



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FES ZARAGOZA

“Manejo y evaluación de un cultivo monosexado de tilapia *Oreochromis niloticus* en una unidad de producción acuícola en Puebla, como una alternativa alimentaria de carácter social”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

IVAN ALFONSO JAMET ARDILES

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. JUSTO SALVADOR HERNÁNDEZ AVILÉS

CDMX, 2017





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la Asociación Civil Mateo Quinto A.C. donde se realizó la presente investigación dentro de los: "Proyectos ecológicos-productivos como parte de un sistema sustentable en la Asociación Civil "Mateo Quinto", Clave: 2014-12/48-1684.

A la Fundación Gonzalo Río Arronte I.A.P. por el apoyo financiero otorgado por medio del Proyecto A-224 "Establecimiento de una unidad de producción piscícola a través del uso sustentable de agua pluvial y de tratamiento en la Asociación Civil Mateo Quinto que atiende a personas con capacidades diferentes".

Al laboratorio de Limnoecología de la Carrera de Biología de la FES Zaragoza donde se llevó a cabo la ejecución del proyecto en sus fases de campo, laboratorio y gabinete para la evaluación de la calidad del agua del estanque y el crecimiento de los peces en cultivo dentro de la unidad de producción acuícola de la Asociación Civil Mateo Quinto.

A la Facultad de estudios superiores Zaragoza de la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme toda la infraestructura académica y compromiso social para poder concluir mis estudios.

Al Dr. Salvador Hernández-Avilés por aceptarme en el laboratorio de Limnoecología, por explicarme, por brindarme su apoyo, su conocimiento y dirección, que fueron importantes para mi formación académica y la conclusión de mi trabajo.

Al Dr. José Luis Gómez Márquez por su minuciosa forma de prestar atención a los detalles de mi trabajo que sin duda fueron importantes para el término de este mismo.

Al Dr. Isaías Salgado Ugarte por su paciencia para explicarme y solucionar mis dudas sobre temas de estadística.

A la Biól. Angélica González Schaff por su atención a este trabajo, por su trato académico, que la hacen una increíble persona.

Al Biól. José Luis Guzmán Santiago por sus observaciones, comentarios y sugerencias para concluir este trabajo.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Agradezco a mi madre, Vilma Ardiles Gloria, por todo el apoyo, por todas las enseñanzas tanto académicas como personales, que me han formado y aún sigo en proceso. Por ser la primera persona que hizo que me interesara en la ciencia, específicamente en la biología y por ser la gran persona que es, que me inspira para querer seguir superándome.

A mi hermana Annette por estar a mi lado tanto en las buenas como en las malas, tanto en Chile como en México, a quien quiero mucho, y con quien siempre estaré a su lado cuando me necesite.

A Janet y a Héctor, mis mejores amigos, a quienes tuve el gusto de conocer desde hace 8 años en la prepa 5, a quienes no cambiaría por nada del mundo.

Agradezco a mis mejores amigos de la carrera, Erick y Alan, por todos los buenos momentos que he vivido junto a ustedes tanto fuera como dentro de la carrera.

A Andy, Guemez, Mayén, Chucho, =mar, Thelma, Tanque, Isa, Victor, Polet ya que sin ustedes el trabajo, las clases y las salidas a campo no hubieran sido las mismas.

Al Dr. Salvador por ser un gran académico, que siempre contestó mis preguntas y por hacer las clases tan interesantes y divertidas.

A todos los alumnos que pasaron por el laboratorio de Limnoecología y con quienes tuve que trabajar tanto en el laboratorio como en campo, gracias a ustedes el trabajo pesado se volvió más ligero: Jibus, Ivan, Chucho, Omar, Ulises, Ana, Itza, Tadeo, Ara y Chino.

Por último, pero no menos importante, le doy gracias a mi familia en Chile, tanto a mi padre, mis abuelos, mis tíos, mis primos, a quienes a pesar de la distancia nunca los olvido.

