

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

*Cultivo de machos de *Oreochromis niloticus*.*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

SAUCEDO PADILLA DANIEL

DIRECTORA: Dra. BERTHA PEÑA MENDOZA

Octubre 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

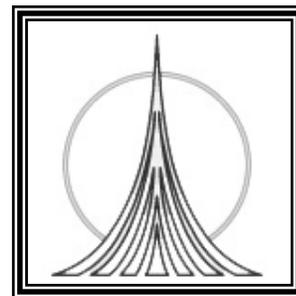


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

Cultivo de machos de Oreochromis niloticus.

SAUCEDO PADILLA DANIEL

DIRECTORA: Dra. BERTHA PEÑA MENDOZA

Octubre 2008

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de ser parte de ella, ante lo cual me siento muy orgulloso.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por ser la casa de mi desarrollo profesional y mi segundo hogar por mucho tiempo.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza por ser mi guía en la realización de este trabajo, pero de ante todo, le doy las gracias por los consejos y por las enseñanzas que durante tanto tiempo me ha proporcionado, además de su paciencia y comprensión.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez, por compartir conmigo sus conocimientos, su paciencia, consejos, comprensión, facilidades y colaborar en gran medida a la realización de este proyecto, además, por ser una persona que en lo profesional admiro mucho, pero que en lo personal estimo en gran medida, al igual que a la Dra. Bertha, les agradezco el haberme brindado su valiosa amistad.

Al Biól. José Luis Guzmán Santiago por su amistad, por los consejos durante mi estancia en este laboratorio y la colaboración para la realización de este trabajo.

A la Biól. Angélica Elaine Gonzáles Schaff, por sus observaciones comentarios en la revisión del escrito de este trabajo.

Al Biól. Raúl Arcos Ramos, por su valiosa participación en la revisión de este escrito y sus acertados comentarios para la realización del trabajo final.

Al Biól. Ernesto Constanzo Casillas, por aceptar ser revisor de este trabajo y por sus comentarios y sugerencias para mejorar el escrito final.

A todos mis compañeros del laboratorio de limnología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por su colaboración durante la realización de este proyecto y por hacer muy agradable mi estancia en el laboratorio.

A todo el personal académico de la Facultad que colaboro y participo la formación de mi carrera profesional.

A mis compañeros de carrera por el tiempo compartido y la amistad brindada.

DEDICATORIAS

A mis padres, Enrique † y Virginia, por haberme formado como la persona que soy en la actualidad y por su apoyo durante toda mi vida.

A mi grandiosa esposa y amiga, ya que sin su apoyo y empuje no creo haber podido realizar esta meta. "Rox, eres lo mejor que me ha pasado y lo sabes, te amo con toda mi alma"

A Jaquelin, Daniel y Alfredo, por ser los mejores hijos que cualquiera pueda desear. "Espero que esto los inspire a ser los mejores en lo que hagan en la vida y aprendan que siempre se pueden lograr las metas que se fijen, solo hace falta empeño y aguante para los momentos difíciles"

A mis hermanos Martha, Rubén, Enrique, Pedro †, Juventino, Virginia y Alicia, por haber tocado mi vida y hacerla especial." Los quiero un montón"

A mi sobrina Vicky por ser una persona muy especial en mi vida. "Eres mi hermanita preferida y lo sabes"

A Miguel Ángel, gracias por seguir considerándome tu amigo y por todos los momentos agradables que pasamos durante la carrera."Dicen que la familia te la manda Dios, pero que a los amigos uno los elige, sabes que siempre has sido un hermano para mí"

A Caridad y Sergio, que son de las personas más grandiosas y especiales que yo puedo decir que conozco en esta vida. "Nunca cambien compadres y sean felices por siempre"

A toda mi familia por completo (tíos, primos, sobrinos, etc.), por el apoyo recibido y las palabras de animo cuando estas faltaban.

A todos los miembros del H. Cubo: Jorge, Arturo, Zenia, Juan Manuel, Rogelio, Ara, Miguel Ángel, Néstor, Caridad, Sergio, Victoria, Memo, Ale, Benito, Gabriela, Iván, Elena, Esmeralda, Eleonora, Luis Miguel. "Gracias por todos los buenos momentos y quiero que sepan que siempre los recordare durante muchos años" "Hasta que la quema nos separe"

A mis compañeros y amigos del S.T.C, Roy, Soto, Vane, Milla, Ramiro Pérez, Nava, Artau, Espino, Ramoncito, y a todos los demás que no recuerdo en este momento.

A todas las demás personas que puedo llamar amigos. "GRACIAS TOTALES"

ÍNDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
DIAGNOSIS DE LA ESPECIE	5
DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA	6
Descripción morfológica y merística de la especie <i>Oreochromis niloticus</i>	6
ÁREA DE ESTUDIO	8
JUSTIFICACIÓN	10
OBJETIVOS	11
MATERIAL Y MÉTODOS	12
RESULTADOS	16
Parámetros fisicoquímicos	16
Parámetros biológicos	23
Fitoplancton	37
DISCUSIÓN	40
CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	52
ÍNDICE DE FIGURAS	58

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el crecimiento de dos cultivos de peces machos de la especie *Oreochromis niloticus*, los cuales fueron revertidos sexualmente por parte de la Unidad de Producción de Peces en Zacatepec, Morelos, perteneciente a la SAGARPA. Ambos cultivos fueron realizados en forma simultánea en 189 días entre mayo y noviembre, registrándose un promedio de 4.9 cm de talla y 1.7 g de peso para los peces al momento de la introducción en ambos sistemas.

Uno de los cultivos fue realizado bajo condiciones controladas en 12 acuarios de 40 litros de capacidad en los cuales se colocaron 10 organismos por cada uno, a estos se les suministro aireación continua para mantener adecuados los niveles de oxígeno disuelto (6 mg/L), se les mantuvo la temperatura constante a 25 °C y se les proporciono una alimentación rica en proteína animal al 45%. La calidad del agua en este sistema se controló realizando recambios parciales semanales, lográndose obtener un crecimiento para los peces de tipo alométrico negativo ($b=2.935$), factor de conversión de alimento (FCA) total de 2.8:1, con tallas promedio de 12.1 cm en longitud patrón y 49.9 g en peso total para cada pez al momento de la cosecha. La tasa de crecimiento instantáneo en longitud y peso tuvo promedios de 0.60 cm/día y 1.75 g/día respectivamente y el incremento diario promedió 0.016 g/día en peso y 0.044 cm/día en longitud; el porcentaje de ganancia en peso tuvo un promedio de 37 %. Los peces cultivados en estos sistemas, tuvieron una mortalidad total del 82 %.

El otro cultivo fue realizado en un estanque de cemento de 5 m. de ancho por 10 m. de largo y con tres divisiones, el agua de este cultivo estuvo expuesta a las condiciones climáticas de la ciudad de México, se le realizó una fertilización química a razón de 235 kg/ha de triple 17 y 60 kg/ha de urea; la temperatura del agua tuvo fluctuaciones entre los 13 y 26 °C durante el tiempo de cultivo. El pH del agua registrado fue en promedio de 9.4 con tendencia a la basicidad hacia noviembre. El factor de conversión de fertilizante fue 3.1:1. La densidad fitoplanctonica calculada en este sistema fue de 2 243 904 cél/ml, de las cuales el 87.71 % correspondió a la división Chlorophyta y se determinaron 38 especies distribuidas en cuatro divisiones. El valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener que se calculo fue de 2.55 al inicio del cultivo y 0.57 durante noviembre. Los valores de la equitatividad registraron el máximo en junio (0.86) y el mínimo en septiembre (0.17). El incremento diario promedio en peso para *O niloticus* fue de 0.035 g/día y 0.013 cm/día en longitud patrón. La tasa de crecimiento instantáneo tuvo un promedio 0.26 cm/día y 0.80 g/día. Se obtuvo una mortalidad total del 62 %. El crecimiento de los peces fue alométrico positivo ($b=3.0844$) y no existieron diferencias estadísticas significativas entre los valores de las pendientes de las diferentes divisiones y las del estanque en general. El análisis de varianza mostró que no existieron diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de los peces en las diferentes divisiones del estanque ($F=0.82$, $p=0.44$) (Levene= 2.03; $p=0.13$). El rendimiento total obtenido para este sistema fue de 0.169 ton/ha/189 días con promedios finales de 6.5 cm de talla y 8.9 g de peso.

INTRODUCCIÓN

Los peces denominados genéricamente “tilapias” han suscitado y recibido, quizás mayor atención que cualquier otro grupo de peces en todo el mundo. La tilapia, nombre común que en dialecto swahili, significa pez fue empleado por primera vez por Smith en 1840, incluye a los géneros *Tilapia* y *Oreochromis* entre otros, (con más de 100 especies), las cuales son originarias de África; se extendieron posteriormente hacia el norte de Israel y Jordán (Bocek, 2003) y luego de la Segunda Guerra Mundial, fueron introducidas a varios países de Asia y América (Bayuelo y Sanz, 2005). Los japoneses la llaman telepia y en muchos países en el mundo también ha sido llamada perca (perch), Saint Peter’s fish, bream, cherry snapper, Nile perch, Hawaiian sun fish, mudfish, pargo rojo de agua dulce y mojarra en países como Colombia y México (Castillo, 2001).

Las especies del género *Oreochromis* son las de mayor aceptación en cultivo comercial, destacándose entre ellas *O. niloticus*, llamada “tilapia del Nilo”, *O. aureus*, llamada “tilapia azul” y *Oreochromis* spp o “tilapia roja” (Wicki y Gromedina, 1997; citado en: Bayuelo y Sanz, 2005).

En la actualidad son muchos los países como por ejemplo, Australia, Israel, Francia, Colombia, México, Estados Unidos, y algunos países de Asia y África, que dedican recursos para la investigación del cultivo de *Oreochromis sp* (Alamilla, 2001). Los atributos que convierten a la tilapia en uno de los organismos apropiados para la piscicultura son rápido crecimiento, fácil reproducción, resistencia a enfermedades, elevada productividad, tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, capacidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno y a diferentes salinidades, así como la habilidad de nutrirse a partir de una amplia gama de alimentos naturales y artificiales. La calidad de la carne es excelente lo cual hace que constituya un pescado altamente apetecible para el consumidor (Basurto, 1984; Castillo, 2001; Morales, 1991; Alamilla, 2001; Bocek, 2003, Bayuelo y Sanz, 2005).

El desarrollo del cultivo de la tilapia en el mundo en los próximos años y en especial en países como México, el cual cuenta con importantes recursos naturales para el cultivo de ese pez, se sustentará en la adopción de tecnología moderna para aumentar la producción por unidad de superficie (Castillo, 2001).

En México, el volumen total de la producción pesquera en el año 2003 fue de 1 564 966 toneladas, de las cuales 67 180 toneladas corresponden a la producción total de tilapia; de estas 61 516 toneladas son cultivadas, lo que represento el 4.36% del total de la producción pesquera de ese año, el resto de las tilapias se capturan en embalses naturales y artificiales (Anónimo, 2003).

Su fácil adaptación, amplia resistencia, rápido crecimiento y elevada productividad hacen de *Oreochromis niloticus*, una de las especies favoritas para los sistemas de cultivo en el medio rural. Sin embargo, su elevada tasa reproductiva genera un excedente de reclutas que baja los rendimientos y encarece los costos de

producción. Para mejorar la rentabilidad económica y financiera de los cultivos, resulta indispensable manejar poblaciones masculinizadas, ya que los machos alcanzan un tamaño más grande que las hembras (Moreno, 2004).

En años recientes se ha impulsado la producción masiva de crías 100% machos, a través de diferentes técnicas en las que destaca la reversión sexual por su amplio uso, que consiste en la aplicación de hormonas esteroides en etapas tempranas de su desarrollo, aún cuando no se diferencian los tejidos gonádicos para producir poblaciones masculinizadas (Moreno, 2004).

Las tilapias son el segundo grupo de peces que se producen por acuicultura mundial, con una contribución a la producción de aproximadamente el 20 % del volumen total de peces, incrementándose en más del 85 % exclusivamente entre 1984 y 1992, siendo *O. aureus* equivalente al 80 % de la producción, seguida de la *O. niloticus* con el 5 % (Castillo, 2001).

ANTECEDENTES.

En México las primeras tilapias fueron introducidas en 1964, procedentes de Alabama; Estados Unidos, se registraron como: *Tilapia melanopleura* (= *Tilapia rendalli*), *Tilapia aurea* (= *Oreochromis aureus*) y *Tilapia mosambica* (= *Oreochromis mossambicus*). No obstante Trewavas en 1975, indicó que las especies presentes en México eran: *Tilapia rendalli*, *Sarotherodon aureus* y *Sarotherodon mossambicus*, respectivamente.

Sarotherodon aureus (= *Oreochromis aureus*), también conocida como Tilapia aurea, fue enviada hacia E.U. proveniente de Israel, bajo el nombre erróneo de tilapia nilotica (= *Oreochromis niloticus*). Cuando llegó a México procedente de E.U, aún no se aclaraba su situación taxonómica por lo que se le consideró como *tilapia nilotica* por varios años. Actualmente está claramente definida como *Oreochromis aureus* y fue hasta 1976 en que se introdujeron a México los primeros ejemplares de *T. nilotica* (= *Oreochromis niloticus*), procedentes de Panamá (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986).

La adaptación de la tilapia en nuestro país ha sido amplia y esto hace que actualmente se les encuentre en la mayoría de los cuerpos de agua de México, que se localizan en las zonas tropicales como los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Michoacán, Veracruz, y Sinaloa.

Flores₂ (1994), realizó un estudio que consistió en la evaluación del crecimiento de *O. niloticus* en estanques de concreto con fertilización inorgánica y orgánica, bajo las condiciones climáticas de la Ciudad de México. El tipo de crecimiento que presentó la población fue alométrico negativo. La tasa de crecimiento instantáneo mostró que el tratamiento orgánico presentó mayor ganancia en peso, debido a la materia orgánica como fuente de alimento adicional. La producción total obtenida fue de 2,138 kg/ha/300días para el estanque con fertilización orgánica y 1,506 kg/ha/300días para el estanque con fertilización inorgánica y determinó que el mayor factor de conversión de alimentos se obtuvo para los peces con fertilización orgánica.

Bernal (1998), trabajó con *O. niloticus* en dos estanques de concreto, con tres divisiones cada uno; uno de los estanques se fertilizó con 2 ton/ha de estiércol de vaca (fertilizante orgánico) y el otro con urea y triple 17 (fertilizante químico) a razón de 20 kg/ha y 62 kg/ha respectivamente por semana, en ambos estanques se introdujeron 6 organismos por m². Finalmente reportó para la división 1 de ambos estanques, crecimiento alométrico negativo, mientras que en las otras dos divisiones de cada estanque se registró crecimiento alométrico positivo. En el estanque orgánico se obtuvo una ganancia promedio diaria de 0.020 g/día y 0.0067 cm/día, mientras que el estanque químico se registraron valores de 0.024 g/día y 0.008 cm/día.

Green *et al.* (1989), reportaron que la fertilización orgánica (vacaza) e inorgánica (superfosfato triple y urea), tienen eficacia similar en la producción de tilapia del

Nilo, pero son mucho mejor los desperdicios de pollo, ya que se obtienen mayores ganancias en producción neta. Así, se tiene que el desperdicio de pollo produjo 1,759 kg/ha, la vacaza 1,295 kg/ha y el fertilizante químico 1,194 kg/ha en 150 días

Garrido (2005), determinó el crecimiento de *O. aureus* en condiciones de la Ciudad de México, el cual se realizó solamente con fertilización química a razón de 20 kg/ha de superfosfato y 62 kg/ha de urea. El cultivo se llevo a cabo con densidad de 6 organismos/m². Reportó crecimiento de tipo alométrico negativo y crecimiento diario en peso total de 0.079 g/día y en longitud patrón de 0.141 mm/día. Las densidades fitoplanctónicas se reportaron entre 50 y 300 millones de cél/L, con dominancia de la división Chlorophyta (98.62%).

Pérez y Patlani (2002), reportaron un valor de pendiente de 2.9545, para la relación peso-longitud para la población total de machos, en un estudio realizado para determinar edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata en el estado de Morelos, México y estadísticamente comprobaron que la pendiente no era diferente de tres por lo que determinaron un crecimiento del tipo isométrico, diferente del crecimiento presentado por las hembras (alométrico negativo) en el mismo trabajo.

Garduño y Avelar (1996) en un trabajo para determinar la edad y crecimiento de la mojarra (*Oreochromis niloticus*) en la laguna de Coatetelco en Morelos encontraron valores de pendiente menores de tres para hembras (2.357) y machos (2.371), con lo que determinaron por medio de una prueba "t" de student, que el tipo de crecimiento presentado por estos organismos para ambos sexos era alométrico negativo, lo cual significa que el crecimiento es mayor en talla que en peso.

DIAGNOSIS DE LA ESPECIE

Para el manejo científico y técnico, las más de 70 especies y 100 subespecies de tilapias han sido agrupadas en cuatro géneros de la Tribu Tilapiini de acuerdo a sus hábitos reproductivos: *Oreochromis* (Gunther), *Tilapia* (Smith), *Sarotherodon* (Rupell) y *Danakilia* (Thys).

Sin embargo, la Dra. Ethelvyn Trewavas en 1983, realizó una nueva clasificación basada en la dentición y hábitos reproductivos, y adiciona dos géneros: ***Tristamella*** y ***Pelmatochromis*** (Morales, 1991).

