras especies de zooplancton resultan en una disminución de la comunidad fitoplanctónica a un nivel tal que está por debajo del requerido para mantener el desarrollo del zooplancton (Heisig, 1979; Smith and Cooper, 1982; Geiger, 1983). Recursos alimenticios adicionales, tales como las bacterias, protozoarios y pequeñas partículas de detritus podrían ser sustituido cuando el fitoplancton disminuye rápidamente, pero éstas no estuvieron disponibles con las tasas y tipos de fertilizantes empleados durante este estudio.

Los resultados sugieren que el tiempo óptimo para la introducción de los peces en los estanques, es de 16 días después de llenados, ya que en este momento, tanto el fitoplancton como el zooplancton están en los niveles adecuados.

### III. MACROFITAS ACUATICAS.

Las macrofitas acuáticas constituyen un recurso que hasta la fecha ha sido casi o totalmente sub-utilizado. El crecimiento prolífico de varias especies de estas plantas en ciertos cuerpos de agua epicontinentales, fuera de representar ventajas para su utilización, actualmente constituyen serios problemas y cuando llegan a invadir totalmente el embalse o amenazan con hacerlo, se le da el nombre de malezas.

A continuación se presenta un extracto del trabajo presentado por Arrevillaga y Arrendondo, cuyo título es "Una revisión sobre el potencial de las macrofitas acuáticas en la acuacultura" publicado en Universidad y Ciencia, Vol. 4, No. 4, No. 8, 1987, pp. 55-67.

**Generalidades.**

No existe una estricta definición del término macrofitas acuáticas, puesto que, ciertas plantas se desarrollan en la zona de transición entre los ambientes terrestres y acuáticos o bien en zonas inundadas durante ciertas épocas del año, por lo que se consideran plantas acuáticas aquellas que crecen asociadas a los ambientes acuáticos o que al menos están presentes en suelos que están cubiertos con agua, durante la mayor parte de la temporada de crecimiento.

Debido a los efectos adversos del crecimiento exagerado de las macrofitas acuáticas se ha generado gran cantidad de información sobre su control, pero con especial énfasis en su erradicación. Esto conduce a una paradoja ya que en muchos países en vías de desarrollo, al utilizar estas plantas como alimento, cambiaría el problema de las malezas al de una excelente cosecha altamente productiva que no requiere de un conjunto de tareas agrícolas arduas, ni la compra de insumos como semillas y fertilizantes (Boyd, 1978).

Dentro de las macrofitas acuáticas destacan las pertenecientes a la familia lemnaceae, que comprende a cerca de 35 especies en cuatro géneros: *Spirodella*, *Lemna*, *Wolffia* y *Wolffia sp.* Estas plantas son consumidas ávidamente por las aves domésticas y silvestres, peces y mamíferos incluyendo al hombre. Además, son las plantas de más rápido crecimiento en todo el mundo ya que duplican frecuentemente su biomasa en 2 ó 3 días bajo condiciones óptimas. Sus características químicas son excelentes, ya que contienen los aminoácidos esenciales y más del 43% de proteína cruda en base seca.

En términos generales se puede señalar que las lemnáceas poseen cuatro características que las colocan con un gran potencial para usarlas en sistemas acuaculturales, tratamientos de desechos orgánicos y producción de alimentos para animales y humanos.

1.- En primer lugar su reproducción es vegetativa, por lo que cada individuo que corresponde a una pequeña fronda, produce cerca de 20 frondas hijas durante su tiempo de vida. Cada hija repite la historia de la fronda madre, lo que resulta en un crecimiento exponencial que está limitado al hacinamiento o la escasez de nutrimentos. La remoción de plantas facilita la contaminación del crecimiento exponencial. Su elevado rendimiento está relacionado con su corto ciclo de vida que es semejante al de las microalgas. Una fronda de una lemnácea vive cerca de cuatro semanas, produce frondas hijas y finalmente decae y muere en aproximadamente dos semanas, por lo tanto, el período de vida de una generación de frondas es de aproximadamente seis semanas (Rejmankova, 1978 y Culley et al., 1981).

2.- No presentan tejidos leñosos por lo que se reducen todas las estructuras esenciales de una sola fronda.

3.- Responden ávidamente a la aplicación de nutrimentos, transformando estos materiales en tejido comestible de alta calidad alimenticia.

4.- Las frondas no permanecen unidas indefinidamente y se rompen en colonias representando pocas generaciones vegetativas que mantienen una relación constante con la superficie del agua.

Rejmankova (1978), señala que las lemnáceas han sido estudiadas por cuatro motivos principales: como un medio potencial para reducir la concentración de nutrientes inorgánicos y la contaminación orgánica en aguas de desecho; como una fuente alterna de alimento animal; como indicador biológico de la calidad del agua y como un material modelo en el estudio de poblaciones vegetales.

### **Composición química y valor alimenticio.**

#### **Humedad.**

En este aspecto, lo primero que se observa es que las macrofitas acuáticas tienen altos contenidos de agua, lo que presenta inconvenientes tanto en la cosecha como en la utilización, (Boyd, 1968) encontró que el contenido de agua de 12 especies de plantas sumergidas varía entre 84.2 y 94.8 % y de 19 especies emergentes entre 76.1 y 89.7%. El mismo autor en un trabajo posterior (Boyd, 1969), indica que debido al bajo porcentaje de materia seca, las plantas acuáticas deben ser secadas antes de usarse como alimento. (Tan, 1970), realizó un análisis proximal comparativo entre macrofitas acuáticas, pastos terrestres

y tubérculos para evaluar su potencialidad en la alimentación de la carpa herbívora. El trabajo revela que las plantas acuáticas contienen 88.46% de humedad, mientras que los tubérculos y pastos contienen sólo 75.78 y 62.52% respectivamente; si se asume que los pastos terrestres contienen 80% de humedad y las macrofitas acuáticas 92% , entonces se requerirá de 2.5 veces más macrofitas acuáticas para obtener la misma cantidad de materia seca (Edwards, 1980).

#### **Contenido proteico.**

El componente más importante desde el punto de vista nutricional, para evaluar las macrofitas acuáticas es el contenido proteico. La composición de aminoácidos de 11 especies de plantas acuáticas no difiere grandemente, por lo que se establece que la concentración de proteína pura es un buen estimador del contenido proteico (Polisini y Boyd, 1972).

Todas las lemnáceas poseen proteína de alta calidad. La baja concentración de algunos aminoácidos, especialmente lisina y metionina (0.3 a 3% de proteína pura), limitan el valor de la proteína de la planta en la alimentación de ciertos animales, requiriéndose adicionar proteína de la planta en la alimentación de ciertos animales, requiriéndose adicionar proteína animal para balancear la dieta. La composición porcentual de aminoácidos es muy similar entre los diferentes clones de una misma especie, pero todos los aminoácidos esenciales están presentes (Culley et al., 1981).

El contenido de proteína total en lemnáceas varía entre 16.2 y 25.7% en base seca, aún cuando la composición de aminoácidos es esencialmente la misma. Los niveles de lisina y metionina son comparables a los encontrados en productos animales como leche y queso (Porath et al., 1979).

#### **Fibra cruda.**

La concentración de fibra es otro factor importante en la selección de materiales de forraje, puesto que va muy relacionada con la digestibilidad del alimento. Las macrofitas acuáticas en general tienen poca fibra (Boyd, 1987). Una evaluación comparativa realizada por (Tan, 1970), en *Lemna sp.* y *Hidrilla sp.*, reportó contenidos de fibra menores que los pastos terrestres tradicionales como el *Naiper* y *Guinea*. El contenido de ceniza de éstas, fue menor que los pastos, al igual que lo es para *Salvinia molesta* (Moozhiiyl y Pallauf, 1986). Polisini y Boyd (1972), analizaron 16 especies con esta técnica, concluyendo que las plantas emergentes por tener una estructura más rígida poseen más componentes de la pared celular que las flotantes y éstas más que las sumergidas. La porción identificada como carbohidratos residuales debe estar formada por taninos y pectina. *Salvinia sp.* es rica en carbohidratos estructurales y el contenido de lignina es alto (13.7%), por lo que los rumiantes difícilmente lo digieren, pero los taninos en esta planta son bajos (1%), por lo que no actúan como factores antinutricionales (Moozhiiyl y Pallauf, 1986).

#### **Micro y Macronutrientes.**

Existen varios factores que determinan las variaciones en la composición química de las plantas, los principales son: la parte de la planta que se analiza (tallo, hoja, raíz, etc.), grado de madurez (la concentración de proteína decrece con la edad de la planta y el contenido de taninos y fibra aumentan), localización en el cuerpo de agua (rivera, centro, etc.), calidad de agua y algunos factores ambientales como la luz y temperatura. Los diferentes habitats pueden de alguna manera correlacionarse con la cantidad de fibra

presente en la planta; el agua sostiene el peso de la planta sumergida por lo que no desarrollan tallos muy fibrosos para soporte, como en el caso de las especies emergentes. Las formas flotantes tienen menos fibra que la mayoría de las emergentes pero más que las sumergidas. Además, existe una estrecha relación entre la concentración de un determinado alimento en el agua y en la planta. Generalmente, los niveles de nitrógeno y sodio son mayores en plantas sumergidas y de hojas flotantes que en las emergentes (Boyd, 1968, 1969 y 1978).

Por otro lado, las variaciones en la concentración de un mineral en particular, son debidas a factores como la edad de la población, concentración del mineral en el ambiente, interacción de otros minerales en el proceso de absorción del que analiza, intensidad de la luz, residuos pegados a la planta y errores en los procesos de análisis (Boyd, 1968b).

En general, las plantas sumergidas contienen más ceniza que las flotantes y éstas más que las emergentes y la vegetación marginal. Respecto al nitrógeno las plantas sumergidas contienen del 3 al 4%, mientras que las emergentes tienen menos del 2.5%. El contenido calórico de la planta decrece abruptamente con los incrementos en los niveles de cenizas. Boyd (1978), presenta la composición de micro y macronutrientes reportando valores de ceniza, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio y sodio para 20 especies que se muestran resumidas en la tabla 8.

Tabla 8.  
Contenido de macronutrientes encontrados en 20 plantas acuáticas de acuerdo con Boyd (1978).

ELEMENTO	CONCENTRACION (% EN BASE SECA)
Potasio (K*)	1-6
Sodio (Na*)	0.5
Cinclo (Cu**)	1-3
Magnesio (Mg**)	0.7

La concentración de N, P y K en *Salvinia molesta*, colectadas en aguas contaminadas con desechos orgánicos fue de 6, 36 y 17 veces mayor respectivamente, que los valores observados en plantas que habitan en ambientes naturales. La máxima concentración de N y P se encontró en *Salvinia sp.*, proveniente de una laguna abastecida con afluentes animales. Se ha encontrado una alta correlación múltiple entre la concentración de nitrógeno en la planta, la temperatura, la precipitación pluvial y el daño provocado a la planta por un gorgojo y nuevamente la concentración de N en hojas, raíces y rizomas decreció con la edad de la planta (Room y Thomas, 1986).

El sabor, el olor y otras características físicas, son aspectos importantes a tomar en cuenta al usar macrofitas acuáticas en la dieta (las sustancias vegetales solubles en químicos tienen baja palatabilidad y reducen la digestibilidad de proteínas).

La concentración de fósforo y nitrógeno en el tejido de las lemnáceas, depende de la cantidad de estos elementos en el agua hasta el umbral de concentración que no ha sido claramente definido, pero que parece estar entre 4 y 8 mg/l de nitrógeno y fósforo

respectivamente. El contenido de nitrógeno en las lemnáceas creciendo en varias soluciones nutritivas varía entre 1-7% (base seca), dando una variación entre 7 y 45% de proteína, dependiendo de la disponibilidad de nitrógeno. Las lemnáceas prefieren el nitrógeno amoniacal al nitrógeno en forma de nitratos y se ha demostrado que se alcanzan mayores tasas de crecimiento con amonio como fuente de nitrógeno. Además, las plantas crecidas con amonio contienen concentraciones más altas de compuestos secos en nitrógeno como argina, aspargena y glutamina, que las que crecen en presencia de nitratos. El fósforo, otro elemento importante en el crecimiento de estas plantas es también tolerado en una amplia variedad de concentraciones (4 a 154 mg/l). El crecimiento de algunas especies se reduce sólo cuando los valores de fósforo caen bajo los 0.017 mg/l en el agua.