ÍNDICE

Resumen	7
1. Introducción	8
2. Antecedentes	11
3. Planteamiento del problema	17
4. Justificación	19
5. Hipótesis	19
6. Objetivos	19
7. Lugar de estudio	20
8. Materiales y métodos	22
8.1 Trabajo de campo	22
8.1.1 Manejo y evaluación de los peces	24
8.1.2 Parámetros físico-químicos	24
8.2 Trabajo de laboratorio	26
8.2.1 Nutrimentos	26
8.3 Trabajo de gabinete	27
9. Resultados	31
9.1 Parámetros productivos e índices de desempeño	31
9.2 Talla de los peces	32
9.3 Peso de los peces	33
9.4 Relación peso-longitud	34
9.5 Ganancia diaria de peso	35
9.6 Tasa instantánea de crecimiento	35
9.7 Índice de condición de Fulton	37
9.8 Índice de condición relativa	37
9.9 Factor de conversión alimenticia	38
9.10 Ración diaria alimenticia	39
9.11 Cosecha y rendimiento	39
9.12 Calidad del agua	39

9.13	Nutrimentos	45
9.14	Evaluación del fitoplancton	46
9.15	Productividad primaria	48
9.16	Abundancia de zooplancton	48
9.17	Correlación de Pearson	50
10.	Discusión	51
11.	Conclusiones	62
12.	Referencias	64

Índice de figuras

Fig. 1	Ubicación de la Asociación Mateo Quinto.	20
Fig. 2	Estanque de cultivo en Amozoc, Puebla.	22
Fig. 3	Longitud total alcanzada por los peces durante el periodo de estudio (2015-2016).	32
Fig. 4	Peso alcanzado por los peces durante el periodo de estudio (2015-2015).	33
Fig. 5	Relación Peso-Longitud total obtenida durante el estudio.	34
Fig. 6	Relación Peso-Longitud patrón obtenida durante el estudio.	34
Fig. 7	Ganancia diaria de peso durante del periodo de estudio	35
Fig. 8	Tasa instantánea de crecimiento en longitud durante el periodo de estudio	36
Fig. 9	Tasa instantánea de crecimiento en peso durante el periodo de estudio.	36
Fig. 10	Índice de condición de Fulton durante el periodo de estudio.	37
Fig. 11	Índice de condición relativa durante el periodo de estudio	37
Fig. 12	Factor de conversión alimenticia del alimento Api Tilapia 2 de marzo a julio del 2015	38
Fig. 13	Factor de conversión alimenticia del alimento Api Tilapia 3 de julio a noviembre	38
Fig. 14	% de la ración diaria alimenticia que se suministró durante el periodo de estudio	39
Fig. 15	Visibilidad del disco de Secchi durante el periodo de estudio.	40
Fig. 16	Temperatura del agua y ambiental registradas durante el periodo de estudio.	40
Fig. 17	Comportamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) registradas durante el periodo de estudio.	41
Fig. 18	Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno (SO) registrada durante el periodo de estudio.	41
Fig. 19	Variabilidad del pH durante el periodo de estudio.	42
Fig. 20	Variabilidad de la dureza total (Dza ttl), dureza de calcio (Dza Ca) y alcalinidad total (Alc) durante el periodo de estudio	43
Fig. 21	Variabilidad de la conductividad y de los sólidos disueltos totales durante el periodo de estudio.	43
Fig. 22	Diagrama de la contribución relativa (% del total de sp) por división a la diversidad genérica del fitoplancton en cultivo semiintensivo de tilapia.	46
Fig. 23	Variación temporal de la densidad fitoplanctónica total	47
Fig. 24	Modelo multiplicativo de la relación entre densidad fitoplanctónica vs visibilidad del Disco de Secchi.	47
Fig. 25	Composición en porcentaje del zooplancton total.	49
Fig. 26	Variación temporal de la densidad zooplanctónica total.	49