De acuerdo con Berg y modificado por Trewavas (1983; citado en Morales, 1991) las mojarras se clasifican de la siguiente forma:

Phylum: Chordata
Subphylum: Vertebrata
Superclase: Gnathostomata
Serie: Pisces
Clase: Actinopterygii
Orden: Perciformes
Suborden: Percoidei
Familia: Cichlidae
Género: *Oreochromis*
Especie: *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757)

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Familia *Cichlidae*

La familia *Cichlidae* se caracteriza por presentar peces de coloración muy atractiva, principalmente los nativos de África, América Central y la parte tropical de Sudamérica.

Los cíclidos se diferencian de la gran mayoría de los peces dulceacuícolas por la presencia de un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo, es generalmente comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado; en muchas especies, la cabeza del macho es invariablemente más grande que la de la hembra, algunas veces con la edad y el desarrollo se presentan en el macho tejidos grasos en la región anterior y dorsal de la cabeza (dimorfismo sexual) (Hepher y Pruginin, 1985; Morales, 1991).

La boca es protráctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por los labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Pueden o no presentar un puente carnoso (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media, debajo del labio. Presentan membranas branquiales unidas por 5 ó 6 radios branquióstegos y un número variable de branquiespinas, según las diferentes especies. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta y consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados. La aleta caudal está redondeada, trunca o más raramente escotada, según la especie.

La línea lateral está interrumpida y se presenta generalmente dividida en dos partes; la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, mientras que la porción inferior, aparece por debajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. Presentan escamas tipo cicloideo. El número de vértebras aumenta con la edad y puede ser de 8 a 40 (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986; Morales, 1991).

Descripción morfológica y merística de la especie Oreochromis niloticus

O. niloticus, tiene de 19 a 22 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial; AD: XVII-XVIII, con moda de XVII, 12-13; AA: III, 10-11; AP: I, 5; pectorales 15, de 30 a 32 escamas en una serie longitudinal. En cuanto al hueso faríngeo, en su parte frontal presenta un área dentada con menor cantidad de dientes que otras especies, tiene dientes bicúspides en la parte superior y en la inferior dientes monocúspides curvados hacia atrás (Arredondo-Figueroa y Tejada-Salinas, 1989).

Presenta coloración grisácea oscura, la aleta caudal tiene franjas negras delgadas y verticales finas (Fig. 1). El color de los ojos es rosado claro. El margen superior de la aleta dorsal es negro o gris. En los machos durante la reproducción, la superficie ventral del cuerpo tienen manchas rojas; el perfil frontal es convexo (Morales, 1991).

Las tilapias como se les conoce en México, son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales del país. Se les encuentra en aguas lénticas principalmente, así como también a las orillas de los ríos entre piedras y plantas acuáticas.

Son especies euritermas siendo el intervalo de tolerancia de 12°C a 42°C. La temperatura ideal para su cultivo fluctúa alrededor de 25°C. Pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas por lo que se les considera especies eurihalinas. Soportan concentraciones de oxígeno disuelto bastantes bajas, su requerimiento mínimo es de 2 mg/L. Se reproducen a temprana edad alrededor de las 8 o 10 semanas, alcanzando una talla de 7 a 16 cm, el género *Oreochromis* es preferentemente planctófago.



Figura 1. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757)

ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se realizó en la Unidad Acuícola Experimental de la Facultad de Estudios Superiores (F.E.S) Zaragoza Campus II U.N.A.M. la cual se encuentra instalada en la delegación Iztapalapa del Distrito Federal (Fig. 2), según la clasificación de Köppen, la zona presenta un clima de tipo Cb (wo) (w) (i') g; templado húmedo con verano fresco largo, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C. La temperatura más baja se presenta en el mes de enero y la más alta en mayo. El mes mas caliente se presenta antes del solsticio de verano; presenta una oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 5 y 7 °C, con precipitación media anual de 634 mm, porcentaje de lluvia invernal menor al 5 % de la anual (García, 2004).

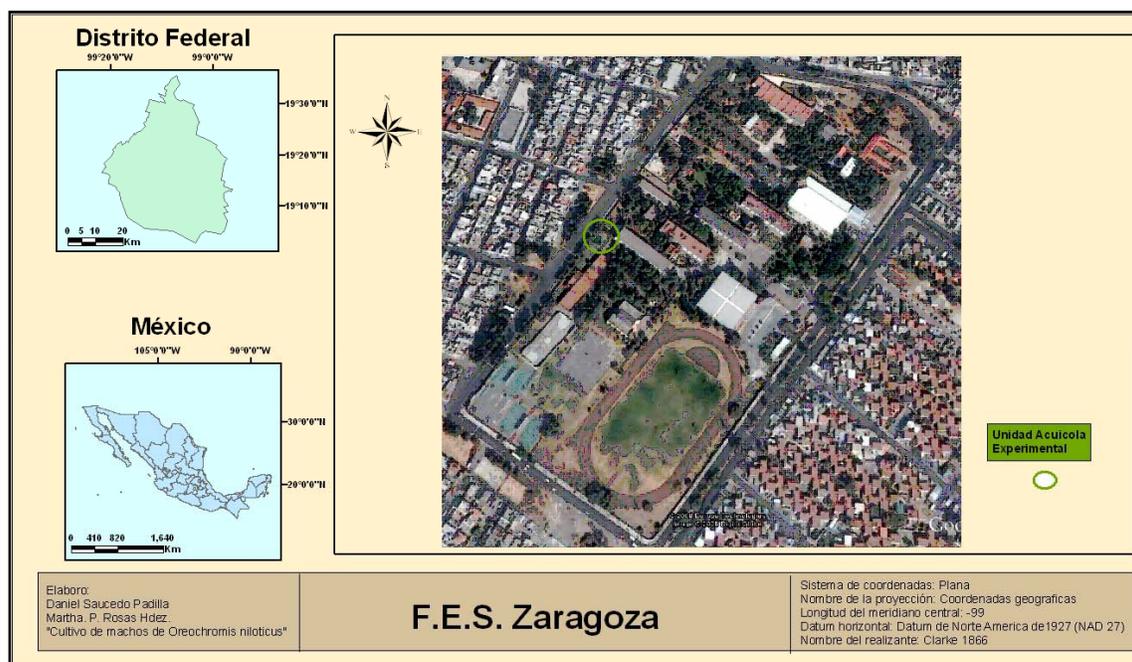


Figura 2. Ubicación geográfica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II

La unidad cuenta dos tanques de cemento de 5 metros de ancho por 10 metros de largo y 1.5 metros de profundidad (Fig. 3), los cuales están divididos cada uno en tres secciones, las cuales fueron realizadas aproximadamente a 3.3 metros de distancia entre ellas y los bordes; además cuenta con una unidad de laboratorio que tiene capacidad para la realización de cultivos en condiciones controladas.



Figura 3. Estanque de cemento de la unidad acuícola experimental de la F.E.S Zaragoza

JUSTIFICACIÓN

El propósito de esta investigación fue analizar el crecimiento de un cultivo de peces machos revertidos sexualmente de la especie *Oreochromis niloticus*, que se sometieron a un método de cultivo de tipo semi-extensivo, en condiciones climáticas de la ciudad México, las cuales difieren de las condiciones naturales en las cuales se encuentra esta especie. Las ventajas de la realización de cultivos con peces monosexados, radica en el hecho de que algunos autores refieren que esta especie en condiciones naturales reduce su crecimiento durante las temporadas de reproducción, por lo cual se disminuye la producción en los sistemas en donde se lleva a cabo su cultivo con organismos de ambos sexos, esta disminución es debida a la desviación de energía al aspecto reproductivo, y también, a que en las hembras maduras las gónadas equivalen casi al 30 % del peso total del organismo, de ahí la importancia de evaluar el crecimiento de cultivos realizados solamente con poblaciones masculinizadas de esta especie, ya que estos alcanzan un tamaño más grande que las hembras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Analizar el crecimiento de *Oreochromis niloticus* bajo dos diferentes condiciones de cultivo: condiciones controladas de laboratorio y cultivo bajo condiciones climáticas de la ciudad de México.

OBJETIVOS PARTICULARES.

1. Realizar el análisis de los parámetros físicos y químicos del agua durante el experimento (temperatura, concentración de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, dureza, alcalinidad y amonio).
2. Evaluar el porcentaje de ganancia en peso y talla y la tasa de crecimiento en biomasa y talla para los organismos de los dos sistemas de cultivo.
3. Obtener el incremento en peso (g/día) y longitud (cm/día), así como la relación peso-talla de los organismos para los dos sistemas de cultivo.
4. Determinar la abundancia y composición del fitoplancton durante el desarrollo del proyecto, así como sus variaciones para el cultivo de tipo semi-extensivo.
5. Realizar el análisis comparativo de la producción de los diferentes sistemas.

MATERIAL Y MÉTODOS

La realización de este proyecto se llevó a cabo en tres fases, las cuales fueron:

Fase experimental

Para la realización del experimento se utilizaron 360 organismos de la especie *Oreochromis niloticus*, los cuales previamente fueron sometidos a un método de reversión sexual por parte de la Unidad de Producción de Peces en Zacatepec, Morelos, perteneciente a SAGARPA para la obtención únicamente de organismos machos y donados a la facultad para la realización de este proyecto; estos fueron colocados en un sistema de cultivo de tipo semi-extensivo, el cual se llevo a cabo en un estanque de concreto con área de 50 m², el cual cuenta con tres divisiones y se utilizo una profundidad de agua de 60 cm, en cada división se colocaron 80 organismos a razón de 6 org/m² con peso promedio de 1.8 g, tomando en consideración un 10 % de mortalidad.

El estanque previamente se lavó con abundante agua y luego se inundó a una profundidad de 10 cm para aplicar fertilizante de tipo orgánico (vacaza, a razón de 2 ton/ha) como una medida de tratamiento inicial. El estanque se dejo fermentar por un periodo de 3 semanas al término de las cuales se inundo a 60 cm aproximadamente y posteriormente se realizaron aplicaciones de fertilizante químico en función de la transparencia y se comenzó con el análisis de los parámetros fisicoquímicos del agua para saber si las condiciones eran las propicias para la introducción de los organismos.

El cultivo de esta especie bajo condiciones controladas, se realizó en 12 peceras de 40 litros de capacidad en las cuales se colocaron 10 organismos por cada una, se mantuvieron constantes la temperatura del agua (25 °C) por medio de calentadores eléctricos y la aireación del agua por un sistema electromecánico para mantener constante la cantidad de oxígeno disuelto (> 6 mg/L), se le realizaron recambios parciales del agua cada 7 o 15 días, dependientes de la concentración de amonio (menor a 0.5 mg/L), así como también de la cantidad de desechos de los peces y del alimento. Se les proveyó a los peces de una dieta diaria de alimento de la marca SilverCup enriquecido con proteína animal al 45 %, a razón del 6 % de la biomasa total, la cual se administro en varias porciones durante el día, conforme se desarrollaron los organismos.

Mensualmente, se tomo la biometría a 30 individuos por cada división del estanque, así como también de los peces en acuario, la que consistió en el registro de las longitudes total (Lt), patrón (Lp) y la altura (A), con la ayuda de un ictiómetro convencional con precisión de ± 0.01 m, el peso total (Pt) se registro con una balanza digital Ohaus Triple Beam de ± 0.1 g de precisión.

Fase de laboratorio.

En esta fase se determinaron los factores físico-químicos de la calidad del agua del estanque; los cuatro primeros parámetros dos veces a la semana y los restantes una vez al mes, por los siguientes procedimientos:

Parámetro	Método	Referencia
Oxígeno disuelto	Winkler, con modificación al azida de sodio	APHA, (1992)
PH	Potenciométrico.	Rodier, (1990) APHA, (1992)
Temperatura	Termómetro de mercurio de inmersión parcial de -10 a 120 con ± 1 °C de precisión.	Rodier, (1990)
Conductividad eléctrica	Conductímetro de campo.	Rodier (1990)
Amonio	Fenato	APHA,(1992)
Alcalinidad	De indicadores	APHA,(1992)
Dureza	Complejométrico (EDTA)	Rigola, (1999)

Para la determinación del fitoplancton se utilizó el método de Uttermohl (Wetzel y Likens, 1991), el cual consistió en la toma de una muestra de agua a 0.20 m de profundidad con una botella Van Dorn de dos litros de capacidad, de la cual se tomó una porción en una botella de polietileno de 100 ml, para su posterior fijación con acetato de lugol; de esta muestra fijada se obtuvo una alícuota de 1 ml para colocarla en una cámara de sedimentación, y realizar la observación con un microscopio invertido y así calcular la abundancia y la composición del fitoplancton presente. Los organismos se determinaron cuando fue posible a nivel específico, con ayuda de las referencias de Comas (1996), Dillard (1989), John *et al* (2002) y Ortega (1984).

Fase de gabinete:

En esta fase se evaluó la producción, la cual se realizó por medio de:

La determinación del porcentaje de ganancia en peso (Teshima *et al.*, 1978; citado en Torres, 1989) con la siguiente ecuación:

$$\% P = \frac{P_t - P_o}{P_o} (100)$$

Donde: P_o = peso inicial (g)

P_t = peso final (g)

Tasa de crecimiento instantáneo (Ricker, 1968).

$$G = \frac{\ln Y_t - \ln Y_i}{(T_f - T_i)}$$

Donde: G = Tasa de crecimiento

Y_f = Promedio de la talla o peso final

Y_i = Promedio de la talla o peso inicial

t = tiempo (días)

T_f = Tiempo final

T_i = Tiempo inicial

Incremento (IC) en talla (cm/día) y peso (g/día) (Ricker, 1968).

$$IC = \frac{Y_f - Y_i}{t_f - t_i}$$

Donde:

Y_f = peso o talla final (g o cm)

Y_i = peso o talla inicial (g o cm)

t_f = tiempo final

t_i = tiempo inicial

La relación peso total – longitud patrón se obtuvo por medio de la siguiente expresión:

$$P = aL^b$$

Donde: P = peso total (g)
L = longitud patrón (cm)
a y b = constantes

Por medio de una transformación logarítmica se convirtió en una expresión lineal y a través del método de mínimos cuadrados se obtuvieron los valores de la pendiente (b) y del intercepto (Log a), con lo cual se obtuvo la ecuación de la recta.

Posteriormente se realizó el análisis de t-student a las pendientes, para determinar si el tipo de crecimiento de estos organismos era isométrico ($b = 3$) o alométrico ($b \neq 3$), esto se aplicó tanto a los organismos por división, como a los valores de la totalidad de los peces del estanque así como también a la totalidad los peces cultivados en los acuarios.

El comportamiento del crecimiento en peso y longitud se expresó mediante la utilización y análisis de diagramas de cajas (Salgado, 1992).

Se realizaron las gráficas de valores de los factores físicos y químicos del agua para observar su comportamiento durante el estudio y se aplicó la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$) para determinar si existen diferencias estadísticas entre los meses de muestreo (Daniels, 1982).

RESULTADOS

Parámetros fisicoquímicos

Se realizó el cultivo de la tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) de abril a noviembre del 2006 en estanques de concreto de 50 m², con tres divisiones a razón de 6 org/m², utilizando fertilización química en función de los valores de la transparencia al disco de Secchi. Los resultados de la variación temporal de los factores ambientales así como de los nutrimentos registrados y el comportamiento del crecimiento de los organismos se muestran a continuación.

El comportamiento de la temperatura del ambiente y del agua (Fig. 4) tuvo una tendencia a la disminución a través del estudio. La temperatura ambiental máxima se registró durante abril y mayo (30 °C) que correspondió al inicio de la época de lluvias y la mínima en el mes de Noviembre (13 °C) en el comienzo de la época de secas. La prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de los parámetros ($H_{T_a}= 27.622$, $p<0.05$; y $H_{T_{amb}}= 26.113$, $p<0.05$) mostró diferencias estadísticas significativas de manera temporal.

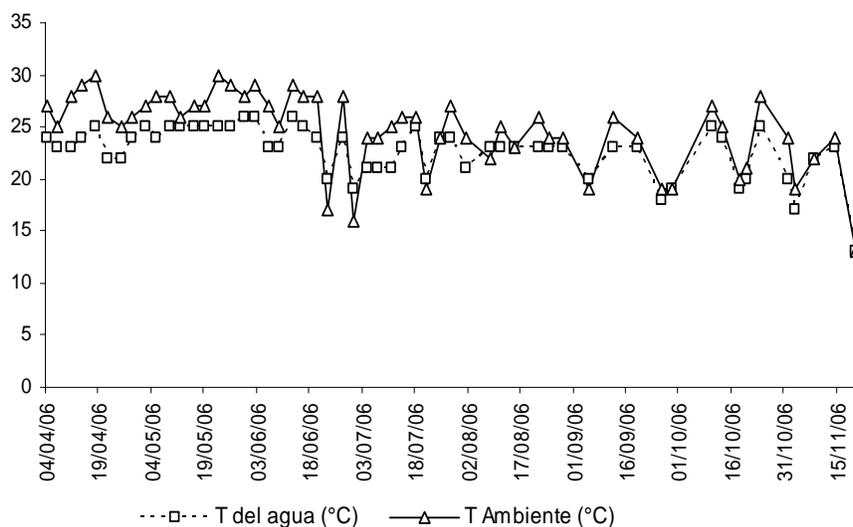


Figura 4. Variación de la temperatura durante el desarrollo del cultivo en el estanque de cemento

El oxígeno disuelto mostró una disminución al comienzo del proyecto registrando niveles menores durante los meses con temperaturas mas altas e incremento durante los meses fríos (Fig. 5). El valor máximo (19.1 mg/L) se registró durante abril y el valor mínimo (6.6 mg/L) durante junio, con un promedio de 10.9 mg/L, lo que resultó en diferencias estadísticas significativas entre los meses de acuerdo al análisis de Kruskal-Wallis ($H_0 = 40.125$ $p < 0.05$).