Respecto a su contenido mineral se ha indicado que las lemnáceas concentran significativamente varios elementos. Las máximas concentraciones reportadas en base seca para las lemnáceas se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9.  
Contenido de minerales en lemnáceas.

ELEMENTO	CONCENTRACION (MG/L)
Calcio (Ca)	9.836
Magnesio (Mg)	7.819
Sodio (Na)	3.612
Cloro (Cl)	2.675
Titanio (Ti)	1.356
Manganeso (Mn)	1.006

Tomado de Hillman y Culley, 1978.

Estas concentraciones no representan problemas, ya que ninguno de los minerales se encuentra en concentraciones suficientemente altas para ser perjudiciales como alimento animal, particularmente cuando se incorporan como parte de la dieta total (Hillman y Culley, 1978).

#### Importancia de las lemnáceas.

Las macrofitas acuáticas flotantes presentan tres ventajas sobre las sumergidas y emergentes que facilitan su utilización: menor contenido de fibra, facilidad de cultivo y cosecha. Dentro de este grupo destacan especialmente, las pertenecientes a la familia lemnaceae como *Spirodella sp*, *Wolffia sp*, *Lemna gibba* y *L. minor*.

En la Tabla 10, se presentan los resultados del análisis proximal de varias especies flotantes reportados por varios autores.

En resumen, las lemnáceas muestran un excelente potencial para su uso en dietas animales. Por su bajo contenido de fibra (10-20%), la planta puede utilizarse completamente, al contrario de los concentrados de proteína de hoja, que requieren extracción.

Para alimento humano puede usarse en especial si es posible, la proteína extracta si las plantas se cultivan en un medio sanitario estéril (Parath et al., 1979 y Culley et al., 1981).

## Utilización de las macrofitas como alimento para los peces

En las áreas del mundo donde se practica la piscicultura en pequeña escala las lemnáceas pueden cubrir fácil y rápidamente las necesidades de alimento animal.

Existen varias especies de peces que se alimentan de macrofitas acuáticas, por lo que se ha considerado su utilización en sistemas de granjas integrales y como controladores biológicos de estas plantas.

Entre las especies de control biológico tenemos: *Cyprinus carpio* (carpa común); *C. idellus* (carpa herbívora); *Tilapia rendalli*, *T. mossambica*, *T. zilli* y *T. nilotica*. Las plantas más efectivamente controladas por la carpa herbívora son: *Najas guadalupensis*, *Potamogeton diversifolius*, *Elodea densa*, *Chara sp.*, *Spirodela polirhyza*, *Vallisneria americana*, *Hydrilla verticillata*, *Utricularis biflora* y *Pitophara sp.*, también controla aunque en menor grado a: *Alternanthera philoxeroides*, *Myriophyllum brasiliense*, *M. spicatum* y *Eichornia crassipes*. En general se puede señalar que consume mejor las malezas acuáticas sumergidas y flotantes que las emergentes. Por otro lado, *Tilapia zilli* es efectiva para controlar *Chara sp.* y *Najas* marinas (Opuszynski, 1962; Blackburn, 1968; Avault et al., 1968; Sills, 1970; Van Dyke et al., 1984; Weerd, 1985; Saeed y Ziebell, 1986; Martin et al., 1986; Shereman et al., 1986).

Un pez herbívoro debe llenar los siguientes requisitos para emplearlo en el control biológico de malezas acuáticas:

- a) Controlar una amplia variedad de plantas.
- b) No interferir con otras especies de peces.
- c) Ser resistente y manejable.

Tabla 10.  
Análisis proximal de varias especies de macrofitas acuáticas flotantes.

PORCIENTO EN BASE SECA									
ESPECIE	HUMEDAD	PROTEINA	*NTK	GRASA	FIBRA	CENIZA	**ELN	OBSERVACIONES	REF.
<i>Spirodela punctata</i>		10.6 36.8	1.7 5.9	2.3 4.8	11.3 8.7	14.1 15.2	33.2	1	9
<i>Spirodela polyrrhiza</i>		13.1 39.7 40.9	2.1 6.4	2.5 5.3 6.7	16.1 9.3 8.7	13.3 12.8 12.9	31.8	2 2 6	9 9 9
<i>Lemna gibba</i>	84.6	09.4 36.3 38.5 20.2	1.5 5.8	1.8 6.3 3.0 6.7	17.0 10.1 9.4 8.6	16.8 15.5 16.4 23.1	31.1 43.1	1 2 6 7	9 9 16 32
<i>Lemna minor</i>	80.4	17.4 39.0 15.9	2.5	0.7	19.7	11.2 18.7	37.2	7	17 16 5 4
<i>Lemna sp.</i>	94.2	24.4 34.8		26.4	10.4	12.3		7	8 33
<i>Spirodela oligorhiza</i>		32.5 44.7 37.8		6.3 4.6 3.8	13.5 8.3 7.3	20.3 13.4 12.0		5 6 6	16 16 16
<i>Wolffia arhiza</i>		19.8		5.0	13.3	18.3	43.3		2
<i>Wolffia sp.</i>		21.5		5.5	10.6	14.5		7	8
<i>Eichornia cras sipes</i>	10.4 10.5 90.6 94.1 94.1	14.2 14.2 0.8 15.0 16.0 32.1	2.6	3.4 1.3 0.4 3.5 3.4 7.7	20.4 9.4 2.2 28.1 19 1.7 15.9 7.3	27.2 44.6 2.0 19 19 1.7 15.9 7.3	24.6 20.1 3.9 45	3 4 7 7 8	12 12 17 6 6 5 18
<i>Azolla pinnata</i>		27.0		3.2	9.1	10.5			25
<i>Pistia stratiotes</i>	94.1 94.1 91.0	12.4 14.0 30.5		4.0 3.9 9.5	26.5 9.1	20.1 2.2 18.9	24.9	7 7 7	6 8 32
<i>Salvinia molesta</i>	92.2	12.4		2.8	35.2	17.3	32.2		20

\* NTK=nitrógeno total por Kjeldhal

\*\*ELN=extracto libre de nitrógeno

#### Observaciones.

1. Aguas con pocos nutrientes (menos de 5 mg/l NTK)
2. Aguas ricas en nutrientes (más de 30 mg/l NTK9)
3. Harina de hoja
4. Harina de composta
5. Laguna de tratamiento de agua
6. Laguna con cerdaza
7. Plantas colectadas en el ambiente natural
8. Concentrado proteico

### Referencias.

9. Culley et al., 1981
12. Edwards et al., 1985
17. Juárez Palacios et al., 1981
25. Pullin y Almazán, 1983
16. Hillman y Culley, 1978
8. Boyd y McGinty, 1981
6. Boyd, 1969
20. Moozhivil y Pallauf, 1986
5. Boyd, 1968b
4. Boyd, 1968a
32. Tan, 1970
2. Bhanumnauin y McGarry, 1971
33. Van Dyke y Sutton, 1977
18. Liang y Lowell, 1971

En el caso de la carpa herbívora, los dientes faríngeos le facilitan macerar y cortar el material vegetal. Además, puesto que sólo el 65% del alimento consumido es asimilado, el resto fertiliza el agua como abono verde (George, 1986).

La introducción de la carpa herbívora como controlador biológico en los Estados Unidos, ha provocado una considerable controversia. Los que apoyan la siembra de carpas dicen que los peces logran un control económico de poco impacto ambiental; los que se oponen sugieren que el posible escape y reproducción resultaría en un impacto negativo sobre la biocenosis. Tanto la carpa común, como la herbívora son especies recomendables para el control biológico. La herbívora es efectiva sobre ciertas plantas y la común puede controlar *Phitophora* y ciertas algas; aparentemente ninguna de las dos carpas es la respuesta completa al problema y cada una representa inconvenientes; la carpa común por sus hábitos alimenticios enturbia mucho el agua y la herbívora si no es introducida cuidadosamente puede desplazar algunas especies nativas.

La relación entre las macrofitas acuáticas y los peces es compleja, puesto que la vegetación además de ser fuente de alimento influye fuertemente en los parámetros físico-químicos del ambiente acuático. Además para utilizar efectivamente un pez herbívoro para cosecharlas, ya sea en sistemas de cultivo integral. Macrofitas acuáticas-pez herbívoro, o para controlar malezas, es necesario entender sus hábitos alimenticios y su eficiencia. Como se señaló anteriormente, los peces presentan preferencia sobre las plantas que consumen y éstas pueden cambiar con la edad del pez. También influyen la temperatura, el ph y la densidad de siembra. La tasa de consumo siempre es alta con valores de 100 a 170% del peso corporal).

Uno de los principales obstáculos para el desarrollo de la acuicultura en los países del tercer mundo es la escasez y costo de alimentos suplementarios, por los que existe la necesidad de evaluar el potencial de insumos no convencionales para la alimentación de peces como las macrofitas acuáticas (Edwards et al., 1983, 1985).

Las excretas de la carpa herbívora cuando es alimentada con plantas acuáticas funciona como fertilizante en el agua provocando un gran crecimiento de plancton. Además, algunas excretas son consumidas directamente por otros peces.

Otra forma de proporcionar plantas acuáticas a los peces es como compostas. Edwards y colaboradores (1985), evaluaron el lirio acuático seco y en compostas como alimento de tilapia en varias proporciones de la dieta, según los resultados las dietas se clasificaron en tres grupos:

Respuestas bajas 100% de composta.

Respuesta intermedia 100% y 75% de lirio seco.

Respuesta alto control 75, 50 y 25% de composta y dieta.

La mejor tasa de eficiencia proteica (2.83), se logró con una dieta del 100% de lirio seco y la peor (1.21), fue en la dieta control. Los autores concluyen que se puede sustituir hasta el 75% de las dietas tradicionales con lirio composteado, sin reducción significativa del crecimiento. Los peces crecieron más con compostas que con lirio seco probablemente porque el primero contiene menos fibra cruda. Se señaló que una parte importante de la nutrición de los peces se obtiene a través del alimento natural del agua.

En las Tablas 11 y 12 se muestran los experimentos realizados por diferentes autores que evalúan el crecimiento de los peces y consumo de macrofitas por los mismos.

Tabla 11.  
Experimentos que evalúan el crecimiento de peces alimentados con macrofitas acuáticas.

PEZ	DIETA	CRECIMIENTO (g/día)	CONVERSION ALIMENTICIA	REFERENCIA
<i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Lemna gibba</i>	0.9	42:1	Galgher et al., 1984
	<i>Lemna</i> + petelizado	2.5	117:1	
<i>C. idellus</i>	alfalfa	1.12	23:1	Juárez-Palacios et al., 1981
	<i>E. pectinatus</i>	1.52	63:1	
	<i>Lemna minor</i>	0.83	50:1	
	<i>E. crassipes</i>	0.61	66:1	
	Balanceado	0.48	6:1	
<i>C. idellus</i>	<i>Hydrilla</i> sp.	9.54		Tau, 1970
	Pasta napier	8.01		
	Tapioca	2.38		
Policultivo				
<i>C. idellus</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	4.0		Naskar et al., 1986
<i>H. molitrix</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	2.4		
<i>C. carpio</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	2.0		
<i>E. japonicus</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	1.3		
<i>L. rohita</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	3.0		
<i>C. preata</i>	<i>Wolffia arrhiza</i>	2.15		

Tabla 12.  
Experimentos que evalúan el consumo de macrofitas acuáticas por los peces

PEZ	DIETA	(G/PEZ/DIA)	% DE PESO	REFERENCIAS
C. idellus	Lemna sp.	10.4	17	Shireman et al., 1983
	Hydrilla sp.	30.0	49	
	Chara sp.	50.4	83	
C. idellus	E. canadensis		42	Wiley et al., 1986
	N. flexilis		41	
	N. minor		38	
	Chara sp.		36	
Híbrido:				
C. idellus	Lemna sp.	4.8	14	Shireman et al., 1983
A. nobilis	Hydrilla sp.	8.8	32	
	Chara sp.	21.8	36	
C. idellus	N. flexilis		27	Wiley et al., 1986
C. molitrix	E. pectinatus		23	
	E. crispus		20	
	N. minor		19	
T. zillii	Chara sp.	14.8	79	Saeed y Ziebell, 1986
	N. marina	11.6	67	
	E. densa	4.9	24	
	N. exalbescentes	2.9	16	

### Producción y cultivo.

El cultivo de macrofitas acuáticas es uno de los campos más nuevos y comprometedores en la acuicultura ya que presenta ventajas en este aspecto. El cultivo de lirio (*Eichornia crassipes*), se realiza fácilmente si se utilizan cajas de malla en las que la biomasa del cultivo puede ser controlada periódicamente con sólo extraerlas, escurrirlas y pesarlas. La biomasa producida entonces, es cosechada y únicamente se deja en la caja una cantidad suficiente ( $10 \text{ kg/m}^2$ ) para reiniciar el cultivo (Hanisak, 1980). Las lemnáceas, por su naturaleza de flotación libre, permiten pesar una misma población de plantas varias veces, lo que es una ventaja técnica sobre otras plantas cultivadas (Parath et al., 1979).