Índice de tablas

Tabla 1.	Volumen (ton) de producción total y sistemas controlados.	15
Tabla 2.	% alimentación recomendada para tilapias en estanques.	27
Tabla 3.	Datos postcosecha de los parámetros productivos de <i>Oreochromis niloticus</i> en cultivo semiintensivo en estanque de concreto. GDP: ganancia diaria de peso; TCE: tasa de crecimiento específico; FCA: factor de conversión alimenticia; FC k (%): factor de condición.	30
Tabla 4.	Parámetros físico-químicos registrados mensualmente durante el periodo de estudio y el de Gómez et al. (2015) en Iztapalapa, Ciudad de México. d.e.= desviación estándar, Mín= valor mínimo, Máx= valor máximo.	43
Tabla 5.	Concentraciones de nutrientes obtenidas durante el periodo de estudio. d.e.= desviación estándar, Mín= valor mínimo, Máx= valor máximo.	44
Tabla 6.	Valores promedios de la productividad primaria expresados como mg C L ⁻¹ día ⁻¹ para el cultivo semiintensivo de tilapia en estanque de concreto.	47
Tabla 7.	Correlaciones de Pearson significativas	50
Tabla 8.	Comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio con cultivos semiintensivos (con suministro de alimento balanceado) de <i>O. niloticus</i> por diferentes autores	53

Resumen

En este estudio se evaluó el crecimiento y desempeño productivo de *Oreochromis niloticus* var. Stirling monosexado (machos) en un cultivo semiintensivo con fertilización orgánica bajo las condiciones de un clima templado. La dieta estuvo basada en alimento balanceado comercial API TILAPIA (35% y 30% de proteína) y natural mediante la fertilización con lombricomposta y borregasa; a razón de 0.50 kg m⁻², con una aplicación previa al sembrado de los peces y una posterior antes de la fase de engorda. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Amozoc, Puebla, México dentro de los terrenos de la Asociación Civil “Mateo Quinto” en un estanque rectangular de 99 m² de superficie y profundidad media de 0.84 m. La densidad de siembra fue 3 crías m⁻², en total se sembraron 300 crías (con peso y longitud promedio de 1.2 g y 3.9 cm respectivamente), el periodo de cultivo se realizó de marzo del 2015 a enero del 2016 y comprendió un total de 298 días. El abastecimiento del agua para el estanque consistió en el bombeo de agua de pozo y agua de lluvia por medio de un sistema de captación aledaño al estanque. Se realizaron dos cosechas parciales en los meses de noviembre a enero y se registró un total de 285 organismos, con una mortalidad menor al 5%. Se obtuvo un peso y longitud total promedio final de 232 g y 23.08 cm, el factor de conversión alimenticia para Api Tilapia 2 fue 2.7 y para Api Tilapia 3 fue 1.38, la ganancia diaria de peso promedio fue 0.85 g y la tasa de crecimiento específico de 1.79 % día⁻¹. El crecimiento fue de tipo alométrico negativo con una tendencia a la isometría $b=2.963$ ($p>0.05$), el factor de condición promedio de Fulton (FCF) de 1.86 % y el factor condición relativa fue de 1.01, con una cosecha total de 58.14 Kg. La producción fue aprovechada de forma íntegra entre los beneficiarios de la asociación civil, alcanzando a comercializar parte del producto del cultivo a personas con bajos recursos económicos. Con las dos cosechas parciales se obtuvo un crecimiento adecuado y una producción aceptable de tilapia 0.581 kg m⁻² equivalente a un rendimiento de 5.81 ton ha⁻¹ por lo que el cultivo de tilapia en la A.C. “Mateo Quinto” tiene gran potencial productivo especialmente si se aprovecha la época más cálida del año, si se tiene en cuenta que las condiciones de la zona corresponden a un clima templado.

1. Introducción

La tilapia es un pez teleósteo, del orden Perciforme perteneciente a la familia Cichlidae. Originario de África, habita la mayor parte de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son propicias para su crecimiento y reproducción. Es un pez de rápido crecimiento, se puede cultivar en estanques y en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales hostiles, tolera concentraciones bajas de oxígeno, es capaz de utilizar la productividad primaria de los estanques y puede ser manipulado genéticamente (Hernández, 2010).