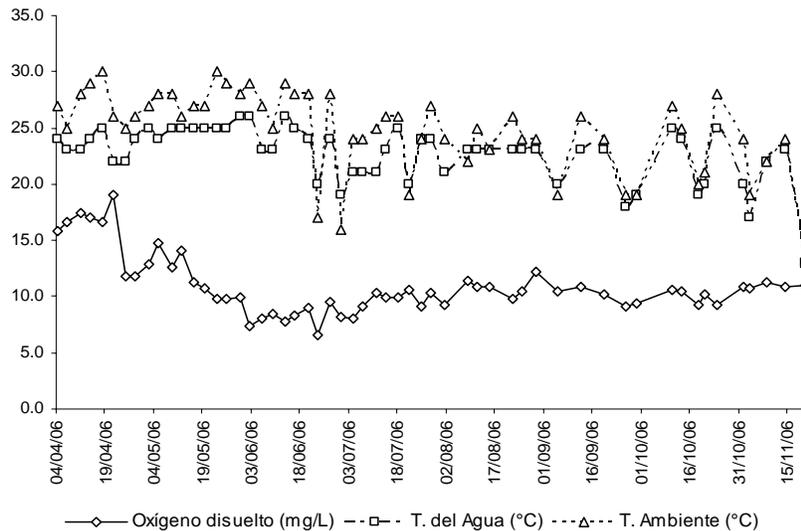


Figura 5. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en agua durante el cultivo en el estanque

La conductividad mostró tendencia a la disminución hacia el final del estudio, registrando el valor máximo (3 460 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en abril y el valor mínimo (1 590 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en noviembre, con promedio de 2 610 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig. 6). El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticas significativas entre los meses de cultivo ($H_{\text{Cond}} = 49.970$ $p < 0.05$).

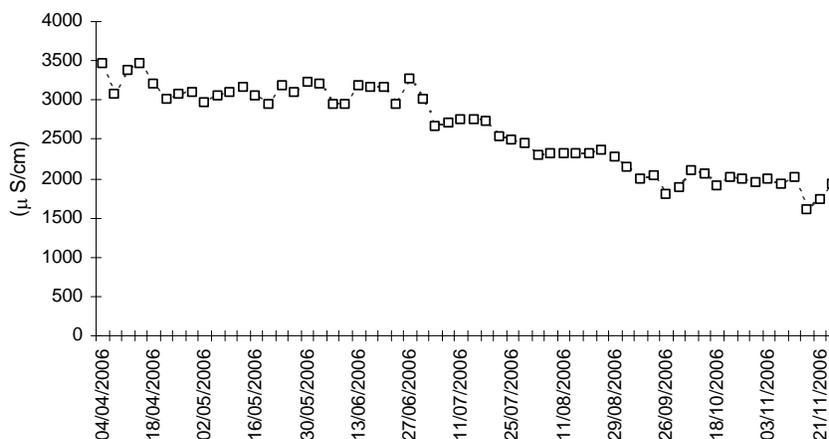


Figura 6. Variación de la conductividad registrada en el estanque durante el tiempo de cultivo en el estanque de cemento

La visibilidad al disco de Secchi (Fig. 7) registró variaciones durante el transcurso del estudio; los meses en los que se registraron los valores máximos de transparencia fueron abril, agosto y septiembre (33 cm), correspondiendo el primer mes al inicio del cultivo. En mayo se obtuvo la menor visibilidad (21 cm), la profundidad durante el desarrollo del proyecto fue de 60 cm.

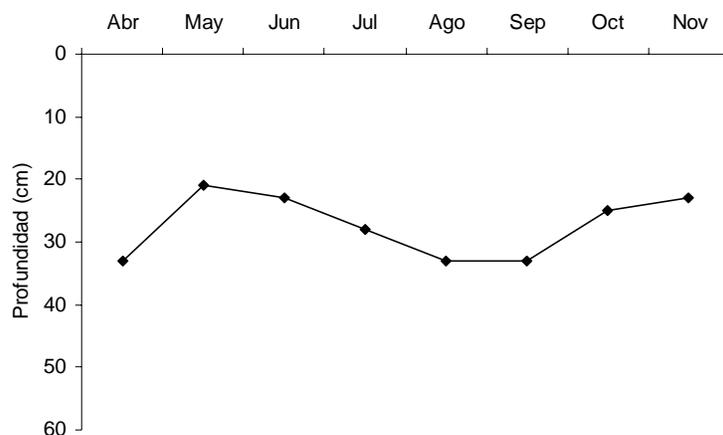


Figura 7. Visibilidad al disco de Secchi en el estanque de cemento durante el tiempo de cultivo de machos de *O.niloticus*

La alcalinidad total se mantuvo estable durante el inicio del estudio, para posteriormente tener un fuerte incremento hacia finales de junio (Fig. 8). El valor mínimo (23.6 mg/L) se registró a inicios de junio y alcanzó el máximo (224.39 mg/L) en julio manteniéndose estable en esas condiciones hasta finalizar el estudio.

La dureza total mostró variaciones al inicio del cultivo con tendencia al aumento y posteriormente comenzar a descender en los niveles hacia el final del cultivo; el valor mínimo que se registró fue durante agosto (19.7 mg/L) y el máximo durante el mes de abril (71.1 mg/L). El pH mostró tendencia a la basicidad con variaciones entre abril y julio, siendo el valor máximo (10.34) registrado en noviembre y el valor mínimo (8.04) durante mayo. El análisis de Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticas significativas entre los valores ($H_{pH}= 48.738$, $p<0.05$; $H_{Alc}= 27.570$ $p<0.05$ y $H_{Dur}= 29.661$, $p<0.05$).

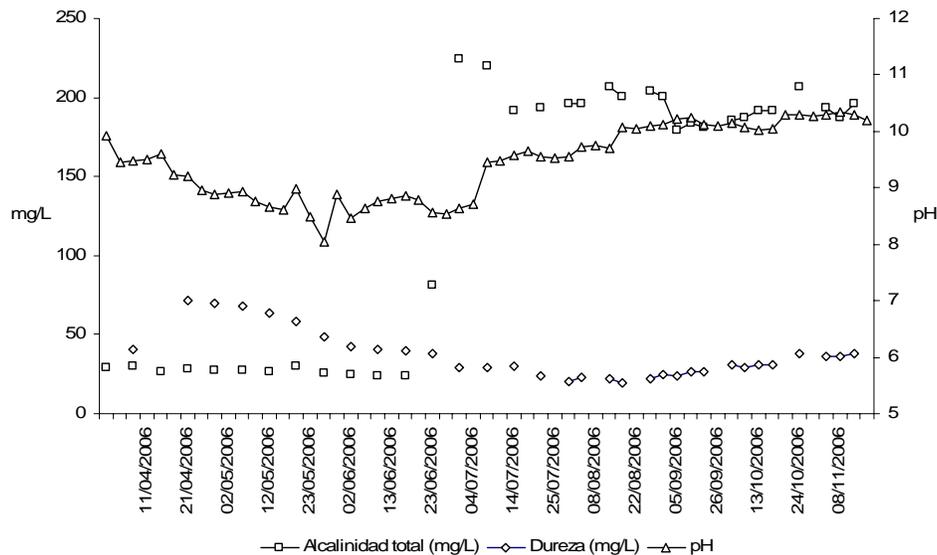


Figura 8. Alcalinidad total, Dureza y pH durante el tiempo de duración del cultivo en el estanque

El fósforo total mostró tendencia al aumento en los niveles registrados en el agua del estanque durante los primeros meses, correspondiendo a julio el nivel máximo (2.535 mg/L), y el mínimo (0.379 mg/L) a septiembre. Los valores máximos y mínimos de ortofosfatos registrados son de octubre (0.557 mg/L) y junio (0.116 mg/L) respectivamente, en este parámetro se registraron variaciones mínimas durante todo el tiempo de cultivo (Fig. 9).

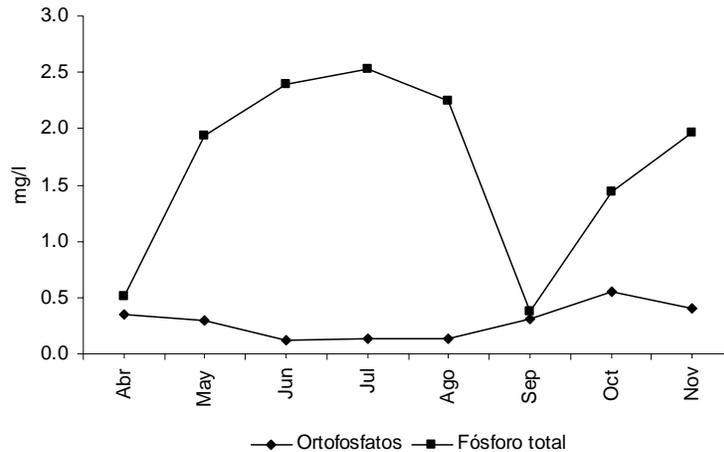


Figura 9. Comportamiento del fósforo total y ortofosfatos durante el cultivo de *O. niloticus* en el estanque de cemento

En agosto y septiembre los silicatos (Fig. 10) registraron los valores mínimos (0.769 mg/L), posteriormente comenzó un rápido ascenso de las cantidades, hasta llegar al nivel máximo (7.159 mg/L) durante el mes de noviembre. Los sulfatos se mantuvieron estables hasta septiembre y mostraron un incremento en el cual se alcanzó el nivel máximo registrado (34.744 mg/L), mientras que el mínimo (0.841 mg/L) se obtuvo durante abril.

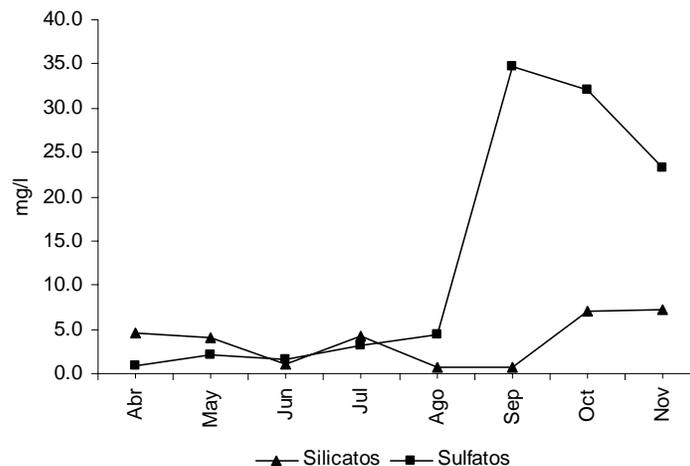


Figura 10. Variación de los sulfatos y silicatos durante el cultivo

Los nitritos registraron un mínimo (0.001 mg/L) durante los primeros dos meses del cultivo (abril y mayo) y se incrementaron hasta alcanzar el máximo (0.019 mg/L) durante julio y agosto; no se registraron valores durante septiembre. Para los nitratos se registraron variaciones durante todo el cultivo con un mínimo (0.038 mg/L) durante septiembre y máximo (0.253 mg/L) en noviembre (Fig. 11).

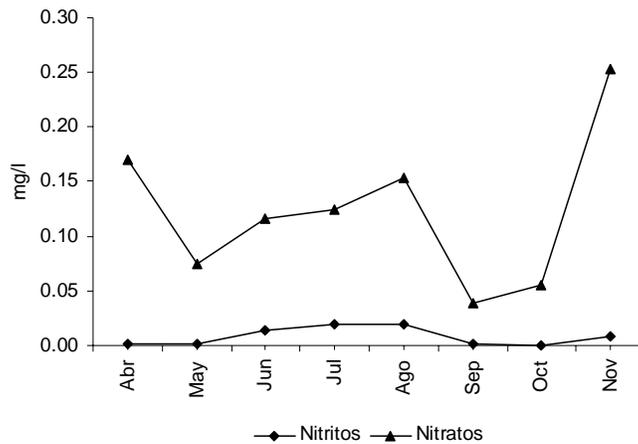


Figura 11. Nitratos y nitritos durante el cultivo de *O. niloticus*

El nitrógeno en forma amonio no se detectó durante abril, mayo, junio, septiembre y noviembre; el máximo (0.688 mg/L) se registró durante agosto, obteniéndose un promedio de 0.130 mg/L (Fig. 12).

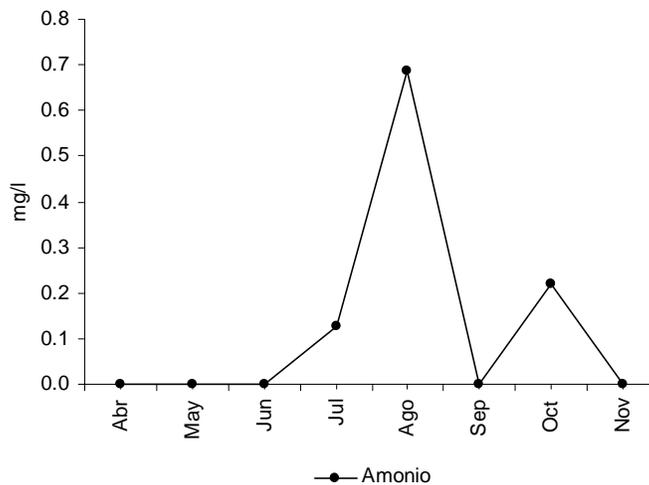


Figura 12. Comportamiento de los niveles de amonio durante el tiempo de realización del cultivo

Las relaciones entre los valores de fósforo total y nitrógeno total (P:N), muestran los mayores valores en esta relación (25 a 1) durante mayo y los menores durante abril y septiembre (3 a 1) (Fig. 13); se registraron mayores cantidades de fósforo total durante toda la realización del cultivo.

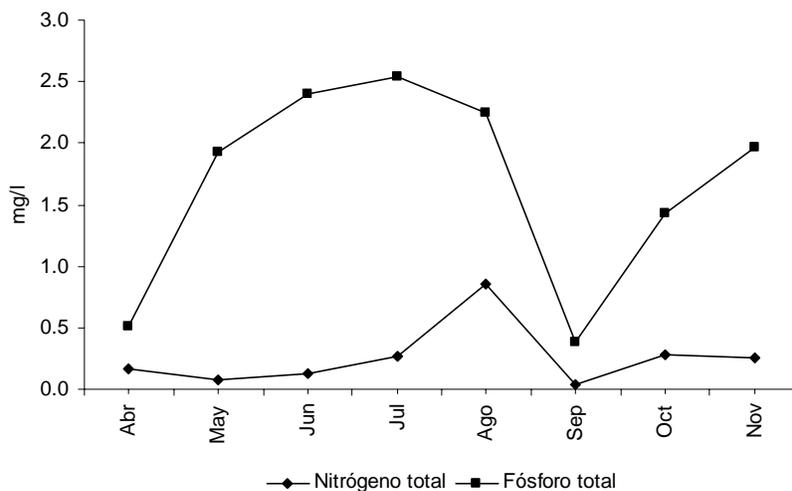


Figura 13. Relaciones entre nitrógeno total y fósforo total durante el cultivo en el estanque de cemento

Parámetros biológicos

Las tallas promedio de introducción de los peces fue la misma para ambos sistemas (acuario y estanque) y se registraron diferencias al final en el crecimiento promedio obtenido, siendo mayor para el sistema con condiciones controladas (acuario) que en el estanque con fertilización química e influenciado por los factores ambientales.

Tabla 1. Biometría de introducción y cosecha de los machos de *O. niloticus* cultivados en estanque

	Introducción	Cosecha
Lt (cm)	4.9	8.4
Lp (cm)	3.8	6.5
Alt (cm)	1.3	2.5
Peso (g)	1.7	8.9

Tabla 2. Biometría de introducción y cosecha de machos los *O. niloticus* cultivados en acuario

	Introducción	Cosecha
Lt (cm)	4.9	15.1
Lp (cm)	3.8	12.1
Alt (cm)	1.3	4.4
Peso (g)	1.7	49.9

Se realizó el análisis de correlación entre las variables para determinar cual de las longitudes registradas se asociaba más con el peso y el análisis mostró un mayor asociación entre la relación longitud total-peso total ($r=0.966$) que en la relación longitud patrón-peso total ($r=0.957$); pero, basados en el hecho de que los organismos mas pequeños en medios controlados tienden a ser agredidos por los de mayor tamaño (lo cual se ve reflejado en el daño a la aleta caudal), los datos de la longitud total se ven afectados por esto y por lo tanto no son una medida que pueda utilizarse en forma confiable como los de la longitud patrón. Por lo tanto, los resultados del análisis de crecimiento de machos de *Oreochromis niloticus*, cultivados bajo condiciones climáticas de la ciudad de México, en un estanque de concreto se realizaron utilizando la relación longitud patrón-peso total.

El análisis de varianza (ANADEVA) mostró que no existen diferencias estadísticas significativas entre las medias de las tres divisiones del peso total registradas durante el estudio ($F= 0.89$, $p= 0.4103$) (Levene= 1.38374, $p= 0.251381$), así como también de las tallas entre los peces de las divisiones ($F= 0.82$, $p= 0.4412$) (Levene= 2.0347; $p= 0.135703$), por lo tanto, se procedió a realizar los análisis de las relaciones peso-longitud para todas las divisiones, los cuales se muestran a continuación (Fig. 14, 15, 16 y 17).