El transporte y procesamiento de macrofitas acuáticas puede resultar costoso. El lirio acuático por ejemplo, debe ser movilizad en equipo pesado y cortado en pequeños trozos para facilitar su manejo. En contraste las lemnáceas fluyen en el agua y son lo suficientemente pequeñas para ser bombeadas a través de tubos y no requieren cortarse en pedazos para compactarse bien.

Se calcula una tasa de remoción diaria de nitrógeno de  $2 \text{ kg/ha/día}$  con crecimientos relativos por cosecha de  $3.5 \text{ g/m}^2/\text{día}$  en lemnáceas empleadas en el tratamiento de desechos (Culley et al., 1981).

En estas plantas la productividad neta generalmente se expresa en  $\text{g/m}^2$ . Las macrofitas acuáticas en general alcanzan valores de  $1,276 \text{ g/m}^2$  y  $14.6 \text{ g/m}^2/\text{día}$  (Boyd, 1978). Otros reportes indican valores de  $100 \text{ g/m}^2$  de producción primaria total (Boyd, 1968b). Bhanthumnavin y Mc. Garry (1971), reportan reproducciones de *Wolffia arrhiza* en estanques sin fertilización de  $0.68 \text{ g/m}^2/\text{semana}$ . Este valor extrapolado a 9 meses de crecimiento en Tailandia equivale a una producción anual de  $265 \text{ ton/ha}$  en peso seco.

#### IV. LOS FERTILIZANTES.

##### Tipos de fertilizantes.

Básicamente se pueden reconocer dos tipos de fertilizantes: orgánicos y químicos o minerales. Los primeros están compuestos de desechos animales o vegetales, como son las excretas de animales de granja (gallinaza, borregaza, cerdaza, vacaza, etc.), los esquilmos o desechos agrícolas, el tsaao y el dacao, que se utilizan en los países del sureste asiático. El fertilizante orgánico, a su vez, puede ser aplicado de dos maneras: directamente en forma fresca o seca, o bien en forma procesada como biabono líquido o en forma de compostas aeróbicas o anaeróbicas.

En lo que respecta a los fertilizantes químicos o minerales, estos compuestos son prácticamente los mismos que se utilizan en la agricultura y parten de la base de que sus componentes principales son el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y en su presentación se indican los porcentajes del peso de estos elementos en el compuesto. Estos se presentan en dos formas: granular o líquida como es el caso de la urea, fórmula compleja, superfosfato triple y el amonio líquido.

##### Fertilizantes o abonos orgánicos.

Desde el punto de vista práctico los fertilizantes orgánicos tienen las ventajas siguientes:

a) Contienen casi todas las sustancias nutritivas indispensables para mantener la productividad de los estanques, favoreciendo el establecimiento de bacterias, con el consecuente estímulo del desarrollo del zooplancton.

b) La mayoría de los excrementos animales contienen compuestos como en N, P y K, así como materia orgánica y micro elementos como el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$ , y el  $\text{Mg}^{++}$ .

c) Su costo es relativamente bajo y éste depende fundamentalmente de la disponibilidad a nivel regional.

Las desventajas son:

a) El abono orgánico al descomponerse, consume una gran cantidad de oxígeno y produce anaeróticamente productos tales como el bióxido de carbono, amonio y el sulfuro de hidrógeno y aeróticamente, dióxido de carbono, nitratos y ácido sulfúrico, lo que puede poner en peligro la vida de los organismos bajo cultivo, cuando se aplican en exceso.

b) Estimula el crecimiento y desarrollo de algas filamentosas, que al proliferar limitan y ocultan el efecto de los fertilizantes y consecuentemente la productividad del estanque.

c) Las cantidades porcentuales de C:N:P, son muy variables y dependen del tipo de abono de que se trate, por lo que es difícil conocer con exactitud la cantidad que se necesita agregar a un estanque.

### **Tatsao o Dacao.**

En esta parte destaca por su importancia una técnica que es utilizada comúnmente en la República Popular China, conocida como el tatsao o dacao y que consiste en aplicar en los estanques plantas en forma fresca y recién cortadas y que al descomponerse estimulan el crecimiento del fitoplancton.

Todas estas plantas pertenecen a la familia del *Crysantemum* y no deben de ser tóxicas, ya que si se aplica una planta que contenga elementos nocivos se provocará una mortandad masiva de organismos.

Cuando no se dispone de otro tipo de abono, lo que se sugiere es colectar estas plantas alrededor de donde se asientan los estanques, cortarlas y aplicarlas en una esquina, tratando de formar una palizada para evitar que éstas se dispersen por acción del viento.

Esto se debe de realizar siete días antes de que se introduzcan las primeras crías y pasando este periodo, continuar con la aplicación del mismo en forma frecuente; para mejorar el proceso de biodegradación, es necesario remover cada dos o tres días el tatsao. La cantidad que generalmente se aplica va de 2,250 a 3,000 kilogramos por hectárea. Es importante monitorear constantemente la fertilidad del estanque y observar la conducta de los organismos en cultivo, sobre todo al amanecer, cuando los niveles de oxígeno disuelto se vuelven críticos en el sistema. En forma práctica, si el oxígeno disuelto se encuentra por abajo del 1 mg/l, se debe suspender la aplicación del tatsao, extraer el material orgánico y hacer un recambio de agua, de tal manera que se mejore la calidad y de este modo se evite una mortalidad masiva.

En países como la República Popular China, se requieren de 22.5 a 30.0 toneladas de tatsao en 20 días, para cultivar crías de carpa plateada y cabezona, lo que significa una fuerte cantidad de vegetales que pueden en algunos casos ocasionar problemas en la calidad del agua o en el desarrollo de insectos dañinos.

Cuando el tatsao se aplica con una frecuencia de dos a tres días, se ha encontrado que el fósforo total se incrementa de 0.03 a 0.15 mg/l; los niveles de nitrógeno total de 0.19 a 0.9 mg/l y a lo largo de ocho días los nutrimentos aumentan, pero los niveles de oxígeno disminuyen. Cuando se hace una adecuada administración del tatsao, se evitan las caídas bruscas de oxígeno líquido disuelto y éste se mantiene al amanecer en un nivel de 2 mg/l, que se considera óptimo para el cultivo.

Se recomienda en este caso particular mantener un monitoreo continuo al amanecer y llevar a cabo un registro diario de la transparencia del disco de Secchi, para precisar el momento adecuado en el que hay que aplicar más tatsao.

### **Excretas animales.**

Entre los fertilizantes orgánicos más utilizados en la acuicultura, se encuentran los excrementos de animales, que representan una alternativa para reducir los costos de producción, sin alterar las formas convencionales de cultivo intensivo o semi-intensivo, ya que se obtienen producciones tan altas como aquellas alcanzadas con el uso de fertilizantes químicos y que además representan una buena probabilidad para los países como México, que no cuentan con grandes recursos económicos.

Tainganides (1978) reportó que los excrementos de animales contienen los nutrimentos mayores (N, P, K), además de otros elementos menores como son el  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$  y el  $\text{Mg}^{++}$ , que provienen del alimento que se les suministra y del cual del 72 al 79% de nitrógeno, del 61 al 87% de fósforo y del 82 al 92 % de potasio, es recuperado en las excretas. En el caso de la orina, ésta comprende el 40% del peso del desecho diario total, con valores más altos de nitrógeno y de potasio que las heces fecales. El fósforo está contenido principalmente en el excremento, excepto en el caso de los cerdos, que arrojan elevadas cantidades en la orina.

La cantidad y calidad de las excretas varía de acuerdo a las especies, tamaño, edad, alimentación, el consumo de agua del organismo, además de las condiciones climáticas del lugar. Aunque la orina contiene menos del 40% del peso total del excremento (sobre la base de peso húmedo), el N y P están más concentrados que en las heces fecales y la orina de los cerdos contiene considerables cantidades de fósforo. Estas características también se ven afectadas por el tipo de manejo que se le da a los desechos.

El nitrógeno se presenta en los desechos en forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$ —y el amoníaco fácilmente se pierde en la atmósfera y el manejo de los mismos puede afectar acelerando las pérdidas de otras especies químicas del mismo. En desechos sólidos, la pérdida por manejo puede ser del 20 al 50% y en líquidos del 25% para sistemas anaeróbicos y el 80% en aeróbicos.

Por lo general, los desechos de cerdos contienen más altos niveles de fósforo que la vacaza. El fósforo está unido a los sólidos y en su manejo las pérdidas son mínimas.

Aunque las vacas lecheras producen más desechos que los cerdos y las gallinas, sobre una base en peso húmedo como un porcentaje del peso total del organismo por día, las gallinas producen mayor cantidad de sólidos totales en sus desechos sobre base seca. En términos de N, P y K los desechos de las gallinas tienen las más altas concentraciones, seguido de los cerdos y las vacas tienen las concentraciones más bajas.

#### a) Cerdaza

Sus desechos incluyen mucha materia orgánica y otros elementos nutricionales como el nitrógeno, fósforo y potasio; es un excremento fino y completo, que contiene una relación C/N de 14/1, más pequeña que otros animales de granjas, por lo que es fácil de degradar. La mayor proporción de nitrógeno se encuentra en la orina en forma de urea. Un cerdo de 50 kg de peso descarga 10 kg por día de excremento, lo que representa aproximadamente el 20% de su peso total y en periodo de cultivo de ocho meses un cerdo libera 1 tonelada de excremento y 1,200 kg de orina.

#### b) Vacaza

La composición del excremento es parecida a la del cerdo pero debido a que son rumiantes, el alimento es masticado repetidamente, de tal forma que el excremento es muy fino y suave. Hay menos nitrógeno en una proporción de C/N de 25/1. La orina contiene más nitrógeno en forma de ácido hipúrico, así que las excretas son más lentas en descomponerse.

El promedio de excretas de una vaca de 500 kg de peso total es de 25 kg al día. La relación de excreta/orina es de 3:2. La cantidad total de excretas producidas en un año es de 9 toneladas.

### c) Gallinaza.

La gallinaza y las excretas de otras aves como patos y gansos, son fáciles de descomponerse y contiene cantidades importantes de ácido úrico, el cual no puede ser absorbido directamente por las plantas. Por esta razón, es mejor usar la fermentada. La cantidad de excretas en un año es de 5 a 7 kg. En el caso de los patos es de 7.5 a 10 kg y en gansos es de 12.5 a 15 kg.

Algunos estudios han demostrado que la velocidad de sedimentación de la vacaza al ser agregada a un estanque es de 2.6 cm/min y la cerdaza de 4.3 cm/min. Si se aplica una misma cantidad de ambos excrementos, el sedimento después de 24 horas contendrá 33% más de cerdaza. En relación a los destritus en suspensión en la columna de agua del estanque, considerando aquéllos de 0.65 en tamaño, para la vacaza es de 33.99 ml/l, que corresponde a 153.4% más alta que la cerdaza y ocupa el 54.6% del total de detritus suspendidos.

### Consideraciones ecológicas.

Los niveles tróficos que se establecen en un estanque bajo condiciones de fertilización orgánica intensiva, son dinámicos y complejos. A una baja densidad, el concepto de nicho trófico específico es válido para las distintas especies y el crecimiento del organismo en cultivo es alto. A densidades altas, la demanda de alimento puede exceder en un momento dado la disponibilidad, lo que puede forzar al pez a explotar nichos ecológicos adicionales, donde la producción es elevada.