Esta especie es capaz de sobrevivir a concentraciones bajas de oxígeno disuelto (1 mg L^{-1}), pero le provoca estrés, siendo la principal causa de origen de infecciones patológicas. Para mantener un cultivo exitoso de tilapia, los valores de las concentraciones de oxígeno disuelto deben permanecer sobre los 4 mgL^{-1} (Yang, 2013).

El oxígeno es un gas primordial para la biota acuática. Su equilibrio en las capas superficiales se debe al intercambio con la atmósfera y su difusión. En tanto que el contenido se debe principalmente al aporte que realizan los organismos fotosintéticos. Es una de las determinaciones más importantes en un cuerpo acuático, ya que este gas interviene en diferentes funciones como la respiración de los organismos y en muchas reacciones de óxido-reducción (Aroecena y Conde, 1999; Wetzel, 2001).

Con base en la distribución del oxígeno disuelto (OD) en la columna de agua, puede dividirse en zona trofогénica (mayor producción de OD y menor consumo) y trofолítica (mayor consumo y menor producción) (Wetzel, 2001).

La solubilidad del OD depende de tres factores que son: la temperatura, la presión atmosférica y el contenido de sales disueltas, presentando variaciones estacionales resultado de las condiciones ambientales y biológicas (Wetzel, 2001).

Los peces son animales ectotérmicos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura). El intervalo óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias oscila entre 20 y 30 °C (Hernández, 2010). A temperaturas menores de 15°C las tilapias no crecen y los límites superiores de tolerancia oscilan entre 37 y 42 °C. Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, p. e., mientras mayor sea la temperatura, incrementará la tasa metabólica y, por ende, el consumo de oxígeno. El efecto negativo que puede causar las grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche sobre el crecimiento del pez cultivado puede subsanarse con el suministro de alimentos con un alto porcentaje de proteína (sobre el 30%) (Hernández, 2010).

En cuanto al pH el intervalo óptimo para la tilapia se encuentra entre 6.5 y 9.0. Valores fuera de este intervalo causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardan el crecimiento y la reproducción. Valores de pH cercanos a 5 producen mortalidad por fallas respiratorias en un período de 3 a 5 horas; además, causan pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de células mucosas de la piel. Cuando se presentan niveles de pH ácidos, el ion Fe^{+2} se vuelve soluble afectando las células epiteliales de los arcos branquiales. Un exceso de muco interfiere en el intercambio gaseoso e iónico, que se realiza a través de las branquias. De esta forma, un desequilibrio de balance ácido-básico sanguíneo resulta en estrés respiratorio y disminución de la concentración de cloruro de sodio sanguíneo, factor que provoca un serio disturbio osmótico (Talavera *et al* 1998). por ende, disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia (se asfixian por falta de oxígeno) (Hernández, 2010).

El pH en el agua fluctúa en un ciclo diurno, principalmente influenciada por la concentración de CO_2 , por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua. La dureza recomendada deber ser alta (50-350 ppm de $CaCO_3$)

para proporcionar una segregación adecuada del mucus en la piel (Hernández, 2010).

En cuanto al amonio es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia orgánica (degradación de la materia vegetal y de las proteínas del alimento no consumido). El amonio no ionizado (forma gaseosa) y primer producto de excreción de los peces, es un elemento tóxico (Hernández, 2010).

La toxicidad del amonio (NH_4) aumenta cuando la concentración de OD es baja, el pH indica valores altos (alcalino) y la temperatura es alta. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio no causa mortalidades. Los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 mg L^{-1} a 0.1 mg L^{-1} (valores cercanos a 2 mg L^{-1} son críticos). El amonio es tóxico y se hace más tóxico cuando el pH y la temperatura del agua están elevados. Los niveles de tolerancia para la tilapia no deben superar los 2.0 mg L^{-1} . La concentración alta de amonio en el agua causa bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, afecta el balance de sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a las enfermedades, reducción del crecimiento y sobrevivencia, exoftalmia (ojos brotados) y ascitis (acumulación de líquidos en el abdomen) (Hernández, 2010).