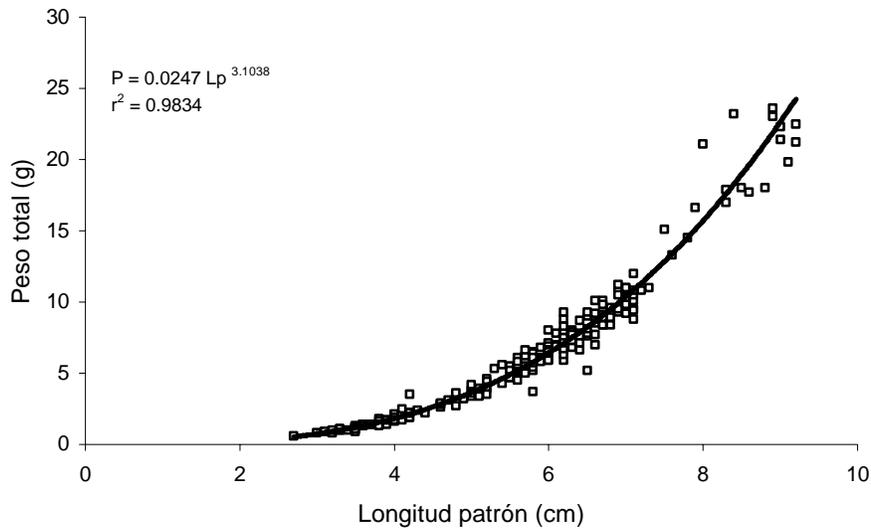


Figura 14. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 1

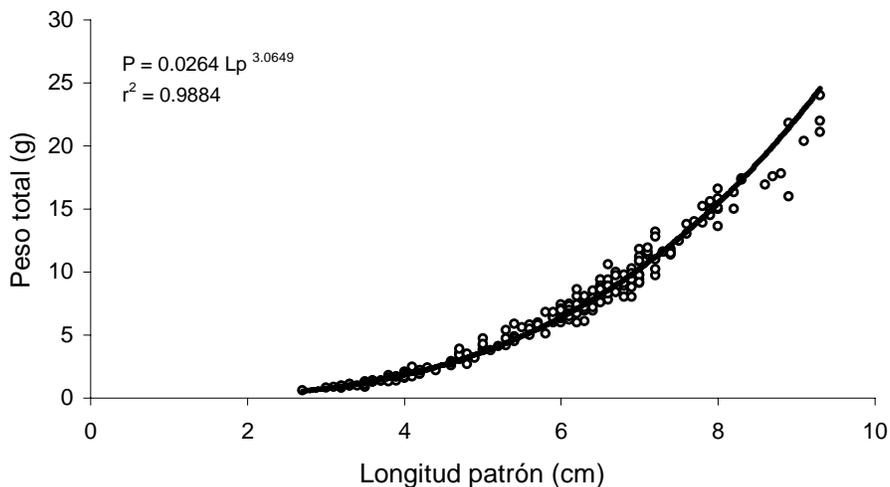


Figura 15. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 2

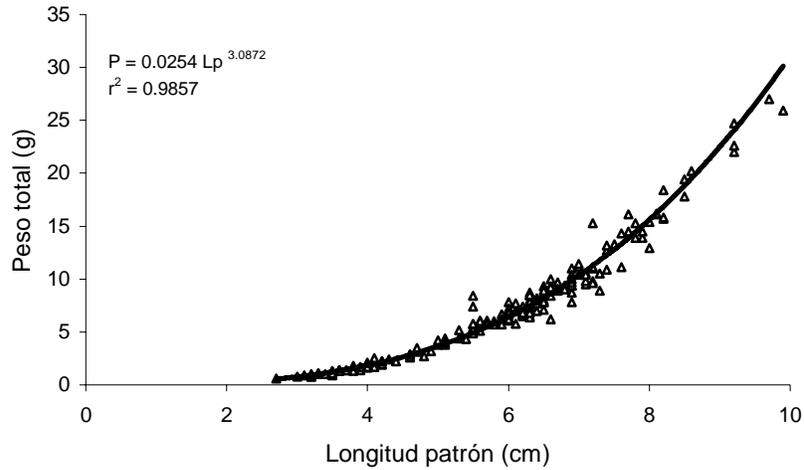


Figura 16. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 3

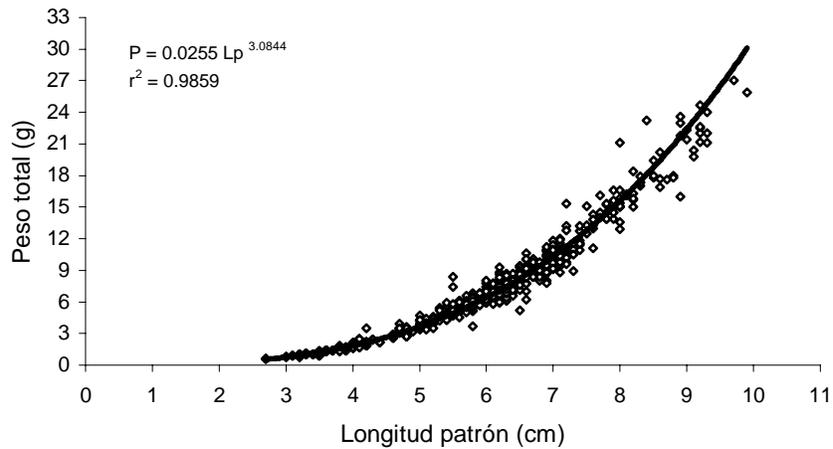


Figura 17. Relación peso total-longitud patrón para la población total de peces cultivados en el estanque de cemento

El análisis de correlación realizado a la biometría de los peces cultivados en sistemas con condiciones controladas (acuarios), a los que se les proporcionó alimentación rica en proteína animal (45 %), mostró mayor asociación entre la longitud patrón y peso total ($r = 0.945$).

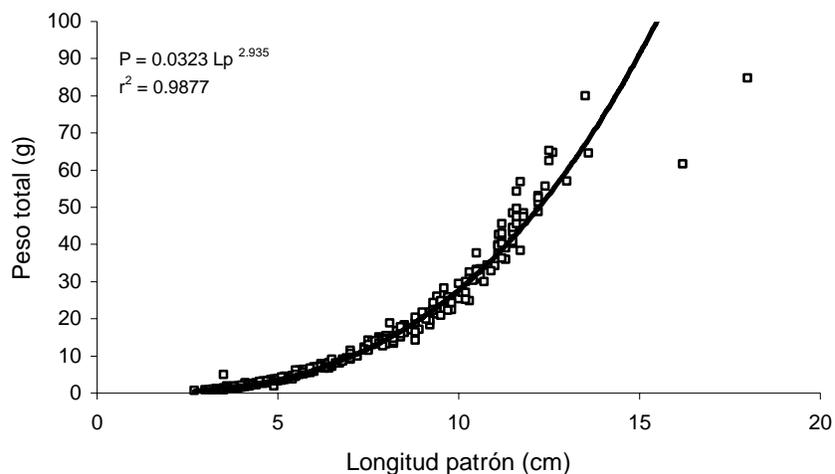


Figura 18. Relación peso total-longitud patrón para los peces cultivados en acuarios con condiciones controladas

La relación peso total-longitud patrón para los peces de la especie *O. niloticus*, cultivados en un estanque de concreto con fertilización química, mostró que el tipo de crecimiento es alométrico positivo (t-student= 5.82, $p < 0.05$); esto es, que el crecimiento fue mayor en peso que en longitud.

Para visualizar el crecimiento en talla y peso para las tres divisiones del estanque de cultivo, se utilizaron diagramas de cajas para representar el comportamiento de los crecimientos, los cuales se muestran a continuación:

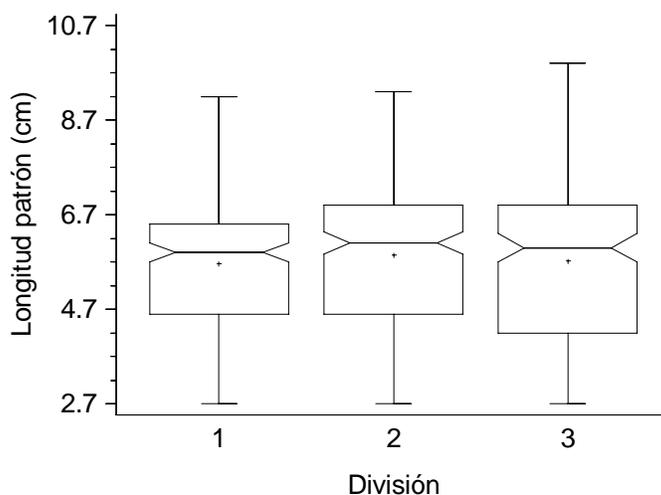


Figura 19. Crecimiento en longitud patrón por división para los peces cultivados en el estanque

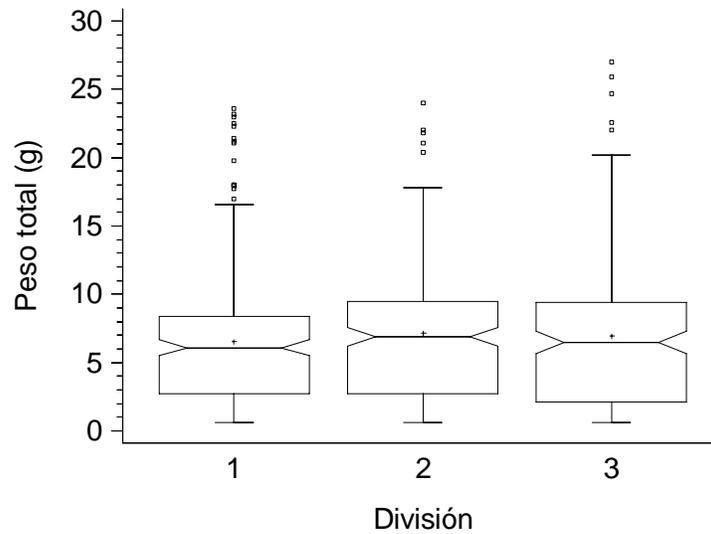


Figura 20. Comportamiento del peso total por división para los peces cultivados en el estanque

Con base en los gráficos anteriores (Fig. 19 y 20) y apoyado por las muescas y los casos extraordinarios presentes para los organismos de cada división se observa que el crecimiento fue similar en las tres divisiones.

Por otra parte, el crecimiento en el tiempo se muestra en las figuras 21 y 22 en donde se observa el bajo rendimiento en peso y talla respectivamente con valores máximos de 28 g y 10 cm durante los seis meses de cultivo.

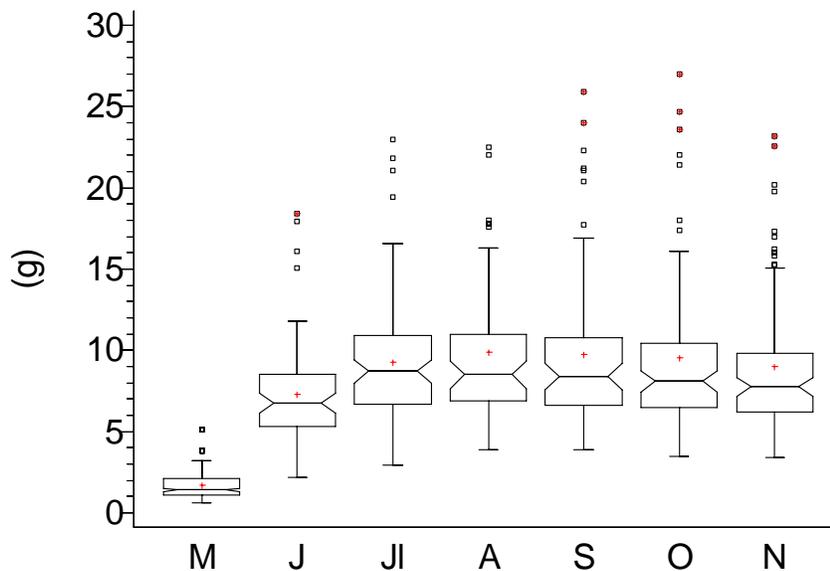


Figura 21. Variación temporal del crecimiento en peso total para los peces cultivados en el estanque

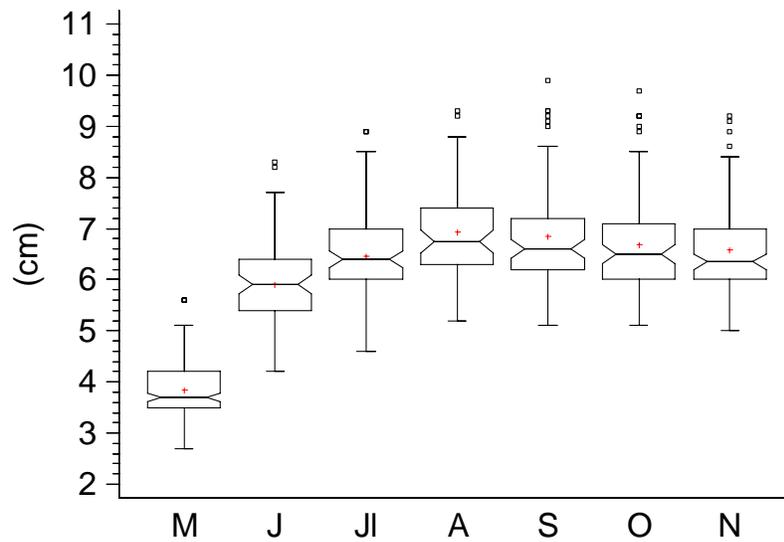


Figura 22. Comportamiento temporal del crecimiento en longitud patrón para los peces en el estanque

Este mismo comportamiento se registro para los peces en las tres divisiones con tasas máximas de crecimiento en peso y talla hasta agosto (Fig. 23 y 24) y posteriormente durante la época de lluvias y en los meses fríos se registro un bajo rendimiento del cultivo realizado en el estanque.

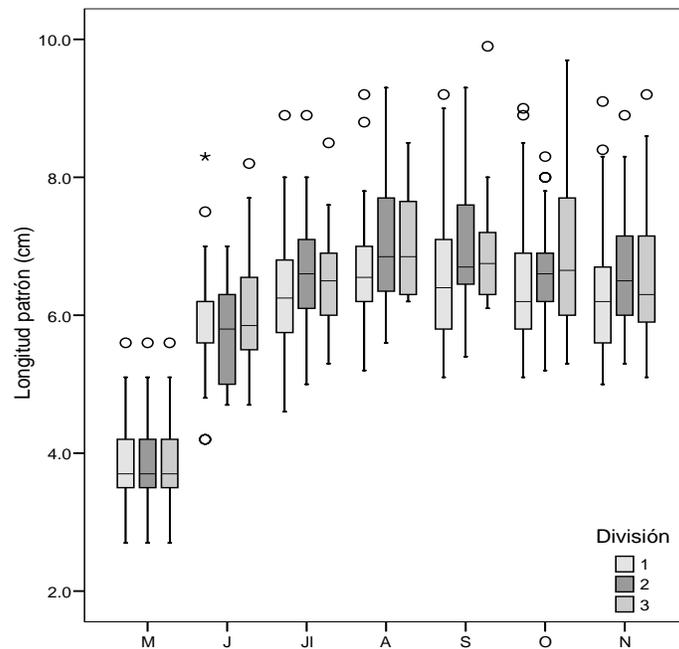


Figura 23. Comportamiento del crecimiento en longitud patrón por mes y división para los peces cultivados en el estanque

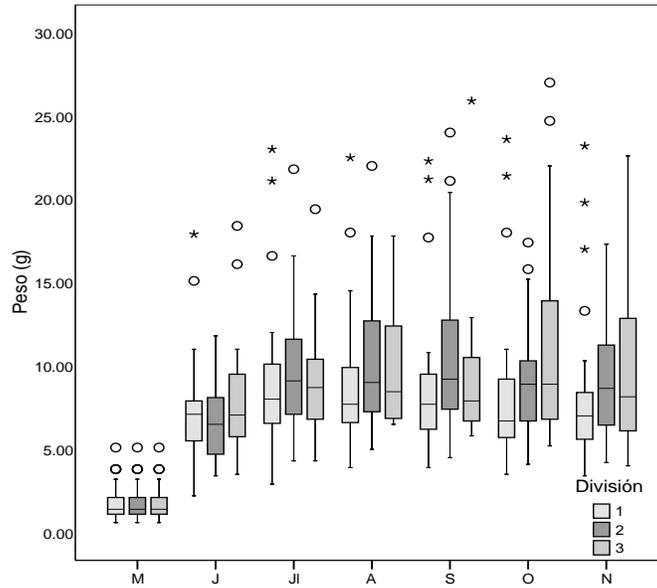


Figura 24. Comportamiento del crecimiento en peso total por mes y división para los peces cultivados en el estanque

Las siguientes figuras muestran el comportamiento del desarrollo en longitud patrón (Fig. 25) y peso total (Fig. 26) de *O. niloticus* cultivado en sistemas con control de las variables ambientales. Se determinó un crecimiento de tipo alométrico negativo (t -student= 3.70, $p < 0.05$), lo cual significa que el crecimiento fue mayor en longitud que en peso. Por otra parte, los valores máximos registrados en el tiempo para el peso y la talla fueron de orden superior con respecto a los obtenidos en el cultivo en el estanque.