La dinámica natural de los niveles tróficos queda bien demostrada con el policultivo, donde un conjunto de especies reciben beneficios y además incrementan el crecimiento potencial de otras. En un estanque con policultivo, no se presentan ciclos extremos de calidad de agua en los diferentes niveles de producción; ya que los peces consumen el plancton manteniendo un balance adecuado entre la producción y el consumo, por lo que el estanque permanece aeróbico con elevados niveles de oxígeno, pH alto y una baja producción de fitoplancton, zooplancton, larvas de chironómidos bénticos y bacterias pelágicas.

Al añadir excremento a un estanque, éste se transforma en nutrientes inorgánicos y alimento para los organismos en cultivo. Los nutrientes liberados en la columna de agua proveen un sustrato para los organismos fotosintéticos o autótrofos que son la base del rendimiento pesquero.

Comparativamente, los estanques fertilizados con excremento animal y sin alimento suplementario, pueden producir de 1.0 a 1.5 toneladas/ha, con un promedio diario de ganancia de biomasa de 30 kg/ha y de 3 a 4 toneladas, con un promedio diario de 20 kg/ha. una parcela por otra parte, fertilizada con 40 toneladas de material de composta por hectárea al año, aumenta la producción en 1 tonelada por hectárea de arroz, trigo o maíz y

alcanza hasta 3 toneladas por hectárea por estación. En esta forma es posible obtener rendimientos similares a los obtenidos en la agricultura tradicional.

Cuando existe una elevada disponibilidad de excrementos es posible optimizar su uso y manejo, así como alcanzar una producción máxima en el estanque.

Desde el punto de vista biológico el excremento entra directamente a las cadenas alimenticias en tres formas.

a) Como alimento directo. Los resultados de investigaciones en donde incluyen los excrementos en alimentos para peces, han demostrado que afectan el crecimiento. Esto probablemente sea el resultado del bajo contenido de proteína y de energía que contiene el excremento comparado con los alimentos balanceados. El 40% de la materia seca del excremento está compuesto de cenizas y fibra cruda, en la vacaza y la gallinaza se presenta en forma de ácido úrico y otros compuestos que no son asimilables por el pez.

b) Como fertilizante para la producción autotrófica. Los fragmentos del material orgánico arrojado a un estanque, son utilizados por las bacterias, que digieren la fracción orgánica y liberan los minerales y el bióxido de carbono, que sirve de sustrato para el proceso de la fotosíntesis y la producción del plancton. El plancton muerto, se descompone rápidamente por la acción bacteriana y recicla su contenido de minerales incorporándolos al ciclo biológico del estanque. En presencia de fertilizantes adecuados, la productividad primaria alcanza un máximo que ha sido estimado en 10 g de carbón fijado como algas por metro cuadrado al día. En base a la eficiencia de conversión de carbono, cinco unidades de carbono en el alimento resultan en una unidad de carbono fijado como carne, de aquí que la máxima tasa fotosintética en teoría puede mantener una producción de 200 kg/ha/día. El consumo directo del plancton puede permitir tan solo un rendimiento máximo de 32 kg/ha/día.

c) La fertilización como base de la producción heterotrófica. Aproximadamente la mitad del rendimiento pesquero puede ser sostenido por el alimento natural en un estanque como es el fitoplancton, zooplancton y organismos del bentos. Los elevados rendimientos en condiciones de fertilización, se han atribuido al consumo de bacterias y protozoarios. Esta comunidad florece en la materia orgánica y utiliza la fracción orgánica y mineral como fuente de energía y nutrimentos. Los organismos pelágicos y bentónicos son capaces de consumir microorganismos en cantidades importantes y debido a su elevado valor nutricional estos microorganismos proveen una dieta completa. En el caso de los peces, el detritus que contiene altas cantidades de microorganismos pasa a través del intestino digiriéndolos sin afectar a la materia orgánica del detritus, el cual regresa al estanque a través de excreción, para volver a ser colonizado por los microbios.

Se han realizado pocos intentos para determinar la relativa importancia de estos tres mecanismos y probablemente difieran de acuerdo al número y tipo de organismo bajo cultivo, sus hábitos alimenticios, las técnicas de manejo del estanque y otros que requieren ser estudiados para comprender mejor sus mecanismos. (Fig. 6).

En la tabla 13 se indica la composición promedio de algunos excrementos de animales

de granjas, que demuestra que son un excelente sustrato para el crecimiento de microorganismos, sobre todo de bacterias que están ligadas a la masa orgánica y que permiten el desarrollo de una densa población de protozoarios, principalmente ciliados (Schroeder, 1980).

De acuerdo con los datos vertidos en la tabla 13, se puede observar que la borregaza y la gallinaza más fósforo y la borregaza más potasio, no obstante esta relación, puede variar significativamente, aspecto que tiene que ser considerado cuando se realiza un programa de fertilización intensiva, utilizando excretas animales.

### Fertilizantes químicos o minerales.

En el caso de los fertilizantes químicos, la mayor ventaja es que los nutrientes se liberan casi directamente al medio, por lo que son aprovechados inmediatamente por el fitoplancton y se requiere por lo tanto, de una menor cantidad en su aplicación. La desventaja más grande, es el costo tan elevado que tienen y que requieren de un espacio físico, seco y frío para almacenar grandes volúmenes, lo que de alguna manera dificulta su manejo.

Existen dos tipos de fertilizantes químicos: sólidos y líquidos, que pueden ser utilizados en la acuicultura. Entre los primeros se tiene la urea, sulfato de amonio, superfosfato, superfosfato triple y fórmula compleja, entre otros, y en los segundos al amonio y los polifosfatos.

Figura 6.  
Representación de la fertilización animal en un policultivo de carpa en estanques.  
(Delmondo, 1980)

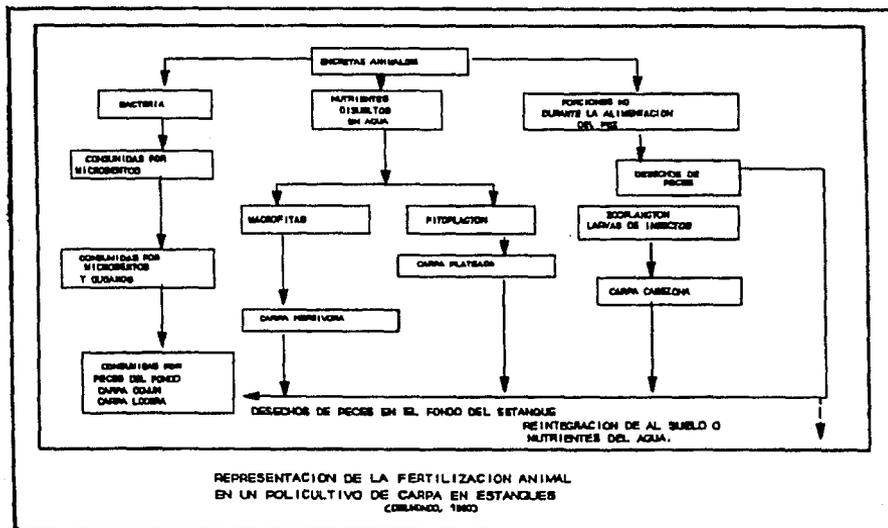


Tabla 13.  
Composición química de las excretas de animales, utilizadas como fertilizante orgánico.

EXCRETAS	AGUA	N	P	K	MATERIA ORGÁNICA	C:N:P:
Vacaza	79	0.5	0.1	0.5	17	17:1:0.2
Borregaza	64	1.1	0.3	1.1		
Cerdaza	74	0.5	0.2	0.4		
Cerdaza*		0.6	0.2	0.4	15	13:1:0.3
Gallinaza	76	1.1	0.4	0.4	19	9:1:0.4

\*FAO, 1977.

#### Presentación de los compuestos.

Los fertilizantes sólidos pueden estar empacados en forma de gránulos, hojuelas o piensos, en bolsas de plástico con un peso aproximado de 25 kilogramos. En una parte de la bolsa se señala su composición porcentual, así por ejemplo, el compuesto complejo tiene una fórmula 17-17-17, por lo que contiene el 17% de nitrógeno, 17% de  $P_2O_5$  y el 17% de  $K_2O$ . Si el grado de fertilizante se divide entre un común denominador, se tendrá un fertilizante completo (1:1:1). En el caso de la urea, cuya proporción es de 48:0:0 (48% de N), se le llama incompleto.

Puesto que la mayoría de los fertilizantes químicos absorben humedad, éstos deben ser almacenados en lugares secos y fríos; algunos son extremadamente explosivos como el nitrato de amonio, el nitrato de sodio y la urea y son corrosivos, por lo que debe tenerse sumo cuidado para evitar los incendios y prevenir la corrosión de metales con los que estén en contacto.

Los fertilizantes líquidos por otro lado, se almacenan en tanques de acero a baja presión, por lo que también deben ser manejados con sumo cuidado.

Tabla 14.  
Fertilizantes sólidos más comunes y sus porcentajes aproximados de composición, tomado de Boyd (1982).

NOMBRE COMERCIAL DEL FERTILIZANTE	PORCENTAJE			COMPOSICIÓN*		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$			
1.- UREA	45	0	0			
2.- NITRATO DE CALCIO	15	0	0			
3.- NITRATO DE SODIO	16	0	0			
4.- NITRATO DE AMONIO	33	0	0			
5.- SULFATO DE AMONIO	21	0	0			
6.- SUPERFOSFATO	0	20	0			
7.- SUPERFOSFATO TRIPLE	0	46	0			
8.- FOSFATO MONOAMONICO	11	48	0			
9.- FOSFATO DIAMONICO	18	48	0			
10.- MURIATO DE POTASA	0	0	60			
11.- FORMULA COMPLEJA	17	17	17			

\* Los porcentajes de composición pueden variar dependiendo del fabricante, pero en el caso de FERTIMEX, éstos están colocados en las bolsas.

Algunos investigadores han encontrado que el fósforo es el elemento limitante para la

productividad y por lo tanto debe ser el compuesto principal a utilizarse. Los compuestos más ricos en fósforo (expresado como  $P_2O_5$ ) son el superfósforo (20%); superfosfato triple (46%), fosfato monoamónico (48%) y fosfato diamónico (48%).

Por otro lado, en las regiones donde hay poco aporte de nitrógeno al sistema se recomienda la aplicación de urea (45%), nitrato de amonio (33%) o sulfato de amonio (21%) y para el caso de una carencia de potasio (expresado como  $K_2O$ ) se puede aplicar muriato de potasio o potasa (60%). No obstante, ya que los precios de los mismos se han incrementado notablemente en los últimos años, un análisis de factibilidad económica del cultivo permitirá en un momento dado tomar una decisión del uso y aplicación de un fertilizante.

### Técnicas de aplicación.

Generalmente un estanque requiere de 8 a 12 aplicaciones para mantener niveles adecuados de fitoplancton. Un estanque con una productividad primaria moderada puede recibir 4.5 kg/ha por aplicación (de 36 a 54 kg/ha) aunque en algunos casos la cantidad debe llegar a 9 kg/ha por aplicación (de 72 a 180 kg/ha), durante el tiempo que dure el cultivo.

Para calcular la cantidad de fertilizante a aplicar en un estanque y cuando sólo se dispone de algunos compuestos (Boyd, 1982), presenta el siguiente ejemplo: si se tiene un estanque con dimensiones de 1.5 ha y se quiere fertilizar con un equivalente de 50 kg/ha de un compuesto que tenga 8% de nitrógeno, 20% de fósforo  $P_2O_5$  y sólo se cuenta con sulfato monoamónico (20%N) y fosfato monoamónico (11% de N y 5% de  $P_2O_5$ ), la cantidad a agregar se calcula así:

$$N = 50 \text{ kg/ha} \cdot 0.08 \cdot 1.5 \text{ ha} = 6 \text{ kg.}$$

$$P_2O_5 = 50 \text{ kg/ha} \cdot 0.20 \cdot 1.5 \text{ ha} = 15 \text{ kg.}$$

Por lo que se requiere de 6 Kg de N y 15 de P( $P_2O_5$ ). De acuerdo con esto la cantidad de fosfato monoamónico para proveer 15 kg de fósforo en forma de  $P_2O_5$  es:

$$15 \text{ kg}/0.55 = 27.3 \text{ kg.}$$

Esta cantidad de fosfato monoamónico contiene 3 kg de N, pero se necesitan 6, por lo que el remanente de 3 kg de N, debe ser suplido por el sulfato de amonio como:

$$3 \text{ kg N}/0.20 = 15 \text{ kg.}$$

De esta manera, la aplicación de 15 kg de sulfato de amonio y 27.3 kg de fosfato monoamónico, a 1.5 ha de estanquería, es equivalente a agregar 50 kg/ha de un fertilizante con 8-20-0.