Los nitritos son un parámetro que tiene una gran importancia por su gran toxicidad y por ser un poderoso agente contaminante. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de temperatura, cloruros y concentración de oxígeno en el agua. Es necesario mantener la concentración menor a 0.1 mg L^{-1} , haciendo recambios de agua, limitando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio.

Los fosfatos son el producto de los desechos orgánicos de los peces y de la sobrealimentación con alimentos balanceados. Altas concentraciones causan aumento en la población de fitoplancton; y éstas a su vez, provocan bajas de

oxígeno por la noche. Su valor debe oscilar entre 0.6 y 1.5 mg L⁻¹ como PO₄³⁻. Su toxicidad aumenta a valores de pH ácido (Hernández, 2010).

La variación en los parámetros de alcalinidad y dureza, al igual que el pH, influyen sobre la cantidad de alimento disponible para la tilapia. Se recomienda una alcalinidad superior a 175 mg L⁻¹ de CaCO₃, ya que valores menores afectan las branquias y, con ello, la productividad del estanque (PIC Tilapia, 2012).

El dióxido de carbono es un producto de la actividad biológica y metabólica, su concentración depende de la fotosíntesis. Debe mantenerse en un nivel inferior a 20 mg L⁻¹, porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia (Cantor, 2007).

Fitoplancton

El término fitoplancton proviene del griego φυτόν (phyton - planta) y πλαγκτός (planktos - errante). Es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos (Reynolds, 1984).

El fitoplancton juega un papel muy importante como base de las redes tróficas y como indicadores de la calidad del agua. De acuerdo con Reynolds (1996) el tamaño de los organismos que componen el fitoplancton es: picoplancton (0.2-2 μm), nanoplancton (2-20 μm), microplancton (20-200 μm) y mesoplancton (200-2000 μm) (Kilham y Hecky, 1988).

Dentro de estos ambientes, los estanques piscícolas que presentan una alta abundancia se caracterizan como sistemas eutróficos y de elevada productividad primaria, y que favorecen el crecimiento de peces presentes en un cultivo. En estanques fertilizados, el incremento fitoplanctónico es provocado por su intensidad y tipo, ya que su productividad se incrementa con un manejo

cuidadoso, con una continua y controlada adición de fertilizantes inorgánicos químicos y abonos orgánicos para la producción de organismos autótrofos (Quiroz-Castelán *et al.*, 1999).

Así mismo, se considera que la comunidad de la fitocenosis no cambia y sólo se presentan variaciones en la abundancia que dependen de la naturaleza del tipo de fertilizante aplicado, ya que las bases químicas y biológicas de las vías que incluyen el abastecimiento y ciclo del C, N y P en estanques son fundamentales, para un mejor entendimiento de los ciclos de nutrimentos y el efecto de los fertilizantes (Quiroz-Castelán *et al.*, 1999).

Por otro lado, se han realizado diversos trabajos de investigación respecto al desarrollo del fitoplancton, donde se han descrito algunos efectos de diferentes tipos de fertilizantes en estanques en cuanto a su composición, crecimiento, relaciones entre grupos y su dinámica en variaciones diarias y mensuales, indicando que estas dependen de diversos factores, como la depredación, la incidencia de luz y el tipo de nutrimentos (Quiroz-Castelán *et al.*, 1999).

Zooplancton

Las comunidades planctónicas de sistemas acuáticos están constituidas por organismos con periodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Ello ha permitido la formulación, a partir de hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y/o físicas, de modelos sobre la estructura de comunidades más fácilmente que en los sistemas terrestres. Además, el zooplancton de agua dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que permite responder rápidamente a ambientes cambiantes. Otra de sus características es su capacidad para producir abundantes huevos de resistencia que mantienen su viabilidad durante décadas o siglos (Hairston, 1996).