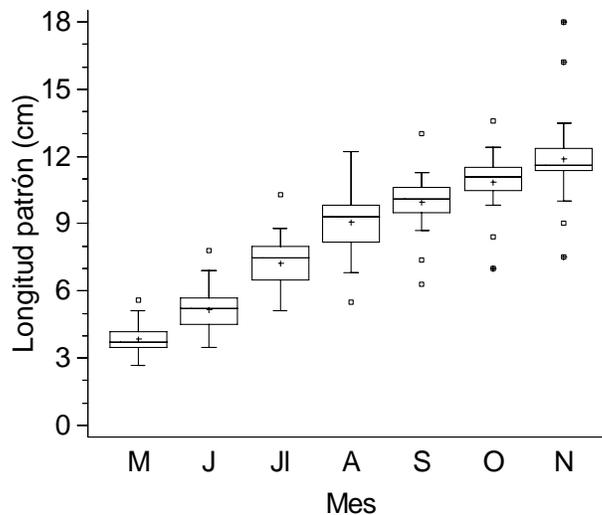


Figura 25. Comportamiento temporal de la longitud patrón para los peces cultivados en acuarios con condiciones controladas

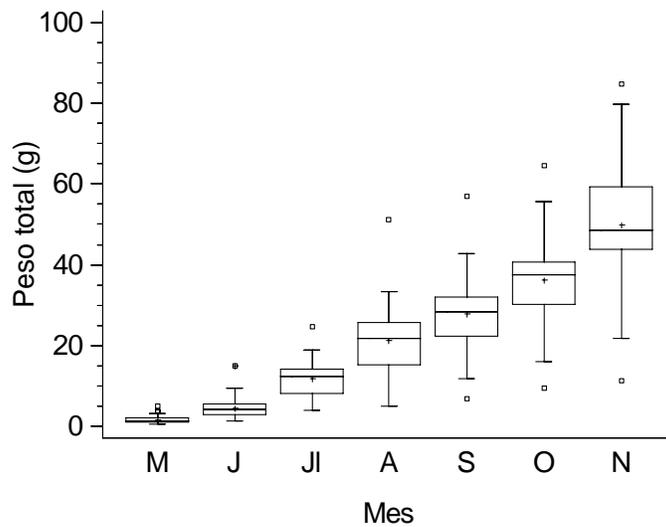


Figura 26. Comportamiento temporal del peso total para los peces cultivados en acuarios

La tasa de crecimiento instantáneo para los peces cultivados en el estanque (Fig. 27) mostró tendencia a la disminución en el tiempo, llegando a registrar el valor mas bajo en longitud patrón durante el periodo de octubre-noviembre (-0.007 cm/día) y el valor mas alto en el periodo de mayo-junio (1.23 cm/día) con promedio de 0.26 cm/día.

La tasa de crecimiento instantáneo para el peso total tuvo su valor más alto (4.14 g/día) durante el periodo de mayo-junio y el más bajo (-0.16 g/día) durante octubre-noviembre con promedio de 0.80 g/día.

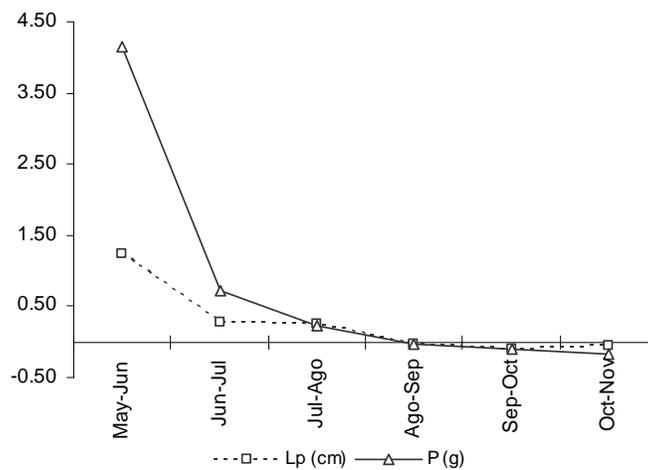


Figura 27. Tasa de crecimiento instantáneo en talla y peso para los peces cultivados en el estanque

La tasa de crecimiento instantáneo en longitud patrón y peso total para los peces cultivados en un sistema controlado (Fig. 28), mostró valores máximos (0.98 cm/día y 2.86 g/día) durante el periodo de junio-julio y los mínimos (0.29 cm/día y 0.89 g/día) durante el periodo de agosto-septiembre con promedios de 0.60 cm/día y 1.75 g/día respectivamente.

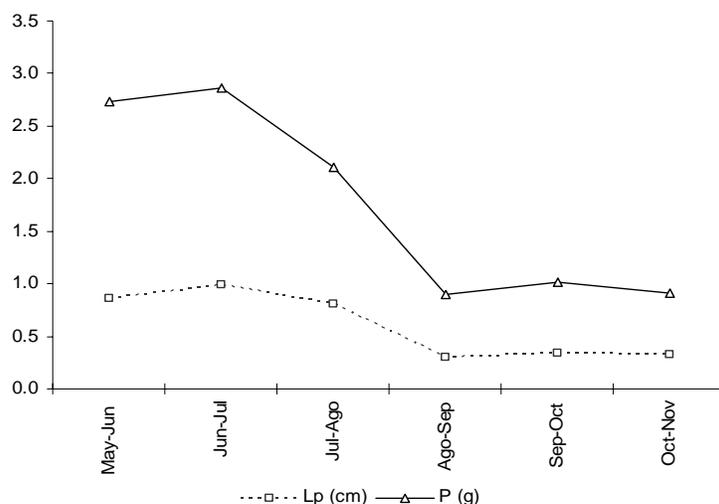


Figura 28. Tasa de crecimiento instantáneo en talla y peso para peces cultivados en sistemas con condiciones controladas

El análisis de varianza mostró que no existen diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de ganancia en peso (Fig. 29) entre las divisiones del estanque (F= 0.07; p= 0.93; Levene= 0.36, p= 0.70), mostrando los valores máximos (D1 249 %, D2 73 % y D3 311 %) durante el periodo de mayo-junio. Los valores mínimos se registraron para la D1 y D2 (-28 % y -13 %) durante el periodo de septiembre-octubre y para la D3 (-44 %) durante el periodo de octubre-noviembre.

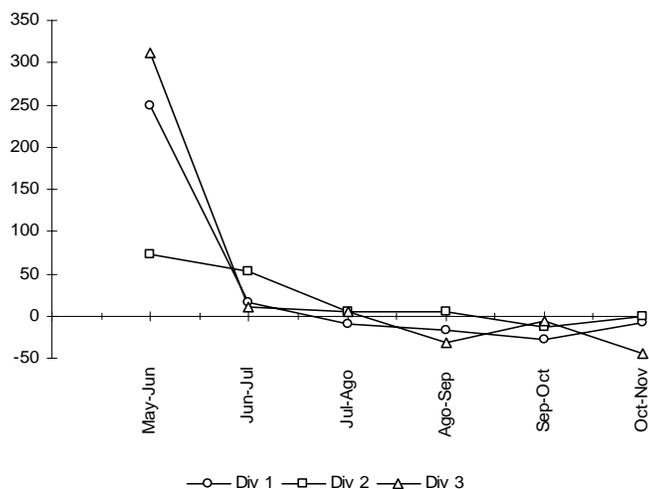


Figura 29. Variaciones del porcentaje de ganancia en peso por división para los peces cultivados en el estanque de cemento

El porcentaje de ganancia en peso para los peces cultivados en un sistema controlado (Fig. 30) alcanzó su valor máximo (127 %) durante el periodo de mayo-junio, el mínimo (-6.6 %) durante el periodo correspondiente a julio-agosto, con promedio de 37 %.

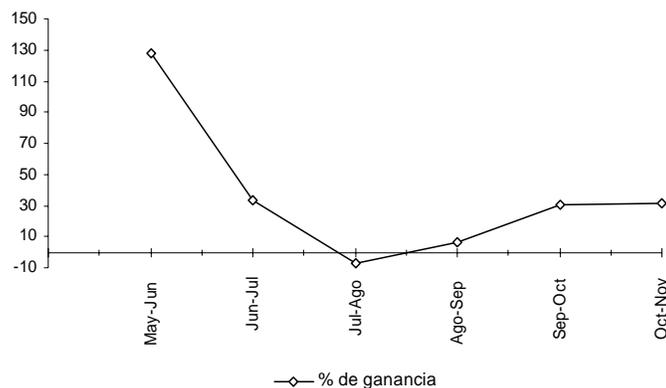


Figura 30. Porcentaje de ganancia en peso para los peces cultivados en acuarios

El Incremento diario en peso (g/día) y longitud (cm/día) tuvo un comportamiento similar al porcentaje de ganancia en peso y a la tasa de crecimiento, con valor máximo de longitud de 0.059 cm/día durante el periodo de mayo-junio y mínimo de -0.007 cm/día en el periodo de septiembre-octubre, con promedio de 0.013 cm/día y 0.035 g/día (Fig. 31).

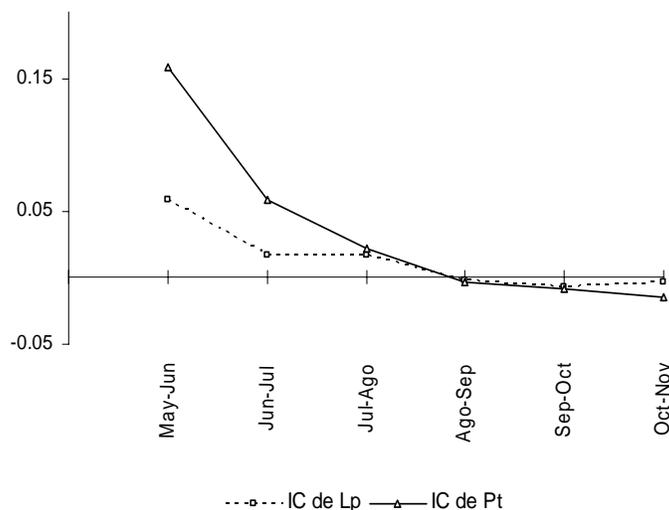


Figura 31. Incremento diario en peso total y longitud patrón para los peces cultivados en el estanque

Para los acuarios el incremento diario en peso y longitud (Fig. 32) tuvo comportamiento similar a la tasa de crecimiento instantáneo mostrando su valor máximo de longitud patrón durante el periodo de julio-agosto (0.066 cm/día) y el mínimo (0.028 cm/día) durante el periodo de agosto-septiembre, con un promedio de 0.044 cm/día. El máximo de incremento en peso total (0.044 g/día) se encontró en junio-julio y el mínimo en agosto-septiembre (0.009 g/día) con valor promedio de 0.016 g/día.

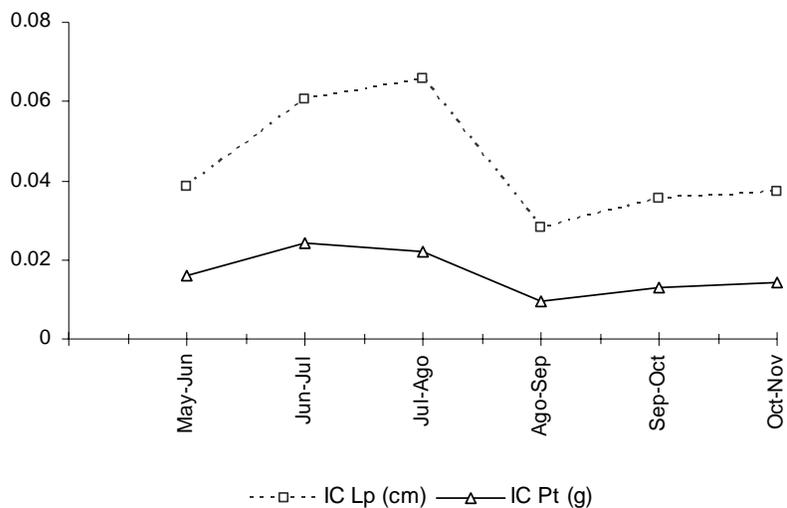


Figura 32. Incremento diario en peso total y longitud patrón para peces cultivados en acuarios

El máximo valor de la tasa de mortalidad registrada en el cultivo realizado en el estanque de cemento, fue para el periodo de mayo y junio (Fig. 33), el cual registro 28 %, el valor mínimo corresponde al periodo comprendido entre junio y julio con una tasa de 2 %, obteniéndose una tasa total del 62 % de organismos muertos y 38 % de organismos vivos al final del cultivo.

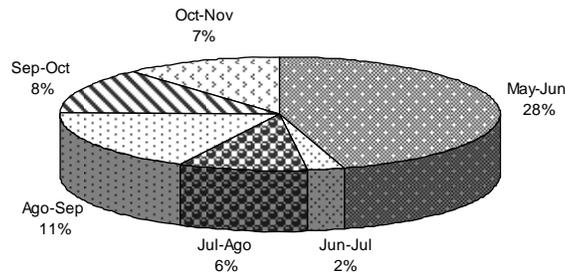


Figura 33. Porcentajes de peces muertos en el estanque, por periodo durante el tiempo de cultivo

La máxima tasa de mortalidad registrada corresponde al periodo de introducción de los organismos en el sistema y su muerte pudo ser probablemente debida a la aclimatación al nuevo sistema y las condiciones imperantes en él, como los cambios repentinos de temperatura, durante el desarrollo del cultivo no se encontraron organismos muertos por enfermedades o parásitos que pudieran así mismo afectar el crecimiento de los organismos cultivados, pero se considera que los niveles alcalinos del pH pudieran ser uno de los factores que influenciaron en las muertes de los peces del cultivo.

Los peces cultivados en el sistema controlado, tuvieron la mayor tasa de mortalidad total (82 %), encontrándose el máximo valor (43 %) en el periodo de junio y julio (Fig. 34) y el mínimo (1 %) entre octubre y noviembre, solo sobreviviendo el 18 % de los peces cultivados en estos sistemas al final del proyecto.

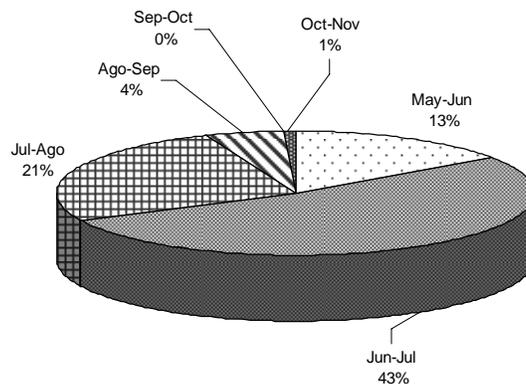


Figura 34. Porcentajes de peces muertos en los acuarios, por periodo durante el cultivo

El principal incremento en los valores de los porcentajes de organismos muertos en los acuarios, se debe a la agresividad que mostraron los peces de mayor tamaño, lo que derivó en ataques que en la totalidad de los casos causaban la muerte de los peces más pequeños. El decremento en los porcentajes de muertes mostrado durante los últimos meses de cultivo, deriva en que las densidades de organismos por acuario disminuían, lo que ocasionó que los peces mostraran una tendencia a disminuir en su agresividad.

El periodo comprendido entre julio y agosto registró el valor mínimo (-10.7) para el factor de conversión de alimentos (FCA) y el máximo para agosto y septiembre (9:1) con un factor promedio de 2.8:1 durante todo el tiempo de cultivo en los sistemas controlados (Fig. 35). El factor de conversión de fertilizante (FCF) obtuvo un valor total de 3.1:1 para todo el tiempo de duración de cultivo en el estanque.

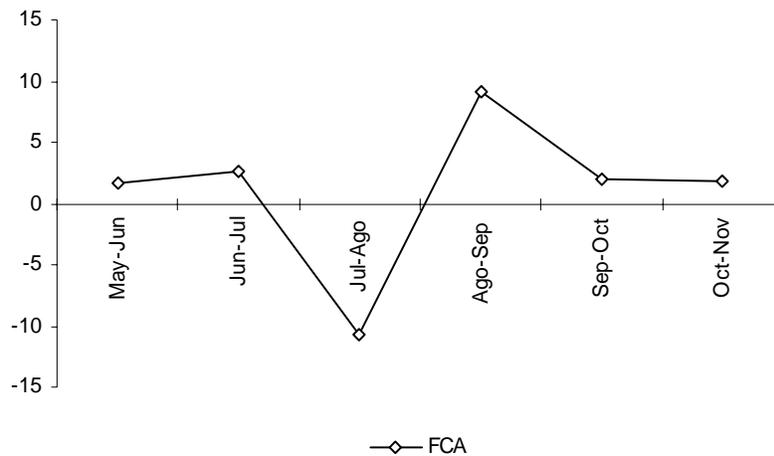


Figura 35. Comportamiento del Factor de Conversión de Alimentos (FCA), para el cultivo en acuarios

Los valores del factor de conversión de alimento esperado o teórico (Fig. 36), se obtuvieron considerando una tasa de mortalidad de 0% y las medias del peso al momento de muestreo en el periodo correspondiente. En estos valores se encontró el máximo (1.3:1) en el periodo de agosto y septiembre y el mínimo (0.9:1) en el periodo de julio y agosto, con un factor de conversión de alimento total de 1.9:1.

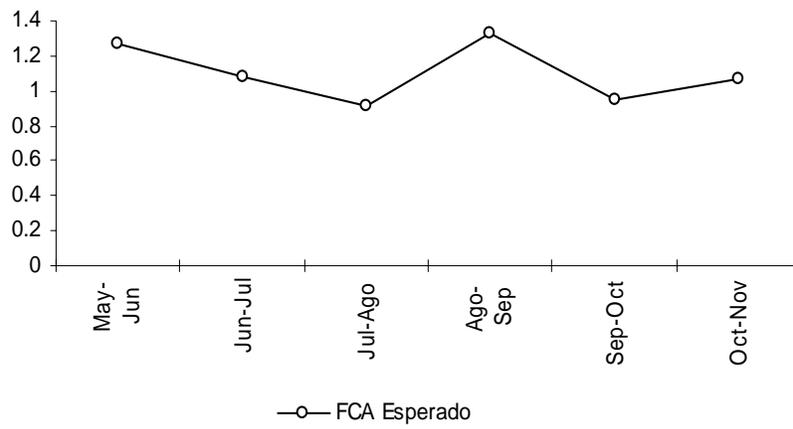


Figura 36. Factor de Conversión de Alimentos Esperado (FCA) para el cultivo en acuarios

Fitoplancton

En la determinación de fitoplancton se encontraron 38 especies durante el estudio incluidas en cuatro divisiones: Cyanophyta con 3 especies (*Anabaenopsis elenkinii*, *Merispomedia glauca* y *Microcystis aeruginosa*), Chlorophyta con 31 especies (*Ankistrodesmus falcatus*, *A. falciformis*, *A. gracilis*, *Chlorella miniata*, *C. saccharophilla*, *C. vulgaris*, *Closterium acutum*, *Closterium sp*, *Cosmarium circulare*, *Crucigenia tetrapedia*, *Franceia droescheria*, *Golenkinia radiata*, *Kirchneriella lunaris*, *Lagerheimia wratislaviensis*, *Monoraphidium irregulare*, *Pediastrum boryanum*, *P. duplex*, *P. simplex*, *Scenedesmus acunae*, *S. bicaudatus*, *S. communis*, *S. dispar*, *S. ecornis*, *S. ellipticus*, *S. grahneisii*, *S. obliquus*, *S. opoliensis*, *S. plantonicus*, *S. quadricauda*, *Tetraedrom regulare*, *T. minimum*), Euglenophyta con 2 especies (*Euglena sp* y *Lepocinclis ovum*) y Chromophyta con 2 especies (*Navicula sp*, *Surirella sp*) (Tabla 3).