Una vez calculada la cantidad necesaria para fertilizar la estanquería, éste se puede agregar de tres formas:

a) Por la aplicación directa al boleto, dispersándolo desde los bordes del estanque, evitando que éste se vaya hacia las partes más profundas.

b) Por medio de una plataforma de disolución, que evita que el fertilizante se vaya hacia el fondo.

Esta plataforma es de fácil construcción, barata y como único requisito debe permanecer de 30 a 40 cm. por abajo del nivel máximo del agua.

c) Por disolución previa del fertilizante en agua y su posterior aplicación por medio de bombas.

#### **Problemas asociados a la fertilización.**

Se ha observado que no todas las aguas responden de la misma manera a la fertilización y algunos de los problemas más comunes son los siguientes:

a) Cuando las aguas son blandas y ácidas, por lo que en este caso se debe agregar previamente un compuesto que neutraliza el pH y permita la acción del fertilizante.

b) Cuando las aguas presentan una gran cantidad de partículas, arcillas en suspensión o ácidos húmicos, que ocultan el efecto de los fertilizantes, impidiendo la penetración de la luz y un adecuado crecimiento del fitoplancton.

c) Cuando se presentan macrofitas acuáticas, que atrapan los nutrientes y compiten y limitan el crecimiento del fitoplancton.

d) Cuando el fitoplancton crece en exceso, la fertilización debe ser suspendida, hasta que éste disminuya, ya que puede ocasionar caídas bruscas de oxígeno.

Dentro de los métodos indirectos para el uso y aplicación de los abonos orgánicos vegetales y animales se tiene:

#### **Compostas.**

Es una técnica ampliamente conocida y usada en China y consiste en un tratamiento que envuelve la descomposición biológica de la materia orgánica bajo condiciones controladas.

Las reacciones y operación de las compostas se basan en reacciones microbianas controladas, manteniendo una elevada productividad estable y un producto final a una elevada tasa. Las bacterias, los hongos y los actinomicetos son los grupos significativos de microorganismos que se presentan en las compostas y favorecen las condiciones de semi-humedad que prevalecen en el proceso.

De acuerdo a sus procesos básicos se tienen dos tipos: aeróbicos y anaeróbicos.

#### **Compostas anaeróbicas.**

Consiste en la descomposición de los desechos de materia orgánica en ausencia de oxígeno y los nutrientes liberados en el proceso se utilizan para formar protoplasma celular; pero bajo las condiciones de ausencia de oxígeno, el carbón (C) que no es utilizado para el crecimiento de los microorganismos es liberado en forma de metano y el nitrógeno como el amonio ( $\text{NH}_3$ ). Se presentan olores desagradables por la presencia del ácido

sulfhídrico  $H_2S$ , gas altamente tóxico para los organismos en cultivo y cualquier concentración detectada puede ocasionar que se presenten características como son:

- a) La composta anaeróbica es más lenta que la aeróbica.
- b) La generación de calor durante el proceso, generalmente, es insuficiente para elevar la temperatura de la composta significativamente y este método es menos eficiente para el tratamiento de desechos insalubres que las compostas aeróbicas.
- c) Se deben de considerar aspectos prácticos como: la fermentación de las excretas animales; la fermentación del abono verde; la productividad de biogás.

### **Compostas aeróbicas.**

Los desechos animales y el abono verde pueden ser colectados en tanques abiertos u orificios y mezclados con agua para ser usados en los estanques de cultivo.

El método consiste en coleccionar y colocar en orificios en una esquina de la granja el excremento. Estos orificios tienen forma circular y miden 2.5 m de diámetro en el fondo, 1.5 de altura y 3.0 m de diámetro en la parte alta. Cada orificio es llenado con una capa de arcilla (7.5 toneladas), desechos de arroz (0.15 t), excremento de cerdo o vaca (1.0 t) y plantas o desechos agrícolas varios (0.75 t) en capas alternadas de 15 cm. Posteriormente, se llena con agua y se cubre con una capa de lodo de 3 a 4 cm, para crear condiciones anaeróbicas, y minimizar las pérdidas de nitrógeno.

El contenido de estos orificios es movido al mes y a los dos y medio meses, al cabo de los cuales está listo para usarse. En el primer movimiento se le agregan 200 kg de superfosfato y se mezclan con el material orgánico añadiendo agua, para asegurar las mejores condiciones.

Cada uno de estos orificios o compostas produce cerca de 8 toneladas, cantidad apropiada para fertilizar una hectárea de tierra, o bien se agrega a los estanques en una proporción de 5 a 10 toneladas, repitiendo esto tres veces durante el periodo de cultivo (6 a 8 meses). La primera aplicación es mayor que las últimas dos y se aplica al preparar los estanques antes de introducir los peces.

En Asia, que es donde más se utilizan las compostas, éstas son construidas con bambú y otro material de madera y consisten en orificios en una esquina del estanque. Generalmente el orificio consiste en 1 m de radio y existe una relación de un orificio por cada 100 metros cuadrados de superficie de estanquería.

La composta está elaborada de desechos de materia orgánica, como es el pasto cortado, pulpa de café, desechos de cocina, esquilmos agrícolas, macrófitas acuáticas, desechos de arroz y todos aquellos desechos que se encuentran disponibles en la región.

La composta se va rellenoando con capas alternadas de desechos y una pequeña cantidad de excrementos animales y se colocan pesadas piedras sobre la parte superior a efecto de evitar que los desechos salgan y se dispersen en el agua del estanque. De acuerdo

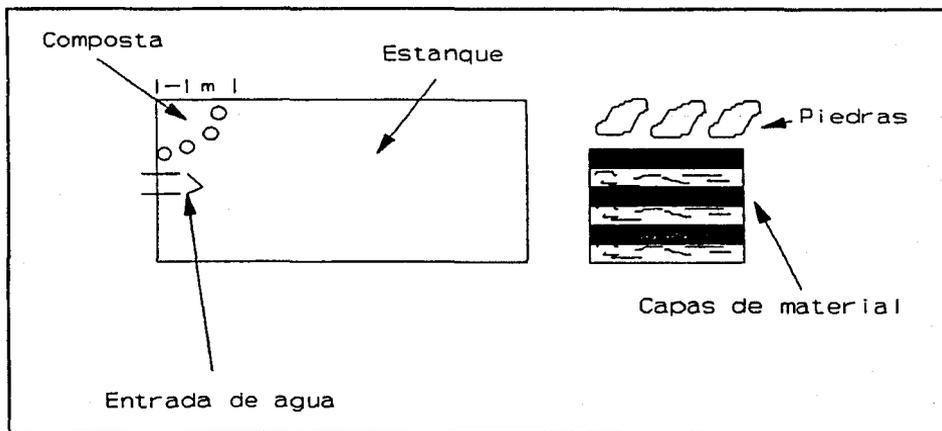
con (Vincke, 1985), por cada 100 metros cuadrados de estanque se requieren de 50 a 60 kg de materia orgánica al inicio y de 8 a 10 kg en dosis semanales.

Schmidt y Vincke (1981), estimaron que un granjero puede invertir en promedio 28 horas al año para la colecta, transporte y apilamiento de la materia orgánica para una composta de 100 m<sup>2</sup> de estanque (Figura 7).

En este proceso, el oxígeno se utiliza en la ruptura y descomposición de la materia orgánica y cerca de 2/3 partes del C de los desechos es respirado como bióxido de carbono, el remanente se combina con el nitrógeno y otros elementos para formar proteína celular.

Existen otro tipo de compostas que se preparan fuera del estanque en superficies abiertas y generalmente cercanas a los estanques. El material utilizado es prácticamente el mismo y para asegurar una buena composta, el material debe ser preparado alternando capas de abono verde fresco y materia orgánica seca. La aereación de la composta debe ser asegurada insertando bambú o tubo PVC dentro de la mezcla. Idealmente, se deben agregar excretas animales o cenizas entre cada capa y la composta debe mantenerse húmeda a través del riego. Después de un mes de fermentación, la composta debe ser mezclada y fermentada por 2 meses (dependiendo del clima o de los productos usados). De acuerdo a (Vincke y Schmidt, 1981), entre 5 y 7 toneladas de materia orgánica es requerida para preparar 9 m<sup>3</sup> con una producción de 2,800 kg de composta después de 3 meses.

Figura 7.  
Esquema de una composta colocada dentro del estanque.



Los biodigestores son tanques o pozos herméticamente cerrados en donde ocurre la fermentación y en algunos casos se cuenta con un dispositivo para almacenar el biogás. El bioabono producido en este proceso tiene las siguientes ventajas:

- 1.- Posee mayor cantidad de nitrógeno que la materia prima original en base seca, con una composición aproximada de: materia orgánica 85%; nitrógeno 2.6%; Fósforo 1.5%; Potasio 1.0%.
- 2.- No posee olor desagradable.
- 3.- No afecta los niveles de oxígeno disuelto en los estanques.
- 4.- No contiene bacterias patógenas o semillas de hierbas tóxicas, ya que el proceso de digestión las elimina.
- 5.- Un metro cúbico de bioabono líquido producido diariamente puede fertilizar un estanque de una hectárea.
- 6.- El incremento de la producción de peces por el uso de los biodigestores puede ser del 50 al 100%.

#### **Principios de un biodigestor.**

Los biodigestores funcionan por medio de procesos anaeróbicos que tienen como objeto descomponer la materia orgánica e inorgánica en un recipiente, generalmente hermético, procurando que el proceso produzca gas metano y CO<sub>2</sub>. Durante la digestión se producen dos etapas de descomposición: una de licuación y otra de gasificación.

La primera se realiza por medio de saprófitos (que son la mayoría de las bacterias facultativas, capaces de reproducirse rápidamente y no son tan sensibles a los cambios ambientales como las de la segunda etapa).

Las bacterias forman ácidos con la ayuda de las enzimas extracelulares y transforman casi todo el carbono en ácidos volátiles y agua. En la segunda etapa las bacterias metanógenas transforman estos ácidos en metano y CO<sub>2</sub> (Figura 1).

Estas dos etapas se llevan a cabo en un tanque hermético dentro del cual se regulan los factores ambientales y se dispone de un espacio para los sólidos y líquidos y una salida para almacenar el biogás que se produce. El diseño de un biodigestor es muy variado y depende de los países y las condiciones regionales.

Entre los factores ambientales que determinan la eficiencia de un biodigestor figuran: la temperatura, concentración de sólidos, de ácidos volátiles, formación de espuma, concentración de nutrimentos, sustancias tóxicas y el pH.

De acuerdo a la temperatura existen dos tipos de digestores: la mesófila (30-40°C) y la termófila (45-60°C). Casi todos los digestores funcionan entre los límites de la temperatura mesófila (35°C), siendo la velocidad mayor de digestión a los 40°C, por esta razón hay que cuidar la temperatura de los biodigestores, ya que una disminución repentina puede detener la producción de metano y la consecuente acumulación de ácidos, debido a

que las bacterias no pueden utilizarlos a la misma velocidad con que se producen y estos se acumulan en una espuma, que debe ser evitada mezclando los contenidos del digestor y manteniendo la temperatura lo más uniforme posible.

Se ha logrado obtener una digestión satisfactoria con una concentración de minerales sólidos del 15% o más (pero se recomienda mantenerla entre 3 y 10%), ya que la excesiva cantidad de sustancias tóxicas inhibe el desarrollo de las bacterias.

Así, por ejemplo, el cobre en pequeñas cantidades estimula la actividad enzimática de las bacterias, pero resulta tóxico a concentraciones elevadas. El amoníaco, es un excelente amortiguador en el proceso de la digestión, pero en fuertes concentraciones impide el proceso. La concentración de  $\text{NH}_3\text{-N}$  debe ser inferior a 2,000 mg/l.

Una buena relación de carbono-nitrógeno (C:N) de alrededor de 16:1 se considera óptima para una buena producción de gas metano y para la fermentación estable de los excrementos animales.