Oreochromis niloticus, es una especie omnívora de alimentación de plancton nativa de África (Fattah *et al.*, 2015). La ingestión de cladóceros por la tilapia

aumenta en proporción con la concentración de este grupo de zooplancton (Elhigzy *et al.*, 1995) y la biomasa de tilapia aumenta proporcionalmente al aumento de la fertilización orgánica en los estanques de cultivo (Diana *et al.*, 1991). La ingestión de plancton es más frecuente en la tilapia juvenil que en los adultos (Fattah *et al.*, 2015). La tilapia también influye en la cascada trófica de las comunidades de fitoplancton y contribuye a la eutrofización por efectos ecológicos de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, seleccionando grandes algas por filtración (cianobacterias y diatomeas), lo que conduce a una proliferación de clorofitas (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

2. Antecedentes

La acuicultura en el mundo

La acuicultura se ha transformado en una considerable industria distribuidora de alimentos de alto valor nutricional y generadora de empleo e ingresos. Esta actividad es realizada por grandes empresas a niveles industriales con tecnologías sofisticadas, por acuicultores de micro y pequeña empresa a niveles semi-intensivos, con tecnologías medias y por diversas comunidades pesqueras, campesinas y nativas a niveles de subsistencia. La acuicultura se desarrolla con diversas especies de peces, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas (algas). Se emplean diversos tipos de sistemas desde los sencillos y de bajo costo, hasta sistemas modernos como industrias con sistemas de recirculación, de fotoperiodo y jaulas flotantes industriales, con un fuerte componente de innovación y tecnología para la producción de semilla, el proceso de crecimiento y engorda, prevención y tratamiento de enfermedades, trazabilidad y buenas prácticas acuícolas (Ramírez, 2011).

Una de las especies de mayor relevancia en la acuicultura, a nivel mundial, es la tilapia, pez considerado como la tercera especie cultivada más importante, solo después de la carpa y el salmón (Rodríguez y García, 2012).

La acuicultura en México

Esta actividad se ha desarrollado desde hace varias décadas. El gobierno de México promovió la acuicultura a partir de la formación de centros acuícolas en diversos estados de la República, con el fin de cultivar diversas especies y sembrar las crías en presas, cuerpos de agua temporales y lagos. Actualmente, en numerosas presas del país, se obtienen importantes pesquerías de especies tales como la tilapia, carpas, lobina, mojarra de agallas azules y bagre, entre otras. Esto implica una fuente de trabajo a numerosos pescadores y de alimentación, a centros de población que no tenían acceso a productos altos en proteína derivados de la pesca (Martínez *et al.*, 1992).

Mayoritariamente en el país se cultiva camarón, tilapia, trucha, bagre y carpa, así como otras especies dentro de dos modalidades: la acuicultura comercial y la acuicultura de fomento (Ruiz, 2013).

La acuicultura comercial es aquella que tiene por misión producir alimentos a cambio de un beneficio económico. Dentro de este rubro se encuentra el cultivo de especies como: atún de aleta azul, trucha arcoíris, tilapia, bagre, carpa, camarón blanco del Pacífico, langosta de agua dulce y peces de ornato de agua dulce (Ruiz, 2013).

Por otra parte, en la acuicultura de fomento se realizan investigaciones sobre especies acuáticas incorporando tecnologías útiles para su aprovechamiento. En el 2013 se reportaron 3,012 granjas repartidas en el territorio nacional, las cuales producen camarón, con un promedio de 130,201 ton. Le sigue la tilapia, con 71,018 ton; la carpa, con 24,157 ton; la trucha, con 4,917 ton; el bagre, con 3,041 ton, y otras que en su conjunto suman más de 50,291 ton. De estos productos, 29 de cada 100 kg de producción provienen del estado de Sonora. Veracruz es el segundo productor, con 21.4% y Sinaloa el tercero, con 16.2% (Ruiz, 2013). En tanto en Puebla, en 2010, cerca de 600 productores aportaron 5,400 ton a la

producción nacional. En los últimos años la acuicultura ha tenido un repunte importante a nivel nacional (Ruiz, 2013).

En México, hacia el 2012, se reportó un consumo per cápita de 10.5 kg de peces al año, lo que muestra un incremento desde el 2002, donde se registró un consumo de 8.3 kg. Eso muestra que la acuicultura en México es una empresa rentable. De 2014 a la fecha se han apoyado 95 proyectos, lo que muestra el proceso de fortalecimiento que ha venido registrando la acuicultura en México, lo que ha significado un incremento de 1,963 hectáreas de producción, principalmente para las especies de camarón, tilapia, bagre, trucha y ostión (SAGARPA, 2016).