La abundancia total fue de 2 243 904 cél/ml de las cuales el 87.71 % correspondió a la división Chlorophyta, el 10.81 % a la Cyanophyta, el 1.15 % a la Euglenophyta y solo el 0.34 % a la Chromophyta (Fig. 37).

Las clorofíceas fueron las más abundantes encontrándose en densidades altas durante todo el cultivo; las cromofíceas (bacilarofíceas) se encontraron solo durante el inicio del proyecto con una tendencia a disminuir hacia mayo, el cual correspondió al mes en que comienza el incremento en el número de células de las euglenofíceas y también uno de los periodos de incremento de las cianofíceas las cuales sufrieron variaciones periódicas en el tiempo con máximos en marzo, junio, julio y noviembre.

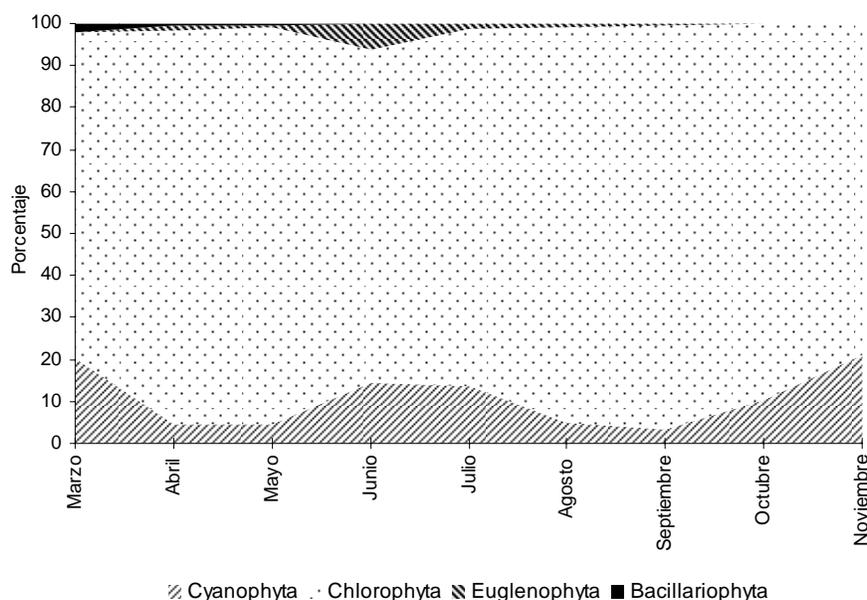


Figura 37. Variación de la abundancia del fitoplancton en el estanque

Tabla 1. Especies de fitoplancton presentes en el estanque de cemento

CYANOPHYTA	
<i>Anabaenopsis</i>	<i>Anabaenopsis elenkinii</i> , V.V. Miller
<i>Merispomedia</i>	<i>Merismopedia glauca</i>
<i>Microcystis</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i> , Kützing
CHLOROPHYTA	
<i>Ankistrodesmus</i>	<i>Ankistrodesmus falcatus</i> , Corda <i>Ankistrodesmus falciformis</i> , Sokoloff <i>Ankistrodesmus gracilis</i> , Reinsch
<i>Chlorella</i>	<i>Chlorella miniata</i> , Kützing <i>Chlorella saccharophilla</i> , Gerneck <i>Chlorella vulgaris</i> , Beijerinck
<i>Closterium</i>	<i>Closterium acutum</i> , Brébisson <i>Closterium</i> sp
<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium circulare</i> , Hansgirg
<i>Crucigenia</i>	<i>Crucigenia tetrapedia</i> , Kirchner
<i>Franceia</i>	<i>Franceia droescheri</i> , Lemmermann
<i>Golenkinia</i>	<i>Golenkinia radiata</i> , Chodat
<i>Krichneriella</i>	<i>Krichneriella lunaris</i> , Kirchner
<i>Lagerheimia</i>	<i>Lagerheimia wratislaviensis</i> , Schröder
<i>Monoraphidium</i>	<i>Monoraphidium irregulare</i> , G.M. Smith
<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i> , Turpin <i>Pediastrum duplex</i> , Bohlin <i>Pediastrum simplex</i> , Meyen
<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus acunae</i> , Comas <i>Scenedesmus bicaudatus</i> , Hansgirg <i>Scenedesmus communis</i> , E.H.Hegewald <i>Scenedesmus dispar</i> , Brébison <i>Scenedesmus ecornis</i> , Chodat <i>Scenedesmus ellipticus</i> , Corda <i>Scenedesmus grahneisii</i> , Heynig <i>Scenedesmus obliquus</i> , Turpin <i>Scenedesmus opoliensis</i> , P.G. Richter <i>Scenedesmus planctonicus</i> , Korshikov <i>Scenedesmus quadricauda</i> , Chodat
<i>Tetraedron</i>	<i>Tetraedron regulare</i> , Kützing <i>Tetraedron minimum</i> , A.Braun

Tabla 3. Continuación.

EUGLENOPHYTA	
<i>Euglena</i>	<i>Euglena</i> sp
<i>Lepocinclis</i>	<i>Lepocinclis ovum</i> , Ehrenberg
BACILLARIOPHYTA	
<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp
<i>Surirella</i>	<i>Surirella</i> sp

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener, así como la Equitatividad y el logaritmo del número de especies (S) del fitoplancton, en el transcurso del cultivo mostraron un decremento con valores constantes de marzo a junio para disminuir fuertemente hacia finales del estudio, con lo cual posiblemente aumento el valor de la Uniformidad por los valores de abundancia registrados (Fig. 38).

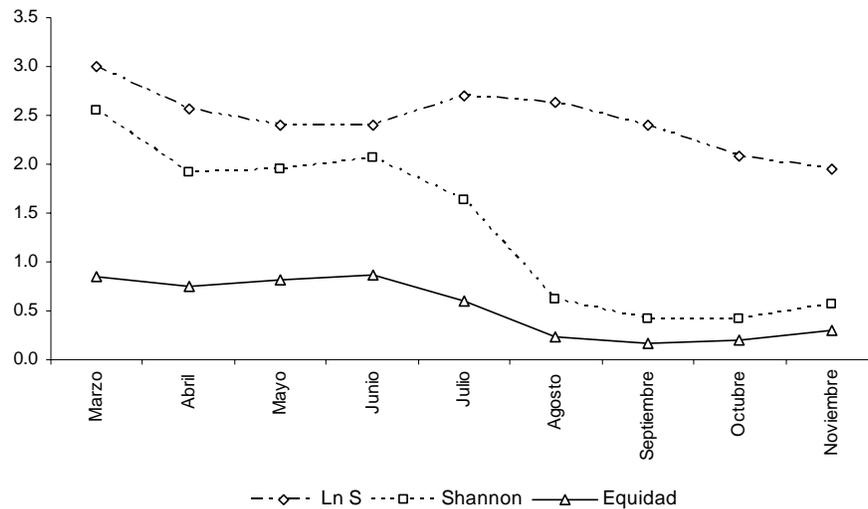


Figura 38. Comportamiento del Índice de diversidad de Shannon-Wiener y la Equidad durante los meses de cultivo

DISCUSIÓN

La temperatura de todo cuerpo de agua se encuentra estrechamente relacionada con la temperatura ambiental y como los peces son ectotermos su metabolismo se regula por medio de la temperatura del agua, en los peces de agua calida el metabolismo adecuado se realiza entre los 20 y 30 °C (Hepher, 1993; Martínez, 1998; Guillaume, 2004).

Por otra parte, la temperatura del agua determina la solubilidad del oxígeno disuelto, influye en la tasa de la producción primaria, respiración, nutrición, actividad bacteriana en la descomposición de la materia orgánica, en el crecimiento y la reproducción de los peces y la variación de ésta, impacta en los requerimientos energéticos, los cuales se satisfacen mediante el consumo de materia orgánica, como el fitoplancton (Ramírez, 1997; Martínez, 1998,).

Durante el estudio, la temperatura del agua del estanque sufrió fluctuaciones temporales, registrando las más bajas al comienzo de la época de lluvias (junio y julio), razón por lo que se puede pensar que esto afectó el crecimiento de los organismos, debido a que los peces pueden dejar de alimentarse, además se sabe que las elevadas temperaturas provocan la maduración de los órganos sexuales y por consiguiente la reproducción, desviando la energía hacia éste proceso y no al crecimiento (Bardach, 1986; King, 1996); dicho proceso puede comenzar a los seis meses de edad o 15 cm de talla (Morales, 1991, Arredondo y Lozano, 2003). Es conveniente hacer la aclaración de que los peces cultivados en este estudio en ambos sistemas no presentaron este tipo de situación, ya que fueron sometidos previamente a un método de reversión sexual por parte de los encargados del centro de producción de Zacatepec, Morelos de donde proceden los organismos.

Morales (1991), cita que en *O. niloticus* existe un cese del crecimiento por debajo de los 18 °C. Swift (1985), Hepher (1993) y Arredondo y Lozano (2003) mencionan que siendo la tilapia un pez de aguas cálidas, esta se desarrolla adecuadamente entre 20 y 30 °C y puede tolerar temperaturas hasta de 12 °C, pero por debajo de éstas su crecimiento se ve afectado. Información que apoya los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que cuando los peces se cultivaron en el estanque y se presentaron fluctuaciones de temperatura, los peces presentaron bajo crecimiento tanto en talla como en peso. En cambio, cuando los peces se mantuvieron en el acuario a temperatura constante (25 °C), los animales presentaron mejor crecimiento.

Con el disco de Secchi se determina indirectamente tanto el material suspendido inorgánico como el orgánico que atenúa la penetración de la luz e interfieren en los procesos de la fotosíntesis, ya que la profundidad a la cual se recibe el 1% de la luz es la zona en donde se realizan estos procesos, la proximidad de la profundidad de esta zona puede ser determinada realizando una multiplicación de la visibilidad al disco de Secchi por 2 (Ramírez, 1997; Martínez, 1998), por lo que la máxima profundidad de visibilidad al disco (33 cm) determina que la producción

fitoplanctónica no fue afectada por la falta de luz, lo que se refleja en los incrementos en la abundancia de fitoplancton.

El Oxígeno es considerado como la variable más crítica en las prácticas acuícolas, ya que de ello depende la supervivencia, crecimiento y rendimiento acuícola final. Con lo que respecta a las concentraciones de oxígeno disuelto estas dependen de la demanda de cada especie que se cultive y del área geográfica en donde se realice. Wedemeyer (1996), señala que el nivel de oxígeno disuelto en agua para los peces de climas calidos debe estar por arriba de los 4 mg/L, y en el caso de *O. niloticus*, estos requerimientos deben ser mayores a los 2 mg/L (Morales, 1991).

Arredondo y Ponce (1998) mencionan que esta especie es capaz de sobrevivir bien a concentraciones de 1 mg/L y su crecimiento no es afectado en tiempos cortos de exposición, lo que indica que esta especie no requiere de altas demandas de oxígeno disuelto en comparación con otras especies cultivables (como por ejemplo la trucha arcoiris). Las concentraciones de oxígeno disuelto registradas del agua del estanque tuvieron variaciones durante el cultivo, mismas que estuvieron relacionadas con las fluctuaciones en la temperatura ambiental y del agua, así como de la producción que tuvo tendencia al incremento y fue mayor debido a la abundancia de las clorofitas.

Wheaton (1982), cita que a temperaturas de 20 a 24 °C las concentraciones de este gas oscila entre 8 y 10 mg/l y por lo tanto, éstas variaciones a lo largo de un ciclo diurno, permiten un adecuado desarrollo del crecimiento, alimentación, reproducción y resistencia a enfermedades, lo que se traduce en bajas mortalidades de los organismos acuáticos. Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto no se consideró una limitante para el crecimiento de los peces cultivados tanto en estanques como en acuarios, a diferencia de lo reportado por Durán (1999) quien menciona que los valores de oxígeno disuelto se registraron algunos días por debajo de los valores mínimos de óptimo crecimiento, lo cual pudo ocasionar una baja en el valor de la tasa de crecimiento.

Con respecto a la alcalinidad del agua en el estanque, está se incremento a partir del segundo mes de trabajo y se mantiene constante con valores que son aceptables para el cultivo de peces, ya que Arredondo (1986) y Arredondo y Ponce (1998) señalan que las aguas que contienen 40 mg/L o más de alcalinidad total, son consideradas mas productivas que las de baja alcalinidad, también señala que aún y cuando no existe una relación directa entre la alcalinidad y la productividad, si existen correspondencias entre la alcalinidad y la disponibilidad de fósforo y otros nutrimentos.

El agua, para propósitos de piscicultura, requiere de pequeñas cantidades de calcio y magnesio y las cantidades necesarias se presentan en aguas con dureza total de 20 mg/L como lo menciona Arredondo y Ponce (1998). Las concentraciones de la dureza total para el final del estudio se registraron entre niveles aceptables (20 a 70 mg/L), y por lo tanto, se les puede considerar como aguas suaves, y adecuadas para el desarrollo de los organismos y la

productividad del agua del estanque. Sin embargo, mencionan que las aguas duras (>150 mg/L) estimulan los procesos de eutroficación y contribuyen a problemas como florecimientos de microalgas y caídas en el nivel de oxígeno disuelto. Wedemeyer (1996), señala que las aguas suaves son bajas en calcio y otros minerales necesarios para la salud de los peces, pero es tolerable por los organismos si la ingesta de estos minerales se realiza por medio de la dieta; asimismo, recomienda la realización de cultivos en aguas duras. Esto es debido a que el calcio es requerido para la formación de huesos en los peces y el exoesqueleto en crustáceos

Los niveles de pH tienden a incrementarse cuando la conversión del CO₂ a materia orgánica por la fotosíntesis es mayor que la liberación de CO₂ por la respiración, estos cambios se observan durante el periodo de bajas temperaturas donde los niveles llegaron a ser superiores a 10, esto debido a que desde el inicio se registraron valores superiores a 8. Arredondo (1986), Wedemeyer (1996) y Arredondo y Ponce (1998), reportaron niveles de 6.5 a 9.0 como valores adecuados para el desarrollo de la piscicultura, además de que favorece la productividad natural del sistema, misma que constituye una fuente importante de alimento para los peces. Valores altos o bajos de pH pueden ocasionar alteraciones en la alimentación de los organismos y por consiguiente en el correcto desarrollo de los mismos.

Randall (1989) menciona que fuera del intervalo de 5 a 9, el pH tiene un efecto sobre el aspecto funcional de los peces, causando su muerte. Las aguas ácidas y alcalinas afectan la natación de los peces, debido posiblemente a un deterioro del transporte del oxígeno a bajo pH y acumulación de amonio a alto pH. Por otra parte, las aguas ácidas inhiben el intercambio sodio/hidrógeno en la superficie branquial y aumenta la pérdida del sodio, esta respuesta es mejorada por elevados niveles de calcio en el agua. Las excreciones de dióxido de carbono acidifican la capa de agua próxima a la superficie branquial, mientras el amonio eleva el pH, factor que disminuye con el incremento en la capacidad buffer del agua.

Ramírez (1997) reporta que los cambios en pH pueden provocar diferentes efectos en los peces tales como retardar el crecimiento, a límites básicos se produce un mucus en las branquias que causa destrucción histológica y lesiones en aletas y ojos, puede conducir a la ceguera total y en medio ácido provoca irritación en las branquias y puede llegar a destruir el epitelio histológicamente; alterar la osmorregulación y acidificar la sangre.

Los valores de pH registrados en el período de estudio, mantuvieron una tendencia alcalina y fueron afectados por la dinámica del estanque, ya que al inicio del estudio los valores fluctuaron alrededor de 8.5 y al finalizar dichos valores se incrementaron hacia 10, manteniendo una tendencia alcalina por efecto de la poca profundidad y nivel de agua que tuvo el estanque, además de que la fotosíntesis de los productores primarios juega un papel importante en el equilibrio de este factor.

Arredondo y Ponce (1998), señalan que la conductividad es una medida de la capacidad de conducir una corriente eléctrica y puede dar una estimación del grado de mineralización del sistema con base en los diferentes iones que se encuentran presentes en el agua del sistema. Algunos sistemas acuáticos del país presentan conductividades que oscilan entre los 20 y los 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como ejemplo el Lago Coatetelco, Morelos que presentó oscilaciones entre los 600 y 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Gómez, 2002) como los registrados en este estudio. En zonas de elevada contaminación algunas veces llega a exceder este último valor.

Por otra parte, la conductividad en la acuicultura se puede utilizar como un índice general de contaminación orgánica y así también permite estimar la concentración total de materia iónica disuelta en el agua, la cual está relacionada con la fertilidad del agua. Garrido (2005) reportó valores inferiores (775-1738 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para un sistema con condiciones de cultivo similares.