El intervalo óptimo del ph para la digestión se ubica entre 7 y 8, ya que a 6.5 se inhibe y a 4.5 cesa. Cuando se establece la digestión, el ph llega a 7.0 y el mezclado se amortigua, es decir, la concentración de iones hidrógeno permanece constante, incluso cuando se le añaden cantidades relativamente grandes de ácidos o álcalis. Si la capacidad amortiguadora se destruye, el ph disminuye y el biodigestor cesa de funcionar, lo que se percibe porque emite olores desagradables y se necesitan muchos días e incluso meses para que vuelva a funcionar.

Se han realizado un sinnúmero de experiencias en nuestro país para el diseño y utilización de biodigestores, pero su uso en la piscicultura ha sido limitado. Algunos centros de la Secretaría de Pesca (Sepesca) cuentan con digestores, que tienen distintas formas y tamaños. En la Granja de Policultivo Integral de Tezontepec de Aldama se cuenta con cuatro estanques de 5.5 x 3.0 x 2 metros, en los que se recibe diariamente el excremento de cerdo junto con la orina, con los que se realiza una fermentación parcial en la que prevalece la etapa de formación de líquidos o ácidos y una pérdida de nitrógeno por volatilización, sin embargo, se ha observado que produce buenos rendimientos al ser agregado a los estanques de policultivo.

Un biodigestor bien manejado, independientemente de que produce gas metano que puede ser utilizado en diversas actividades, genera bioabono líquido que es excelente para fertilizar los estanques, ya que contienen de dos a tres veces más nitrógeno asimilable que el mejor compuesto orgánico usado directamente.

### **Tipos de digestores.**

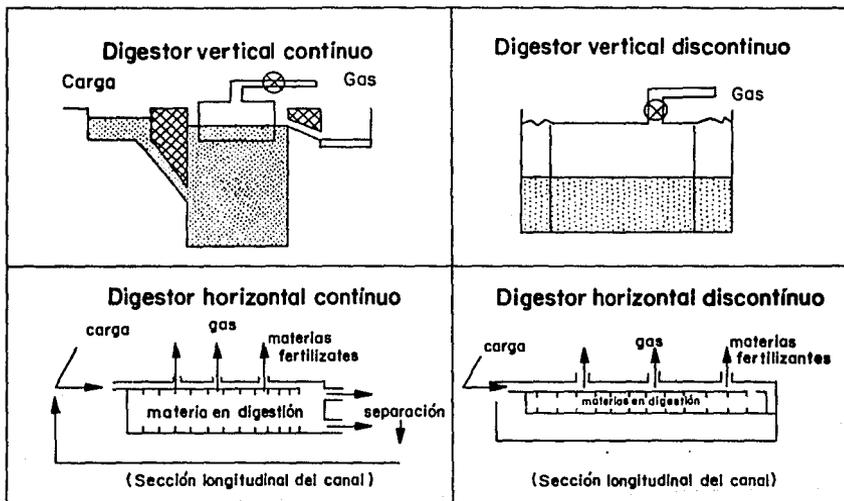
Los biodigestores se clasifican en base a los siguientes criterios:

Digestores continuos verticales; digestores discontinuos verticales; digestores continuos horizontales; digestores discontinuos horizontales.

Los continuos son cargados y descargados en forma regular y periódica, de tal manera que la producción de gas y bioabono líquido sea permanente mientras que en los

discontinuos el ciclo de producción de biogás y fertilizante sólo puede ser continuado o reiniciado una vez que la carga y descarga del volumen total haya ocurrido. En la Figura 8 se presenta un diseño comparativo de ambos (Baquedano, 1981).

Figura 8.  
Esquema de los tipos de biodigestores.



#### Excremento animal fresco sin tratar.

La aplicación de excremento fresco es muy común en Asia, en donde las porquerizas y gallineros están contruidos sobre los estanques y aunque su uso está muy generalizado en el área, no existe un patrón en cuanto al número de animales utilizados y únicamente en China estas cifras están bien establecidas.

El uso de excremento fresco ha reeditado elevados rendimientos pesqueros, aunque una excesiva aplicación puede ocasionar una caída brusca del oxígeno disuelto y provocar la muerte de todos los organismos en cultivo. Esto obedece a que las excretas liberadas en los estanques se descomponen a través de la acción bacteriana y este proceso demanda un alto consumo de oxígeno (DBO), que depende del porcentaje de materia orgánica que contiene el excremento.

#### Rendimientos pesqueros obtenidos mediante el uso y aplicación de fertilizantes.

La cantidad del excremento utilizado en la piscicultura varía de acuerdo al tipo, condiciones del estanque y al clima local. En China, la aplicación de compostas fluctúa entre 5 a 10 toneladas/ha/año, lo que es equivalente a agregar de 15 a 30 kg de N, 45 a 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y de 12.5 a 25 kg de K<sub>2</sub>O/ha/año.

En Taiwán, se obtiene el nivel más alto de eficiencia con la aplicación de 40 kg/ha de superfosfato y si la productividad natural del estanque es alta, sólo se requiere la mitad.

En China Continental se usan 30 cerdos por hectárea de estanque y esto provee el equivalente de 58.5 kg de N, 10.5 kg de P y 12.0 kg de K por hectárea, asumiendo que los cerdos tienen un peso aproximado de 50 kg.

En los Estados Unidos de América, se usaron de 60 a 85 cerdos por hectárea, equivalente a una aplicación de excremento fresco de 180 a 255 toneladas por hectárea en 200 días, con un promedio de 3 toneladas por cerdo al año.

En Taiwán, una granja con patos asociados a los estanques produjo un rendimiento pesquero de 3,500 kg/ha/año, con una densidad de patos de 1,000 a 1,500 por hectárea y una experiencia similar en Hong Kong arrojó una producción de 2,750 a 5,540 kg/ha/año, con una densidad de 2,000 a 2,400 patos por hectárea.

En resumen, podríamos concluir que un estanque que recibe de 500 a 1,000 kg de excremento diario puede tener rendimientos que fluctúan entre 1.5 a 8.0 toneladas por hectárea al año, de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar (Tabla 15).

Tabla 15.  
Datos de producción anual, utilizando diversos tipos de excremento.

PRODUCCION ANUAL KG/HA	TIPO DE EXCREMENTO	PAIS	REFERENCIA
4,900	Fluido de res	Israel	Herpher y Schroeder, 1977
3,500	Pato	Sureste de Asia	Ling, 1977
2,000	Cerdo	Rodesia	Van der Lingen, 1960
4,000	Pato	Rodesia	Van der Lingen, 1960
3,000	Composta	Madagascar	Gruber, 1960
2,750 a 5,640	Pato	Hong Kong	Schroeder, 1980
4,000	Cerdo	México	-----

### **Perspectivas del uso y aplicación de los fertilizantes en México.**

Después de analizar los diferentes tipos de fertilizantes que se utilizan en la actualidad así como sus ventajas y desventajas, al parecer las excretas de animales domésticos suponen una fuerte alternativa para el país, debido a que son accesibles, baratos y producen los mismos o superiores resultados que los inorgánicos.

Para lograr su uso y aplicación en las unidades de producción, es menester desarrollar los mecanismos adecuados para convencer a los productores y entrenarlos técnicamente para lograr buenos resultados, dependiendo del clima, tipo de excremento, cantidad y frecuencia de aplicación, ya sea en forma directa o bien procesada a través de pozos de fermentación o biodigestores.

Dadas las grandes ventajas que representa el uso del bioabono líquido, éste debe ser fomentado sobre todo en aquellas unidades donde se manejan altas densidades y las excretas sólidas o líquidas pueden representar problemas con la calidad del agua. Por lo que es necesario elaborar los criterios para el manejo de excretas de origen animal dependiendo fundamentalmente de los propósitos que persigan las unidades de producción piscícola.

Por otra parte, es menester realizar investigaciones conducentes a determinar la calidad de los fermentados y sus efectos sobre los rendimientos pesqueros a fin de establecer el tiempo óptimo de la fermentación, de acuerdo a las condiciones locales y a las tasas de aplicación máximas y mínimas, independientemente de identificar el tipo de excretas que contienen una mayor concentración de macro y micronutrientes.

## **V. TECNICAS DE APLICACION DE FERTILIZANTES**

### **Actividades previas a la fertilización.**

Una estrategia que debe ser realizada preferentemente entre cada cosecha, es el secado y tratamiento químico del fondo de los estanques, utilizando básicamente tres tipos de sustancias como son la cal, cal hidratada e hipoclorito de sodio, que permite mantener condiciones adecuadas y de prevención, ya que a través de este proceso se obtienen las siguientes ventajas comparativas:

- 1.- Se mejora en forma considerable la textura del suelo y la disponibilidad de los nutrientes para la producción futura del fitoplancton, ya que facilita la ruptura y descomposición de la materia orgánica, mediante la oxidación de la capa superficial del lodo, con la consecuente mineralización de los principales nutrientes que quedan atrapados en el sedimento bajo condiciones anaeróbicas, que impiden su recirculación en el ciclo biológico del estanque.
- 2.- Debido a este proceso de oxidación se reduce notablemente la demanda bioquímica del oxígeno (DBO) del estanque una vez que éste se llena con agua, lo que significa mantener una mejor calidad del agua.
- 3.- Un suelo oxidado y bien aireado hace que se mejore la colonización de los organismos bentónicos, aspecto que es importante en el cultivo sobre todo del camarón.

4.- Se eliminan los metabolitos indeseables, tales como el sulfuro de hidrógeno o ácido sulfúrico, que inhibe el crecimiento del fitoplancton y de los organismos en cultivo.

5.- Se favorece la eliminación de organismos depredadores y parásitos, así como sus formas de resistencia, además de macrofitas indeseables.

6.- Facilita la cosecha, ya que permite remover el sedimento alargando la vida útil del estanque. Además, el sedimento puede tener un uso agrícola debido a los altos contenidos de nitrógeno y fósforo que se acumulan durante el ciclo de producción.

Generalmente, la fase de secado es de 7 a 10 días y tres días en condiciones semi-húmedas que favorece el establecimiento del lab-lab y del lumut, para el crecimiento del camarón. En la República Popular China, los estanques se secan de 15 a 20 días cada tres años.

En el caso de suelos que contienen piritita  $\text{FeS}_2$  y otros minerales de azufre, no se recomienda el secado de los estanques, ya que de la oxidación resulta ácido sulfúrico y sulfato de hierro (Jarosita) que puede disminuir el pH abajo de 4. La piritita se reconoce por una serie de manchas amarillas sobre el suelo y para eliminar el problema se requiere de un costo adicional de mano de obra. En este caso particular este problema se resuelve agregando cal para neutralizar el efecto de la piritita y jarosita.

#### **Factores que influyen en la acción del fertilizante químico.**

Existen una serie de factores que tienen una influencia marcada sobre el efecto de los fertilizantes, entre ellos destacan los siguientes:

1.- La radiación solar tiene un efecto marcado sobre la productividad primaria y de acuerdo con algunos reportes la máxima productividad lograda en estanques fertilizados fuertemente es equivalente a  $10 \text{ g c/m}^2/\text{día}$  y en extremo a  $17.8 \text{ g c/m}^2/\text{día}$ . Algunas áreas en México pueden alcanzar estos niveles de productividad.

2.- Se requiere un tiempo de retención del agua de 3 a 4 semanas, lo que es equivalente a un recambio del 5% al día, en caso contrario se corre el riesgo de perder cantidades significativas de fertilizante con la consecuente disminución de la productividad primaria.

3.- La calidad del agua afecta la fertilización, ya que en aguas con altas concentraciones de calcio y elevado pH se pierde el fósforo y con aguas duras y blandas se deben aplicar fosfatos en exceso.

4.- Dependiendo de la herencia geológica de la cubeta del estanque es como se debe

aplicar el fertilizante, para ello es necesario conocer los contenidos de nutrimentos del suelo, de tal manera que las tierras fértiles requieren poca fertilización y los pobres una dosis mayor.

5.- Generalmente se ha observado que los estanques nuevos requieren de una mayor cantidad de fertilizantes, por el contrario los viejos retienen una elevada cantidad de nitrógeno y fósforo y por lo tanto sus demandas son menores.