Por lo tanto, el agua del cultivo presentó una elevada carga iónica y reserva alcalina, porque a mayor concentración de iones, se incrementa la conductividad del agua lo cual es un factor importante, ya que permite estimar el grado de mineralización que tiene el recurso agua

El fósforo es el elemento limitante para la productividad y por lo tanto debe ser el compuesto principal a utilizarse en los cultivos realizados con fertilizantes químicos (Wetzel, 1975; Arredondo, 1993; Arredondo y Ponce, 1998). El fósforo es esencial para las funciones y crecimiento de todas las plantas en el agua, usualmente se encuentra en un estado oxidado, como iones ortofosfatos, siendo los niveles mas recomendados para el correcto desarrollo del fitoplancton entre 0.1 y 1000 mg/L (Reynolds, 1984, 2006).

Los niveles registrados durante el desarrollo del presente estudio, muestran que este nutrimento aún en sus niveles más bajos se mantuvo por arriba de los 0.5 mg/L, lo cual no debió ser un factor limitante para el incremento de la productividad del sistema, ya que cuando se aplican fertilizantes que contengan fosfatos, se incrementan marcadamente los rendimientos acuícolas, debido a que la concentración de este compuesto aumenta después de haber sido aplicado al estanque y empieza a declinar porque es absorbido por las bacterias, el fitoplancton y si hubiera, por las macrofitas acuáticas (Arredondo y Ponce, 1998).

Así mismo, las pérdidas de este elemento se deben a que los ortofosfatos solubles son absorbidos por el sedimento y cuando las aguas contienen concentraciones elevadas de calcio y pH alto, el fósforo se precipita como fosfato tricálcico (Arredondo y Ponce, 1998). Otro factor que es necesario considerar es lo mencionado por Reynolds (1984), quien señala que aunque se realicen medidas directas de las cantidades de fósforo en el agua, este no siempre reflejará las verdaderas cantidades de este elemento disponible.

El nitrógeno es el principal requerimiento para las algas y se utiliza en la síntesis de aminoácidos y proteínas, las cuales constituyen cerca de un sexto o un octavo del peso de la materia orgánica seca. La principal fuente de obtención este elemento es a través de las cantidades disponibles en el agua, a excepción de las cianobacterias que pueden llegar a fijarlo de los gases del ambiente (Arredondo y Ponce, 1998; Reynolds, 1984, 2006).

Los valores adecuados de este nutrimento para el cultivo de peces en agua calida son inferiores a 1.0 mg/L para los nitratos y 0.1 mg/L para nitritos, que en el caso de estos últimos, valores mayores pueden repercutir en la salud de los organismos y causar hipertrofia de las agallas o lesiones necróticas en el timo (Arredondo, 1986). Los niveles reportados en este cultivo son de 0.12 mg/L y 0.008 mg/L promedio para los nitratos y nitritos respectivamente, niveles muy inferiores para poder repercutir en el desarrollo y la salud de los peces del estanque.

Los niveles de amonio que se reportan en el presente estudio se encuentran por debajo de los límites establecidos para esta especie, y solo en un mes se obtuvo 0.688 mg/L, valores elevados por el tipo de fertilización que se utilizó, por lo que se considera que este nutrimento no repercute negativamente en el crecimiento de los organismos. Wedemeyer (1996) y Morales (1991), señalan que los valores menores de 0.5 mg/L como niveles adecuados para el correcto desarrollo de la tilapia y cantidades superiores son mortales, si los organismos se someten a periodos de exposición prolongados, junto con bajos niveles de oxígeno disuelto (Arredondo, 1986).

Con respecto a la presencia del fitoplancton, el realizar fertilizaciones con nitrógeno químico, el estanque tuvo mayor cantidad de clorofitas que de cianofitas durante todo el cultivo, el consumo de cianofitas puede llegar a ser letal para los peces en cultivos con sobre abundancia de estas (Keshavanath, 1994), además de tener un desagradable sabor y ser poco apetecibles (Servin-Reissac y Pletikosic, 1990). Sin embargo, Nestor *et al.*, (2003) mencionan que las cianobacterias por medio de cultivos pueden ser utilizadas en estudios para la producción de pigmentos, proteínas y otros compuestos de importancia comercial.

Tanto el nitrógeno como el fósforo, son elementos que son liberados por la degradación de la materia orgánica, los cuales dependen de los procesos óxido-reducción y de las concentraciones de oxígeno disuelto en el sistema. Además, la liberación del nitrógeno es más rápida por la alta solubilidad de los nitratos, los cuales son bajos en la superficie (por el consumo que realiza el fitoplancton) y por lo tanto, provoca la presencia de un gradiente a lo largo de la columna de agua.

Los niveles de silicatos no representaron un factor importante en el desarrollo de los organismos y del fitoplancton, ya que estos se encuentran dentro del intervalo que se reporta para cuerpos de agua continentales. El promedio mundial es 13 mg/l aunque se pueden encontrar registros de hasta 140 mg/l, principalmente cuando existen valores muy altos de pH, ya que esto permite incrementar la solubilidad de los mismos. Frecuentemente, cuando los silicatos exceden los 10

mg/l, estos tienden a incrementarse progresivamente con el contenido total de sales y conforme se incrementa el pH. Este elemento solo es aprovechado en forma directa por las diatomeas, las cuales únicamente se registraron en dos meses al inicio del cultivo. De acuerdo a Payne (1986) y Goldman y Horne (1983), la disponibilidad de este factor, puede tener una marcada influencia sobre la productividad y la sucesión de las poblaciones algales.

Los sulfatos mostraron valores altos durante el comienzo de las épocas frías, donde también se presentaron las mayores fluctuaciones en la temperatura y los niveles menores se registraron durante la temporada más cálida. Esta variación está en función de los valores de salinidad, ya que a bajos valores de salinidad las concentraciones de sulfatos son menores a 5 mg/L y cuando se incrementan estos valores se encuentran por encima del límite inferior. Asimismo, este elemento se ve afectado por los valores del potencial óxido-reducción y cuando en un estanque la estratificación diurna que se registra se rompe, el oxígeno declina y se han llenado a observar mortandades de peces que se atribuyen a la demanda de oxígeno disuelto por sustancias que se encuentran en el fondo del estanque (Arredondo y Ponce, 1998)

Los valores de calidad de agua que son reportados por la bibliografía, no fueron rebasados durante el estudio en el estanque ni mucho menos en los sistemas controlados, ya que estos últimos fueron monitoreados continuamente y en su caso realizando recambios parciales del agua y eliminando desechos tanto de los animales como del alimento que no consumieron

De acuerdo con sus ciclos vitales cortos, las algas microscópicas del fitoplancton reflejan fluctuaciones ambientales, ya que responden rápidamente a los cambios que pueden ocurrir en las masas de agua por procesos naturales o por las actividades humanas, que además de modificar la estructura de sus comunidades, repercute inevitablemente en el interés hidrológico y económico de estos ambientes en un tiempo relativamente corto, sobre todo por su papel de productores primarios (De La Lanza *et al.*, 2000).

El fitoplancton tuvo un incremento en número de células por litro a fines de otoño, siendo las clorofitas el grupo con mayor abundancia encontrado durante este tiempo. Las cianofitas solo se presentaron durante los meses cálidos con tendencia a desaparecer al comienzo de la temporada fría, similar a lo reportado por Arredondo (1993) para sistemas con diferente tipo de fertilización, en donde señala que existen variaciones estacionales del fitoplancton, con un incremento en la abundancia de las clorofitas durante los periodos invernales o de temperaturas bajas. El oxígeno disuelto mostró una tendencia al incremento en el transcurso del tiempo, probablemente influenciado por las tasas de producción del fitoplancton, ya que Lara *et al.* (1996), mencionan que el fitoplancton es el responsable de la mayor fuente de liberación de oxígeno en el sistema acuático.

El total de células por mililitro encontradas en este estudio fue de 2 243 904 distribuidas en 39 especies, lo que indica que se obtuvieron cantidades de

fitoplancton similares a trabajos realizados anteriormente en este mismo sistema como se menciona a continuación.

Garrido (2005) reporta una cantidad cercana a las 300 000 cél/ml, con 16 especies divididas en tres géneros para un cultivo *O. aureus*. Bernal (1998) en un cultivo de *O. niloticus* obtuvo cantidades próximas a los 5 000 000 de cél/ml con 89.17 % dominada por la división Chlorophyta y 10 especies determinadas. Flores (1994) reportó cantidades superiores a las 700 000 cél/ml para un cultivo de *O. niloticus*. Gómez y Peña (1997) reportan 588 553 cél/ml para un estanque fertilizado a razón de 20 kg/ha de fertilizante químico y 2 312 582 cél/ml para otro sistema fertilizado con 60 kg/ha de orgánico, determinando un número de 12 especies de fitoplancton para ambos sistemas.

Con respecto a la cantidad de células fitoplanctónicas reportadas para el cultivo de la tilapia, Margalef (1983) señala que estos sistemas con una cantidad entre los 10^4 y los 10^6 cél/ml se pueden considerar como aguas muy eutróficas, como se había señalado anteriormente.

Los valores del índice de diversidad que se encontraron fueron de 2.55 al inicio del cultivo y 0.57 durante el último mes, lo que indica que aún cuando la abundancia (cél/ml) mostró un incremento, este fue representado por un menor número de especies, lo que determina que existió una menor diversidad al final del cultivo. Esto significa que las condiciones de fertilización, así como de temperaturas frías condujeron a un aumento en la densidad de las especies, así como una reducción en el número de ellas, lo cual se confirma con los valores de uniformidad que se registraron. Flores (1994), menciona que en los sistemas eutróficos tanto el fitoplancton como el zooplancton, muestran una diversidad baja y que de acuerdo a sus resultados los valores de H' oscilaron entre 0.03 y 1.3, similares a los obtenidos en este estudio

Como se sabe, el índice de Shannon-Wiener expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección, asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra, adquiere valores entre cero cuando hay una sola especie y el máximo cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Lara, *et al* 1996; Moreno, 2001).

Los valores de la equidad se encontraron en el máximo durante el mes de Junio (0.86) y el mínimo durante Septiembre (0.17), ya que la equitatividad mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada y por lo tanto, valores cercanos a 1 indican situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno, 2001), cuando la proporción de la abundancia es baja predominan valores de equitatividad bajos como en el caso de Septiembre.

Arredondo (1993) menciona que esta tendencia posiblemente signifique los cambios sucesivos de las diferentes especies que integran la fitocenosis, ligados al comportamiento estacional de la temperatura y a la disponibilidad de nutrimentos.

Margalef (1983) menciona que las cianofíceas regulan la relación entre el fósforo y el nitrógeno combinado en las aguas. Cuando dicha relación se desvía a favor del fósforo, se desarrollan cianofíceas que introducen nitrógeno combinado en el sistema por ejemplo, *Anabaena*, cianobacteria fijadora de nitrógeno que predomina cuando la relación N:P es baja.

En este estudio aunque la relación N:P siempre se vio favorecida por la presencia de ortofosfatos, las especies de cianofitas que se registraron fueron *Anabaenopsis elenkinii* y *Microcystis aeruginosa*. Sin embargo, durante todo el estudio la relación N:P siempre fue alta y por lo tanto en el cultivo, el grupo dominante por especie y abundancia fue el de las clorofitas. Este mismo comportamiento es mencionado por Arredondo (1993) quien cita la composición del fitoplancton en estanques sometidos a diferentes tratamientos utilizando diferentes bioabonos (excretas de borrego y cerdo) y fertilización química.

En general como es citado por Arredondo (1993) y Arredondo y Ponce (1998), los datos obtenidos en el presente estudio señalan que una alta abundancia de fitoplancton es característica de ambientes eutróficos y de elevada productividad primaria, que favorece el crecimiento de la especie, principalmente cuando se realizan policultivos y en ellas las especies filtradoras son las más beneficiadas.

Muy probablemente el bajo rendimiento obtenido en el estanque se debe como ya se mencionó anteriormente, por los altos valores de pH registrados durante todo el estudio que perjudicó el crecimiento en talla y biomasa de los peces y aunque se trató de controlar esta variable por medio de la introducción de sulfato ferroso como marca la literatura, al final cada vez que se realizaba la fertilización del sistema, esto favorecía el incremento del pH y así el bajo rendimiento comparado con otros estudios realizados en las mismas condiciones.

La mayor tasa de mortalidad de peces en el estanque se encuentra durante el periodo posterior a la introducción, los cuales pudieron estar probablemente afectados por la adaptación a las características del nuevo sistema o por las tasas intrínsecas de muertes propias de la especie. Durante el transcurso del proyecto, el número de peces muertos mostró un decremento, pero no un cese en alguno de los periodos. Castro *et al.* (2004) menciona que *O. niloticus* tuvo una mortalidad de 0.5%, valores totalmente diferentes a los obtenidos en este estudio, aún cuando fue cultivada en aguas con valores altos de dureza total.

No se observaron organismos muertos en días posteriores a los muestreos, por lo cual se descarta al estrés causado por la manipulación como un factor importante para la muerte de los peces. Posiblemente la tendencia del agua a aumentar hacia

valores de alcalinidad tenga mucho que ver como factor de muerte de los peces, ya que se registraron altos valores de pH durante la mayoría del tiempo del cultivo.

La tasa de crecimiento instantáneo e incremento diario para los peces del estanque, muestran el mismo patrón de comportamiento durante el cultivo para las tres divisiones. Probablemente el crecimiento de los peces fue afectado por cambios extremos que se presentaron en la temperatura del agua, la cual tuvo alternancias en cortos periodos de tiempo, lo que pudo afectar el consumo del alimento, el cual estuvo siempre disponible en el sistema en cantidades adecuadas.

Se registraron pérdidas de organismos a partir de Agosto, periodo marcado por altas tasas de mortalidad. El diagrama de cajas muestran una tendencia homogénea del crecimiento en las tres divisiones, lo cual es comprobado por los análisis en los que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el crecimiento de las divisiones.

El crecimiento de los peces en este sistema fue de tipo alométrico positivo, lo que nos indica que existió mayor crecimiento en peso que en talla (Pauly, 1984).

Hepher (1993) y Arredondo y Lozano (2003) señalan que el alimento de los peces debe cumplir con ciertos requisitos para complementar las necesidades del crecimiento, lo cual puede afectar los desarrollos en talla y peso, que son los principales indicadores de ganancias en la piscicultura, lo que nos marca que aún cuando el alimento pudo ser consumido, este no cumpliera con las necesidades de los peces cultivados o no ser de la preferencia de los peces, ya que los organismos al tener altas concentraciones de alimento tienden a ser más selectivos.

Bernal (1998) encontró crecimiento de tipo alométrico negativo para las divisiones 1 y 2, y alométrico positivo para la división 3 en un cultivo de *Oreochromis niloticus*. Garrido (2005) encontró crecimiento de tipo alométrico negativo para las tres divisiones para un cultivo de *O. aureus*. Flores (1994) determinó crecimiento de tipo alométrico negativo para *O. niloticus*; los tres cultivos realizados anteriormente se hicieron en la misma área de estudio que el presente trabajo y bajo el mismo tipo de fertilización. Estos datos difieren de lo encontrado por Pérez y Patlani (2002) para el crecimiento de estos organismos en condiciones naturales similar a los reportado por Garduño y Avelar (1996), quienes mencionan crecimiento de tipo alométrico negativo para los peces de la *O. niloticus*, desarrollados en condiciones naturales en la laguna de Coatetelco en el estado de Morelos.

Los análisis realizados para los organismos cultivados en medios controlados mostraron un incremento en la longitud patrón conforme transcurrió el proyecto llegando a encontrar casos extraordinarios al final del estudio debido a una disparidad en las tallas. Esto es debido quizás al establecimiento de relaciones sociales como la jerarquía entre los peces (Jones, 1971) que se establecen como

aspectos conductuales y las cuales comenzaron a ser mas evidentes durante los tres primeros meses del cultivo donde las altas tasas de mortalidad fueron debidas a la agresividad de los organismos de tallas mayores sobre los más pequeños.

Así mismo, durante la toma del alimento se observó que siempre primero comen los más grandes y después los más pequeños y aunque se trató de distribuir el alimento en toda la pecera, siempre se manifestaba este proceso jerárquico.

Hepher (1993), señala que los peces del mismo sexo que se encuentran en un mismo sistema, aún cuando tengan una cantidad suficiente de alimento disponible, estos tienden a presentar relaciones de competencia debidas principalmente a lucha por el espacio y por conducta sexual; esto se vio reflejado en el incremento en la agresividad de los peces que obtuvieron mayores tallas durante los primeros meses, lo que llevo a obtener un crecimiento de tipo alométrico negativo, esto es, mayor desarrollo en longitud que en peso.

Durante el presente estudio se obtuvieron tasas de crecimiento promedio de 2.07 g/día y 1.32 cm/día, además de un FCA promedio de 1.08 los cuales son mayores a los registrados por Córdova (1994), aún cuando al inicio se tuvieron densidades de 10 org/40 L, éstas se redujeron considerablemente durante los primeros meses por lo cual la densidad pudo ser un factor determinante en el desarrollo de los peces cultivados en estos sistemas, ya que los factores fisicoquímicos del agua estuvieron controlados en todo momento, no encontrándose niveles altos de alcalinidad, dureza o pH, debido a la realización de recambios periódicos del agua de los sistemas y tratamientos de esta agua para la eliminación de elementos que pudieran resultar nocivos para los peces o para el desarrollo de los mismos.

El peso final promedio por organismo en el acuario fue de 49.93 g y 12.18 cm de talla lo cual no los hace comercialmente atractivos para el consumo, pero los gráficos muestran un correcto incremento en la ganancia de peso para estos organismos, con tendencia al aumento durante el tiempo de duración. Valores similares fueron obtenidos por Castro *et al.* (2004) quienes mencionan que en el cultivo de *O. niloticus* masculinizados en estanques de concreto con aguas duras (725 mg/L), la talla y el peso promedio obtenidos después de 120 días fueron 16.5 cm y 26.1 g. Afolabi *et al.* (2005), citan que en estanques de concreto caseros urbanos se pueden obtener organismos de 50 a 180 g en 120 días si estos son cultivadas con fertilización orgánica.

La tasa de crecimiento instantánea (G) es definida por Hepher (1993) como el incremento en peso o longitud en un tiempo determinado. Los valores registrados en el presente estudio para este parámetro (0.26 cm/día y 0.80 g/día), son superiores a los mencionados por Bernal (1998), quien obtuvo promedios de 0.20 cm/día y 0.63 g/día para organismos de la misma especie, a los de Flores (1994) cuyo valor promedio del crecimiento en peso fue de 0.21 g/día para *O. niloticus*, ambos trabajos realizados bajo las mismas condiciones de fertilización, así como los de Garrido (2005) quien reporta crecimientos promedio de 0.0060g/día y

0.0020cm/día con el mismo tipo de fertilización, pero con la diferencia de contar con organismos de ambos sexos en todos los trabajos anteriores.

Por lo tanto, si el cultivo en el acuario se hubiera mantenido con bajas tasas de mortalidad y sumado con el control que se tuvo de los factores físico-químicos, es muy probable que el crecimiento de los peces en talla y peso sería de al menos 20 cm y 150 g. Con respecto al cultivo en el estanque se debería controlar el pH para evitar que la basicidad del agua del sistema afecte a los organismos ocasionando un estrés fisiológico y por lo tanto una elevada tasa de mortalidad.

Si bien este estudio no fue del todo concluyente en la aportación de datos que pudieran determinar la viabilidad de estos cultivos con fines comerciales, sería adecuado realizar un nuevo proyecto, mejorando las condiciones para evitar la problemática que se dio en el presente en cuanto a la calidad del agua y así poder aportar datos a la investigación de cultivos monosexados.

CONCLUSIONES

El crecimiento de los peces cultivados en el estanque con fertilización química fue de tipo alométrico positivo ($b= 3.0844$).

La mortandad encontrada para los peces en este sistema fue de 62 % del total de los organismos cultivados.

La producción fitoplanctónica fue superior a los 2 millones de células por mililitro.

Se encontraron 38 especies de fitoplancton distribuidas en 4 divisiones. La división Chlorophyta fue la que se registró con altas densidades durante todo el cultivo.

La temperatura del agua sufrió fuertes fluctuaciones en cortos periodos de tiempo durante la duración del proyecto. Los niveles de oxígeno disuelto fueron adecuados para la realización de cultivos de esta especie. El pH del agua del cultivo en el estanque tendió hacia la basicidad hacia el final del cultivo (> 9 unidades), con valores de alcalinidad aceptables para el cultivo.

El crecimiento de los peces cultivados en los sistemas controlados fue de tipo alométrico negativo ($b= 2.935$) y mostró tendencia al incremento durante todo el tiempo.

La producción de estos sistemas fue afectada por una alta mortalidad y agresividad de los peces.

REFERENCIAS

- Afolabi, J. A; P. B. Imoudu y O. A. Fagbenro.** (2005). Cultivo de tilapia en tanques caseros de concreto en las zonas periurbanas de Nigeria. U.A. Magazine no. 14-Urban Aquatic Production: 37-39.
- Alamilla, H.** (2001). Cultivo de tilapia. 20ª Ed. Tecni-Campo. México. 19 p.
- Anónimo** (2003). Anuario Estadístico de Pesca 2003. SAGARPA, Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. México. 265 p.
- APHA, AWWA y WPCF.** (1992). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. 18ª ed. American Public Health Association. EE.UU. 1100 p.
- Arredondo, F. J. L** (1986). Piscicultura, breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaria de Pesca. 182 p.
- Arredondo, F. J. L y S. D. G. Lozano** (2003). La acuicultura en México. División de Ciencias de la Salud, Departamento de Hidrobiología, UAM-Iztapalapa, México, D.F. 266 p.
- Arredondo, F. J. L.** (1993). Fertilización y fertilizantes: su uso y manejo en la acuicultura. U.A.M, Unidad Iztapalapa. México, DF. 202 p.
- Arredondo, F. J. L. y J. T. P Ponce,** (1998). Calidad del agua en acuicultura: Conceptos y aplicaciones. AGT Editor S.A. 222 p.
- Arredondo, F. J. L. y M. Guzmán-Arroyo** (1986). Actual situación taxonómica de las especies de la tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx. Serie Zool. 56 (2): 555-572.
- Arredondo, F. J. L. y M. Tejeda-Salinas** (1989). El hueso faríngeo, una estructura útil para la identificación de las especies de la tribu Tilapiini (Pisces; Cichlidae), introducidas en México. An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM. 16(1): 56-68.
- Bardach, J. E.** (1986). Acuicultura: crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. AGT Editor, México, 741 p.
- Basurto, M.** (1995). Algunos aspectos reproductivos de la tilapia *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Chila, Veracruz. Centro Regional de Investigación Pesquera en Puerto Morelos, México. Biotam. 6 (3): 32-41.

- Bayuelo, E. V. y O. A. Sanz** (2005). Reproducción de la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el Jardín Zoológico de la Habana. Departamento Biología Animal y Humana. Facultad de Biología. Universidad de La Habana. Publicado en: www.revistaciencias.com/publicaciones/EEFVFyElpFZDXalmSv.php Última revisión: 11 de Octubre de 2007.
- Bernal, E. O.** (1998). Cultivo de *Oreochromis niloticus* en estanques de concreto con fertilización orgánica y química. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza, UNAM, México, 50 p.
- Bocek, A.** (2003). Reproductive Biology of *Oreochromis niloticus*. International Center for Aquaculture and Aquatic Environment. Alabama, 5 p.
- Castillo, F. L.** (2001). Tilapia roja 2001. Una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito doce años después. Cali, Valle. Colombia. URL: http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIA_ROJA.doc Última revisión: 11 de octubre de 2007.
- Castro, R. R., J. de la P. G. Hernández y G. B. Aguilar**, (2004). Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de tilapia (*Oreochromis* sp.) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca, México. Revista AquaTIC, n°20: 38-43. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=172>. Última revisión: 11 de Octubre de 2007.
- Cervantes, S. A.** (1984). Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos. E.N.E.P Zaragoza. UNAM. 106 p.
- Comas, G. A.** (1996). Las Chlorococcales dulceacuícolas de Cuba. J. Cramer, Berlin, Stuttgart. 169 p, 65 figuras.
- Cordova, C. A.** (1994) Influencia de la densidad y fotoperiodo con diferentes temperaturas en el crecimiento de la tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*), en condiciones controladas de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM, México. 71 p.
- Daniels, W. W.** (1982). Bioestadística. Bases para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa, S.A. de C.V. México 878 p.
- De la Lanza, E. G; S, Hernández; J, L, Carvajal.** (2000). Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores. Editado en México por Plaza y Valdés S.A. de C.V. México. 633 p.
- Dillard, G. E.** (1989). Freshwater Algae of the Southeastern United States. J. Cramer, Berlin, Stuttgart. 202 p, 37 placas.

- Durán, E.** (1999). Validación de un modelo de producción intensiva de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en estanques de tierra. XI Congreso Nacional Agronómico, Resumen 416, pág. 529.
- Flores₁, T. F. J.** (1994). Caracterización fisicoquímica del embalse "El Niagara", Aguascalientes. Tópicos de Investigación y Posgrado, III (3): 26-30.
- Flores₂, M. O.** (1994). Crecimiento de *Oreochromis niloticus* en estanques de concreto con diferente fertilización en un clima templado. Tesis de licenciatura. F.E.S, Zaragoza, UNAM, México, 56 p.
- García, E.** (2004). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 5ª edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 90 p.
- Garduño, P. M y E. J. Avelar** (1996). Edad y crecimiento de la mojarra (*Oreochromis niloticus*) en la Laguna de Coatetelco, Morelos. Tesis de Licenciatura, F.E.S. Zaragoza. UNAM. México. 71 p.
- Garrido, A. O.** (2005). Crecimiento de *Oreochromis aureus* bajo las condiciones de la Ciudad de México. Tesis de licenciatura, F.E.S, Zaragoza, UNAM, México, 59 p.
- Goldman, C. R y A. J, Horne** (1983) Limnology. McGraw-Hill, New York. 464 p.
- Gómez, M. J. L y M. B, Peña,** (1997). Variación del fitoplancton en estanques de concreto, utilizado como alimento para especies en experimentación. Tópicos de Investigación y Posgrado V (3): 139-143.
- Gómez, M. J. L,** (2002). Estudio limnológico-pesquero del lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, UNAM, México 181 p.
- Green, B. W., R. P. Phelps y H. R. Alvaranga** (1989). The effect of manures and chemical fertilizers on the production of *Oreochromis niloticus* in earthen ponds. Aquaculture 76: 37-42.
- Guillaume, J; S. Kaushik; P. Bergot y R. Métallier.** (2004). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Editorial Multi-Prensa. España. 471 p.
- Hepher, B.** (1993). Nutrición de peces comerciales en estanques. Editorial Limusa, México, 406 p.
- Hepher, B. y Y. Pruginin,** (1985). Cultivo de peces comerciales. Basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel. Editorial Limusa. 316 p.

- John, D. M; B. A, Whitton; A. J, Brook.** (2002). The freshwater Algal Flora of the British Isles. Cambridge University Press, Reino Unido, 702 p.
- Jones, R.** (1976). Growth of fishes: 251-279. In: Cushing D.H. y J.J. Walsh (ed). The Ecology of the Seas. W. B. Saunders Company, Philadelphia, U.S.A.
- Keshavanath. P, M. C. M. Beveridge, D. J. Baird, L. A. Lawton, A. Nimmo and G. A. Codd.** (1994) The functional grazing response of a phytoplanktivorous fish *Oreochromis niloticus* to mixtures of toxic and non-toxic strains of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*. Journal of fish Biology 45, 123-129.
- King, M.** (1995). Fisheries Biology, Assessment and Management. 2ed. Ed. Fishing News Books. Oxford, Inglaterra. 341 p.
- Lara, V. M. A; R. J. L, Moreno; M. E. J, Amaro** (1996). Fitoplancton, conceptos básicos y técnicas de laboratorio. Editado por UAM, Unidad Iztapalapa, México, D.F. 227 p.
- Margalef, F.** (1983). Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España. 1010 p.
- Martínez, C. L. R.** (1998). Ecología de los sistemas acuícolas, bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura. AGT Editor, México. 227 p.
- Morales, D. A.** (1991). La tilapia en México. Biología, cultivo y pesquerías. AGT editores. México. 185 p.
- Moreno, C. E.,** (2001). Métodos para medir la biodiversidad. M&T-manuales y tesis SEA, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Volumen 1. Zaragoza. España. 84 p.
- Moreno. E. A, Rodríguez C. A, Barriga S .I. A, y Arredondo F J. L.** (2004) Producción de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) masculinizada con la hormona Fluoximesterona en sistemas cerrados de recirculación. Fuente: II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. Publicado en: www.civa2003.org, Última revisión: Mayo de 2008.
- Ortega, M. M** (1984). Catalogo de algas continentales recientes de México. UNAM, México, DF. 566 p.
- Pauly, D.** (1984). Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. International Center for Living Aquatic Resources Management. Manila, Filipinas. 5-7 pp.
- Payne, I.A.** (1986). The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley & Sons, 301 p.

- Pérez, O. G y S. J, Patlani.** (2002). Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa “Emiliano Zapata”. Morelos. Tesis de Licenciatura, F.E.S. Zaragoza. UNAM. México. 87 p.
- Ramírez, P.I.M.** (1997). Bases científicas del uso de fertilizantes en acuicultura y aspectos fundamentales sobre calidad del agua, 75-86. En: Arredondo-Figueroa, J. L.; P. L. G. Domínguez y D.C. Grande (Compiladores). Sistemas integrales de acuicultura para el desarrollo sustentable. UAM-Iztapalapa, México, D.F.
- Randall, D.J.** (1989). The impact of variations in water pH on fish. Program and Abstracts. Aquaculture 89. J. of the World Aquaculture Society 20(1): 64.
- Reynolds, C. S.** (1984). The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Gran Bretaña, 384 p.
- Reynolds, C.S.** (2006). Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press. 535 p.
- Ricker, W. E.** (1968). Methods for assessment of fish production in fresh waters. C.E.C.S.A., México. 313 p.
- Rigola, L. M.** (1999). Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales. ALFAOMEGA Editor. Colombia, 157 p.
- Rodier, J.** (1990). Análisis de las aguas. Ediciones Omega. Barcelona, 1059 p.
- Salgado, U. I. H.** (1992). El análisis exploratorio de datos biológicos: Fundamentos y aplicaciones. E.N.E.P, Zaragoza, UNAM; México. 243 p.
- Servin-Reissac, J. y M. Pletikosic** (1990). Cianobacteria in fish ponds. Aquaculture 88: 1-20.
- Swift, D. R.** (1985). Aquaculture training manual. Fishing New Book Ltd, Inglaterra. 135 p.
- Torres R. B.** (1989). Evaluación del crecimiento y robustez de la tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum* (Trewavas, 1980) y la carpa barrigona *Ciprynius carpio rubrofuscus* (Richardson) en condiciones de policultivo extensivo, y su relación con los parámetros limnológicos del embalse de temporal “Chavarria” en el estado de Morelos. Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM, México. 88 p.
- Wedemeyer, G. A.** (1996) Physiology of fish in intensive culture systems. Chapman & Hall, U.S.A, 232 p.
- Wetzel, R. G.** (1975) Limnology. Saunders Collage Publishing, U.S.A, 743 p.

Wetzel, R. G. y G. E. Likens. (1979). *Limnological Analysis*. W. B. Saunders Philadelphia. 357 p.

Wheaton, W. F. (1982). *Acuicultura. Diseño y construcción de sistemas*. AGT Editor, S.A. 704 p.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757).

Figura 2. Ubicación geográfica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II.

Figura 3. Estanque de cemento de la unidad acuícola experimental de la F.E.S Zaragoza.

Figura 4. Variación de la temperatura durante el desarrollo del cultivo en el estanque de cemento.

Figura 5. Comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en agua durante el cultivo en el estanque.

Figura 6. Variación de la conductividad registrada en el estanque durante el tiempo de cultivo en el estanque de cemento.

Figura 7. Visibilidad al disco de Secchi en el estanque de cemento durante el tiempo de cultivo de machos de *O .niloticus*.

Figura 8. Alcalinidad total, Dureza y pH durante el tiempo de duración del cultivo en el estanque.

Figura 9. Comportamiento del fósforo total y ortofosfatos durante el cultivo de *O. niloticus* en el estanque de cemento.

Figura 10. Variación de los sulfatos y silicatos durante el cultivo.

Figura 11. Nitratos y nitritos durante el cultivo de *O. niloticus*.

Figura 12. Comportamiento de los niveles de amonio durante el tiempo de realización del cultivo.

Figura 13. Relaciones entre nitrógeno total y fósforo total durante el cultivo en el estanque de cemento.

Figura 14. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 1.

Figura 15. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 2.

Figura 16. Relación peso total y longitud patrón para los peces de la división 3.

Figura 17. Relación peso total-longitud patrón para la población total de peces cultivados en el estanque de cemento.

Figura 18. Relación peso total-longitud patrón para los peces cultivados en acuarios con condiciones controladas.

Figura 19. Crecimiento en longitud patrón por división para los peces cultivados en el estanque.

Figura 20. Comportamiento del peso total por división para los peces cultivados en el estanque.

Figura 21. Variación temporal del crecimiento en peso total para los peces cultivados en el estanque.

Figura 22. Comportamiento temporal del crecimiento en longitud patrón para los peces en el estanque.

Figura 23. Comportamiento del crecimiento en longitud patrón por mes y división para los peces cultivados en el estanque.

Figura 24. Comportamiento del crecimiento en peso total por mes y división para los peces cultivados en el estanque.

Figura 25. Comportamiento temporal de la longitud patrón para los peces cultivados en acuarios con condiciones controladas.

Figura 26. Comportamiento temporal del peso total para los peces cultivados en acuarios.

Figura 27. Tasa de crecimiento instantáneo en talla y peso para los peces cultivados en el estanque.

Figura 28. Tasa de crecimiento instantáneo en talla y peso para peces cultivados en sistemas con condiciones controladas.

Figura 29. Variaciones del porcentaje de ganancia en peso por división para los peces cultivados en el estanque de cemento.

Figura 30. Porcentaje de ganancia en peso para los peces cultivados en acuarios.

Figura 31. Incremento diario en peso total y longitud patrón para los peces cultivados en el estanque.

Figura 32. Incremento diario en peso total y longitud patrón para peces cultivados en acuarios.

Figura 33. Porcentajes de peces muertos en el estanque, por periodo durante el tiempo de cultivo.

Figura 34. Porcentajes de peces muertos en los acuarios, por periodo durante el cultivo.

Figura 35. Comportamiento del Factor de Conversión de Alimentos (FCA), para el cultivo en acuarios.

Figura 36. Factor de Conversión de Alimentos Esperado (FCA) para el cultivo en acuarios.

Figura 37. Variación de la abundancia del fitoplancton en el estanque.

Figura 38. Comportamiento del Índice de diversidad de Shannon-Wiener y la Equidad durante los meses de cultivo.

Tabla 1. Biometría de introducción y cosecha de los machos de *O. niloticus* cultivados en estanque.

Tabla 2. Biometría de introducción y cosecha de machos los *O. niloticus* cultivados en acuario.

Tabla 3. Especies de fitoplancton presentes en el estanque de cemento.