6.- Otro factor que afecta la fertilización, es la presencia de macrofitas acuáticas por su avidez en el consumo de nutrimentos de nitrógeno y fósforo que absorben en grandes cantidades evitando que sean aprovechados por el fitoplancton, por lo que es recomendable hacer la extracción de estas plantas por medios físicos, mecánicos o biológicos.

7.- Los contenidos de nitrógeno y fósforo delimitan la composición algal, de tal manera que algunos fertilizantes favorecen el crecimiento de algas, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16.  
Relacion de carbono, nitrogeno y fosforo que favorecen el desarrollo de distintos grupos de organismos.

GRUPO QUE FAVORECE	RELACIÓN	PROPORCIONES DE C:N:P
Diatomeas	20-30:1	N:P
	10-20:1	N:P
Fitoflagelados	1:1	N:P
Bacterias	100:3:1	C:N:P
Fitoplancton en general	4:4:1	N:P:K
	4:1	N:P
	42:75:1	C:N:P
	50:10:1	C:N:P

8.- La solubilidad del fertilizante es importante y depende del tamaño de la partícula y la composición química. En este sentido se recomiendan los fertilizantes líquidos, por ser más eficientes. En la Tabla 17 se muestra la solubilidad de diferentes compuestos químicos.

Tabla 17.  
Porcentaje de dilución de fósforo y nitrógeno a 2 m de profundidad y 29°C.

FERTILIZANTE	FÓSFORO	NITRÓGENO
1.- Superfosfato	4.6	
2.- Superfosfato triple	5.1	
3.- Fosfato monoamónico	7.1	5.1
4.- Fosfato diamónico	16.8	11.7
5.- Nitrato de sodio		61.7
6.- Sulfato de amonio		85.9
7.- Nitrato de amonio		98.8

Tomada de Boyd (1982).

### Métodos y frecuencia de aplicación de los fertilizantes químicos.

Una buena fertilización depende de la forma en que se aplique el fertilizante; los granulares y en forma de polvo si no se disuelven previamente se depositan en el fondo y se absorben rápidamente por el suelo, para evitar esto, el fertilizante debe disolverse o colocarse en una plataforma sumergida, en botellas flotantes perforadas o en sacos suspendidos a nivel del agua. Cuando se trata de desarrollar organismos en el bentos, como la generación de lab-lab o lumut, sí se requiere aplicar el fertilizante directamente en el fondo del estanque.

Para mantener la productividad primaria elevada, el fertilizante se debe aplicar en pequeñas cantidades y de manera constante, preferentemente cada semana o cada dos semanas durante el ciclo de cultivo.

Es necesario tomar medidas preventivas antes de fertilizar y éstas pueden ser las siguientes:

1.- Tomar algunas muestras del suelo y del agua de los estanques para realizar análisis químicos y determinar la cantidad de nutrimentos que tienen estos componentes. En el caso de las muestras de suelo se deben tomar a 40 m de la entrada del agua, al centro y a 40 m de la salida y las de agua a 20 m de la entrada del agua y a 25 ó 30 cm de profundidad en la columna de agua, en el centro del estanque y a 20 m de la salida.

2.- La fórmula y cantidad de fertilizante a ser utilizado dependerá de la composición química del suelo y del agua, principalmente en lo que se refiere a la composición iónica.

3.- Cuando el estanque está sin agua, en condiciones húmedas y antes de volver a llenar el estanque, se recomienda fertilizar de 10 a 15 kilogramos por hectárea mediante el sistema de voleo. Al tercer día se inunda el estanque hasta que alcance una columna de agua de 10 cm en el centro y se deja reposar por un periodo de 5 a 10 días dependiendo de la

temperatura del medio ambiente y del agua. Después de esto, se aumenta la columna de agua de 10 a 15 cm, para finalmente depositar las postlarvas o juveniles de camarón.

4.- En las subsecuentes fertilizaciones se aplican de 1.5 a 5 libras de fertilizante, que se coloca previamente en un recipiente y se diluye con el agua del estanque con ayuda de una canoa lancha y se dispersa a los costados del bote. Se recomienda regar a favor del viento y se ha calculado que por cada 20 ha se emplean dos y media horas para fertilizar con un gasto en promedio de 40 a 90 kilogramos de fertilizante, principalmente urea y superfosfato.

#### **Precauciones.**

1.- Si el estanque está con agua, cada cuatro días fertilice con dosis bajas de 1.5 a 2.5 kg por hectárea. Si la aplicación es directa al suelo, agregue de 10 a 20 kg/ha.

2.- Las dosis anteriormente señaladas se utilizan por dos semanas seguidas.

3.- Después, proceda a fertilizar de acuerdo con su experiencia o necesidad dependiendo de la productividad biológica del agua del estanque. Se recomienda observar todos los días a una misma hora entre las 10:00 y las 14:00 horas la transparencia por Disco de Secchi, el cual debe mantenerse entre los 25 y 35 cm de profundidad.

4.- Antes de fertilizar, observe que el agua se encuentre en buen estado y en caso de que esto no suceda proceda a cambiar el 25% del volumen del estanque.

5.- Diariamente tome muestras del contenido de oxígeno disuelto y de preferencia entre las 6 y 7 a.m. y cambie por lo menos el 2% del volumen total de agua.

6.- Es importante hacer observaciones con respecto a la calidad del agua y al comportamiento de los camarones, como por ejemplo:

Cambios bruscos en la coloración normal del agua (verde claro) al oscuro (verde violáceo intenso).

Intensas manchas de algas en la superficie del agua.

Burbujeo en el agua.

Si el suelo de los taludes se pone negruzco y emite malos olores.

Si el camarón se inquieta y en manchas salta continuamente.

Cuando estas situaciones se hacen presentes, lo recomendable es parar la fertilización, renovar el agua levantando uno o dos tablones en el monje y al mismo tiempo bombeando agua fresca. Pasada la anormalidad y restableciéndose las condiciones, se procede nuevamente a fertilizar a dosis bajas.

Es importante recordar que no se debe fertilizar cuando el camarón está en proceso de muda inicial, al final sí, y preferentemente durante las primeras horas de la mañana, jamás al atardecer, el fertilizante actúa con mayor rapidez durante las primeras horas de luz solar.

A continuación se presenta un programa de siembra y cosecha de camarones realizado en Ecuador, que nos brinda una idea de cómo se lleva a cabo un programa de producción anual.

#### Programa de siembra y cosecha de camarones en Ecuador.

Hay que tomar en cuenta como una primera consideración, que la densidad de siembra del camarón depende de varios factores, como: capital disponible; tiempo y peso del camarón programado a la cosecha; empleo de alimentación o fertilización; la época o estación del año, cálida o de temporada de lluvias con temperaturas que van de 27 a 31 grados centígrados, o de invierno con aguas más frías entre 18 y 23 grados centígrados y por último la necesidad económica de la empresa.

En la Tabla 18 se presentan varias alternativas de producción.

Tabla 18.  
Programas posibles de producción.

DENSIDAD POR ha.	TIEMPO EN DÍAS	% DE MORTALIDAD	PESO EN g A LA COSECHA	FERTILIZACIÓN	ALIMENTACIÓN	CUIDADO
10,000	90-110	20	24	si		menor
15,000	110-120	20	24	si	si	menor
20,000	120-140	25-30	24	si	si	menor
25,000	120-150	30-35	24	si	si	menor
30,000	130-160	37-40	24	si	si	menor
35,000	130-180	37-45	24	si	si	menor
40,000	140-180	40-50	24	si	si	menor
50,000	160-180	40-50	24	si	si	menor

De acuerdo con las experiencias obtenidas en el Ecuador y partiendo de un peso inicial del camarón de 1.5 a 4.0 gramos (salido del precriadero), o tratándose de siembra directa, se tienen las recomendaciones siguientes:

A densidades moderadas de 1 camarón por metro cuadrado, no se requiere fertilización constante, ni alimentación suplementaria y sólo se depende del manejo de calidad del agua. Densidades de 1.5 a 2.0 camarones/m<sup>2</sup>, son adecuadas para trabajar en época de seca; mientras que 2.5 a 3.0 camarones/m<sup>2</sup> es adecuada para la estación lluviosa, siendo una densidad de la que se considera como punto de equilibrio para la empresa y el medio natural. A densidades iniciales de 40,000 camarones por hectárea, se pueden tener

mortalidades del 40 al 50% y se considera que se debe tener un cuidado intenso.

Los beneficios de elegir un buen programa son:

- Al utilizar bajas densidades se ahorra en el empleo y gasto excesivo de alimento.
- Ahorro en el combustible por efecto de una menor renovación del agua del 3 al 6% al día.
- Se obtienen más cosechas al año con menor esfuerzo.
- Se aprovecha mejor la postlarva introducida debido a la baja mortalidad.

Esta misma situación tendrá que ser analizada a la luz de las experiencias nacionales y elaborar esquemas de producción. De acuerdo con los datos proporcionados por la Delegación de Pesca del Estado de Sinaloa, en nuestro país se tienen las condiciones siguientes (Tabla 19).

Tabla 19.

Proyección de los factores técnicos de la camaronicultura en Sinaloa (Orlando Núñez E. com. pers., 1991).

RENDIMIENTO (kg/ha) POR COSECHA	TAMAÑO DEL ESTANQUE (ha)	PROFUNDIDAD (m)	DENS. (Pl/m <sup>2</sup> )	RECIRC. DE AGUA (% día)	AERADOR (hp/ha)	FERT. ORG. (ton/ha)	FERT. INORG. (ton/ha)	FCA	FREC. DE ALMEN. día	% DE PROTEÍNA	TASA DE CREC. (g/día)
200	30-100	60-80	2	1-2		5-10	0.4	0.5	0.5	25	0.4 0.6
500	20-30	70-90	5	2-5		3-4	1	1.0 1.5	1		0.6 0.8
1000	10-15	70-90	10	5-10		1-2	2	1.5 2.0	2		0.8 1.0
1500	10-15	90-100	15	10-15				2.0 2.5	2-3		0.8 1.0
2000	5-10	100-120	20	15-20				2.0 2.5	2-3		0.8 1.0
3000	4-5	120-130	30	20-25				2.0 2.5	3-4		0.7 0.9
4000	3-4	130-140	40	25-30				2.0 2.5	3-4		0.7 0.9
6000	1-2	140-150	60	30-40	4			2.0 2.5	4-6		0.6 0.8

En la tabla se puede observar que la fertilización se aplica hasta un límite de 1,000 kg/ha de rendimiento y por encima de éste se pueden presentar problemas debido principalmente a los recambios del agua, que tienen un efecto significativo en la fertilización, sin embargo, habrá que investigar más al respecto, ya que todavía existe poca información.

### **Técnicas para la aplicación de excretas animales y desechos orgánicos.**

La efectividad de la aplicación de las excretas o desechos en general, depende en gran medida de las técnicas de aplicación y distribución en los estanques. Una mejor distribución en el estanque resulta en una mejor fertilización. Debido a que las excretas y desechos animales y vegetales proveen de nutrimentos a las bacterias y fitoplancton deben ser distribuidos en forma homogénea tanto como sea posible. De esta manera, las excretas animales deben ser agregadas en forma de pequeñas partículas coloidales para que sean más efectivas.

Los principios de una buena fertilización son los siguientes:

- Es mejor aplicar el fertilizante frecuentemente y en pequeñas cantidades para evitar pérdida de nutrimentos.
- Idealmente, es mejor aplicarlo durante las primeras horas de la mañana, cuando los niveles de oxígeno están altos debido a la fotosíntesis.
- Es mejor agregar el excremento en pequeñas fracciones coloidales, como puede ser la vacaza fresca diluida en agua.
- Distribuirlo uniformemente a lo largo y ancho del estanque.
- En algunos casos se recomienda cultivar animales pequeños de granja en instalaciones especiales colocadas encima de los estanques.

A pesar de que los conocimientos sobre el efecto de los fertilizantes ha mejorado significativamente en los últimos años, en algunos países se ha practicado durante décadas. Así por ejemplo, en Europa, el antiguo método consistía en dispersar el excremento sobre el fondo del estanque una vez al año, cuando era secado, después de la cosecha. Esta medida fue poco eficiente, dado que en la interfase sedimento-agua, se producían condiciones anaeróbica que inhibían el desarrollo de la fauna del bentos, teniéndose también una pérdida de carbono y nitrógeno por la formación del metano, amonio y nitrógeno atmosférico.

Posteriormente, se realizaron modificaciones a este método y el excremento se colocaba en el estanque 2 ó 4 días antes de llenarlo con agua. Se notó una mejora en el fondo, pero en algunas áreas se continuaron manteniendo condiciones anaeróbicas con la consecuente pérdida de nutrimentos.

Un tercer método consistió en agregar excretas al estanque en intervalos regulares, durante el ciclo de cultivo, en lugares definidos donde el organismo concurría a alimentarse. Se observó que el pez perdía apetito, presumiblemente debido a la ausencia de oxígeno disuelto en donde se alimentaba y los resultados no fueron satisfactorios.

En la actualidad en el este de Europa, el excremento se agrega a la superficie del estanque utilizando un bote de motor fuera de borda, añadiéndolo por medio de una bomba sobre toda la superficie. En forma alterna se coloca una canasta con el fertilizante pegada a un lado del bote y el paso del agua a través de la canasta hace salir al excremento, el cual se distribuye homogéneamente y en pequeñas cantidades. La canasta tiene orificios de 2 a 2.5 cm y se suspende de 10 a 20 cm por debajo de la superficie del agua. El excremento se aplica en forma diaria o al menos cada dos días.

En pequeños estanques se recomienda diluir el excremento sobre la tierra y distribuirlo manualmente a lo largo de la costa.

En Asia, se utilizan diversos mecanismos para aplicar la fertilización y en pequeños estanques de 0.5 hectáreas la distribución del excremento por el viento y las corrientes son suficientes para lograr los efectos deseados. Cuando se tienen naves de animales domésticos por encima de los estanques, para asegurar la distribución del excremento, se realizan actividades como: distribuirlos manualmente; construir canales o tubos de cemento o concreto para llevar los desechos a diferentes puntos en el estanque, por gravedad o bombeo y aplicar bolsas llenas de excremento que se colocan en las esquinas del estanque.

#### **Manejo de los desechos a través de la integración de animales de granja.**

Las granjas integrales desarrolladas en los países asiáticos nos muestran un claro ejemplo del uso y aprovechamiento de los desechos colocando en las partes adyacentes o encima de los estanques, naves para la engorda de pollos, cerdos, patos, gansos y otros organismos considerados como ganado menor. Al integrar la fuente de desechos tanto excrementos como residuos de alimento en los estanques de cultivo, se obtienen las siguientes ventajas:

- 1.- El valor nutricional del excremento y de los residuos alimenticios se mantiene, ya que se elimina la pérdida de nitrógeno y energía debida a la fermentación, evaporación y a la coagulación no reversible.
- 2.- Los residuos alimenticios son consumidos directamente por los organismos en cultivo.
- 3.- Los costos de colecta del excremento, almacenamiento y transporte son reducidos.
- 4.- Se ahorra el espacio que se requiere para cultivar el ganado menor.
- 5.- Se resuelve en forma parcial el problema de la contaminación ambiental debido a las excretas animales.
- 6.- Se mejora el medio ambiente circundante.
- 7.- Se ahorra dinero por los costos de alimentación en los estanques.
- 8.- Se logra una mayor eficiencia en la granja por el mejor uso de mano de obra. El número de organismos almacenados por unidad de área puede variar de acuerdo a la literatura reportada de la manera siguiente:

Patos 150 a 13,125/ha.

Pollos 1,000 a 10,000/ha.

Cerdos 15 a 300/ha.

Estas variaciones obedecen al clima, al manejo del agua y a las especies agrícolas empleadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AVAULT, J.W., R.O. SMITHERMAN and E.W. SHELL**, 1968. Evaluation of eight species of fish for aquatic weed control. *FAO Fish. Rep.* 44(5): 109-122.
- ARREDONDO, J.L.**, 1987. Policultivo de ciprínidos asiáticos en México. Tesis doctoral. Colegio de Ciencias y Humanidades. Univ. Nal. Autón. de México. 146p.
- BAQUEDANO, M., M.A. YOUNG., y H.L. MORALES.**, 1981. Los digestores, energía y fertilizantes para el desarrollo rural. Cuadernos de divulgación INIREB 7, Xalapa.
- BHANTUMNAVIN, K. and M.G. Mc. GARRY**, 1971. *Wolffia arrhiza* as possible source of inexpensive protein. *Nature, London*, 232 (5311): 495.
- BOYD, C.E.**, 1968a. Freshwater plants: a potential source of protein. *Economic Botany*, 22(4): 359-368.
- BOYD, C.E.**, 1968b. Some aspects of aquatic plant ecology. Reservoir Fisheries Society Symposium. Athens, Georgia, 1967. pp. 114-129.
- BOYD, C.E.**, 1969. The nutritive value of three species of water weeds. *Economic Botany*, 23 (2): 123-127.
- BOYD, C.E.**, 1973. Summer algal communities and primary productivity in fish ponds. *Hydrobiologia*, 41: 357-390.
- BOYD, C.E.**, 1978. Chemical composition of wetland plants. In: R.E. Good, D.F. Whigham and R.L. Simpson (ed). *Freshwater Wetlands*. Academic Press, New York, 155-167.
- BOYD, C.E.**, 1979. Water quality in warmwater fish ponds. *Exper. Stat, Auburn Univ. Alabama*, 359 p.
- BOYD, C.E.**, 1982. Water quality management for pond fish culture. *Developments in Aquaculture and Fisheries Sciences*. 9. Elsevier Scientific Publishing Company. 318 p.
- COLE, A.G.**, 1975. *Textbook of Limnology*. Sain Louis: The C. V. Mosby Company.
- CREMER, M.C. AND SMITHERMAN, R.D.**, 1980. Food habits and growth of silver an bighead carp in cages and ponds. *Aquaculture*, 20: 57-64.

**CULLEY, D.D. Jr., E. REJMANKOVA, J. KUET and J.B. FRYE, 1981.** Production, chemical quality an use of duckweeds (lemnaceae) in aquaculture, waste management and animal feeds. *J. World Maricul. Soc.* 12 (2): 27-49.

**EDWARDS, P.** 1980. Food potential of aquatic macropytes. *ICLARM Studies and Review* 5, Manila, Phillipines, 51p.

**EDWARDS, P., M. KAMAL and K.L. WEE, 1985.** Incorporation of composted and dried water hyacinth in pelleted freed for the tilapia *Oreochromis niloticus* (Peters) Aquaculture and Fisheries Management, 16(3): 233-248.

**FOGG, G.E.** 1965. Algal culture and phytoplankton ecology. Univ. Wis. Press, Madison. 126 p.

**GEIGER, J.G.** 1983a. Zooplankton production an manipulation in striped bass rearing ponds. *Aquaculture*, 35: 331-351.

**GOMEZ, A.S. LICEA, D.S. y FLORES C., 1974.** Ciclo anual del plancton en el sistema Huizache-Caimanero, México (1969-1970). *An Centro Cien. del Mar y Limnol., UNAM, México I* (1): 83-98.

**HALL, J.D., COOPER E.W. and WERNER E. E., 1970.** An experimental approach to the production dynamics and structure of freshwater animal communities. *Limnol. and Oceanog.* 15: 839-928.

**HANISAK, M.D., 1980.** Estimation of primary productivity from diet nitrate measurement of the water hyacinth *Eichornia crassipes* in an aquaculture system. *Aquaculture*, 19 (1): 75-86.

**HEISING, G., 1974.** Mass cultivation of *Daphnia pulex* in ponds: the effect of fertilization, aeration, and harvest on population development, pages 335-354 E. Styeznska-Jurewicz. T. Backiel, E. Dasper, and G. Personne, eds. *European Mariculture Society Special Publication No. 4.*

**HILLMAN, W.S. and D.D. CULLEY Jr., 1978.** The uses of duckweed. *American Scientist*, 66: 442-451.

**JUAREZ P.J. R. G.G. PALOMO MARTINEZ, M.L. CEBALLOS, S.C. FRANCO ROMERO, J.R. CAMPOS VERDUSCO, 1981.** Efectividad de un alimento balanceado y tres malezas acuáticas en el crecimiento de la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella* Cuv. et al 1839). *Rev. Lat. Acui.*, 10: 33-45.

- LIANG, S.K. and R.T. LOWELL**, 1971. Nutritional value of water hyacinth in channel carginh feed. *Hyacinth Control Journal*, 9: 40-44.
- MARGALEF, R.**, 1983. *Limnologia*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, 1010 p.
- MARTIN, R.D., R.L. NOBLE, P.W. BETTOLI and R.C. MAGGIO**, 1986. Mapping aquatic weeds with aerial color infrared photography and evaluating their control by grass carp. *J. Aquat. Plant. Manage.* 24: 46-56.
- MC. INTIRE, C.D. AND BOND, C.E.**, 1962. Effects of artificial fertilization of plankton and bethos abundance in four experimental ponds. *Trans. Americ. Fish. Soc.* 91: 303-312.
- MOOZHILYIL, M. and J. PALLAUF**, 1986. Chemical composition of the water fern, *Salvinia molesta* and its potential as feed source for ruminants. *Economic Botany*, 40(3): 375-383.
- OPUSZYNSKI, K.**, 1962. Use of phytophagous fish to control aquatic plants. *Aquaculture*, 5(1): 61-73.
- PARSONS, R.T., STEPHENS, K., AND TAKAHASHI, M.**, 1972. The fertilization of great central lake. I. Effect of primary production. *Fishery Bulletin*, 70(2): 13-23.
- POLISINI, J.M. and C.E. BOYD**, 1972. Relationships between cellwall fractions, nitrogen and standing crop in aquatic macrophytes. *Ecology*, 53(3): 284-288.
- PORATH, D., B. HEPHER and A. KOTON**, 1979. Duckweed as an aquatic crop: evaluation of clones for aquaculture. *Aquat. bot.*, 7: 273-279.
- PULLIN, R.S.V. and G. ALMAZAN**, 1983. *Azolla* as a fusc fish food. *ICLARM Newsletter*, 6(1): 6-7.
- REJMANKOVA, E.**, 1978. Growth production and nutrient uptake of duckweeds in fish ponds an in experimental cultures In: C. Dykyjova and J. Kuet (eds): pond littoral ecosystems. *Ecological Studies* 28. Springer, Berlin., pp. 278-285.
- ROOM, P.M. and P. A. THOMAS**, 1986. Nitrogen, phosphorus and potasium in *Salvinia molesta*. Michell in the field: effect of the weather, insect damage, fertilizer and age. *Aquat. Bot.* 24: 213-232.
- SAEED, M.D. and C.D. ZIEBELL**, 1986. Effects of dietary non preferred aquatic plants on the growth of Redbelly tilapia (*Tilapia zillii*). *The Progressive Fish Culturist*, 48: 110-112.

**SCHROEDER, G.L.**, 1980. The breakdown of feeding niches in fish ponds under conditions of severe competition. *Bamidgeh*, 32: 29-42.

**SCHWARTZ, S.S., and R. E. BALLINGER.**, 1980. Variations in life history characteristics of *Daphnia pulex* fed different algal species. *Ecologia (Berlin)* 44: 181-184.

**SHIREMAN, J.V. D.E. COLLE and D.E. CANFIELD Jr.**, 1986. Efficacy and cost of aquatic weed control in small ponds. *Water Resources Bulletin*, 22(1): 43-48.

**SILLS, J.B.** 1970. A review of herbivorous fish for weed control. *The Progressive Fish Culturist*, 32 (3): 158-161.

**SMITH, D.W. and S.D. COOPER.** 1982. Competition among cladocera. *Ecology*. 63: 1004-1015.

**SPATURE, P.**, 1977. Gut contents of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* (val.) and some trophic relations to other fishes species in a polyculture system. *Aquaculture*, 11: 137-146.

**TAN, Y.T.**, 1970. Compositium an nutritive value of some grasses, plant and aquatic weeds tested as dietes. *Journal of Fish Biology*, 2: 253-257.

**VAN DYKE, J.M. A.J. LESLIE and J.E. NALL Jr.**, 1984. The effects of the grass carp on the aquatic macrophytes of Four Florida Lakes. *J. Aquat. Plant Manage.*, 22: 87-95.

**VAN DYKE, J.M. and D.L. SUTTON**, 1977. Digestion of duckweed (*Lemna sp*) by the grass carp (*Ctenopharyngodon idella* val ). *Journal of Fish Biology* 11: 273-274.