Existe un gran potencial para la acuicultura en México, ya que se cuenta con los recursos necesarios, además de que hay una gran oportunidad de mercado. Solo se explotan 12 de las 600 especies que se cultivan en el mundo y en cuestión alimentaria para nutrir a la población del 2050, será necesario aumentar la producción de alimentos en un 60%; por ello, es que esta actividad económica es una buena opción de negocio y desarrollo profesional (Ruiz, 2013).

Producción de tilapia en el mundo

El incremento permanente de la producción mundial de tilapia, a partir de la década de los ochenta, evidencia la importancia que ha tomado este grupo. Se conocen por lo menos 60 especies diferentes de tilapia, diez de las cuales son utilizadas para el consumo humano (SAGARPA, 2003).

Aunque la mayor producción de tilapia está representada en países como China continental y Taiwán y en regiones de Asia del Sudeste y África, un porcentaje muy alto de su producción es consumido en el interior de estos países. En 2009, China estimó la producción en 1'150,000 ton. Una situación diferente se presenta en América del Sur y América Central, donde existe un creciente interés por la exportación, principalmente a mercados como EUA y Canadá, donde el nivel de

exportación pasó de 10,000 ton a 80,900 en 2005 (SAGARPA, 2012).

La Tilapia en México

El cultivo de la tilapia se inició en México en 1964, con la importación de los primeros ejemplares procedentes de la Universidad de Alabama, EE.UU. confinándose al centro de acuicultura tropical de Temascal, Oaxaca (Morales, 1974). Las especies introducidas identificadas fueron: *Tilapia rendalli* (*Oreochromis rendalli*), *Tilapia mossambicus* (*Oreochromis mossambicus*) y *Tilapia aureus* (*Oreochromis aureus*) (Arredondo, 1983), las cuales fueron distribuidas ampliamente en una gran cantidad de cuerpos de agua naturales y artificiales en las zonas tropical, semitropical y templada del país, instituyendo así las primeras acciones de fomento a su cultivo. Posteriormente en 1978 se importaron de Panamá, Centro América, las crías de *O. niloticus* y en 1981 los primeros organismos de *O. hornorum* y de una línea albina de *O. mossambicus* para la producción de híbridos (Arredondo y Guzmán, 1986); la última introducción fue efectuada en 1985, al donar la Universidad de Sterling, Escocia, 500 ejemplares de *O. niloticus* (línea roja), al país (Ceballos y Velázquez, 1988).

Actualmente, la tilapia se cultiva en 31 estados del país, siendo los mejores sitios para su desarrollo las zonas tropicales de los estados de Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Michoacán, Veracruz y Sinaloa. Es conveniente comentar que esta especie se cultiva principalmente en sistemas extensivos de producción, realizados en su generalidad en embalses o presas, y consiste en la introducción de crías que se alimentan de la productividad natural de estos cuerpos de agua. A esta actividad se la ha denominado “Acuicultura de Repoblación” y de acuerdo con los criterios establecidos por la FAO, esta actividad corresponde a una “Pesquería Derivada de la Acuicultura”, más que a una actividad acuícola, ya que la participación del hombre se limita a la siembra de las crías y producción controlada de juveniles (INAPESCA, 2003).

Tabla 1. Volumen (ton) de producción total y sistemas controlados de tilapias (Tomado de Anuarios Estadísticos de Acuicultura y Pesca, CONAPESCA, 2012).

Año	Acuicultura	Pesquería
2003	61,516	5,664
2004	67,839	6,080
2005	67,993	6,191
2006	69,214	5,032
2007	73,580	11,492
2008	71,018	3,856
2009	73,373	3,636
2010	76,986	4,264
2011	71,135	4,792
2012	72,779	4,768

Cultivo Semi-intensivo o Convencional

En los sistemas semi-intensivos, se ha realizado una modificación significativa sobre el ambiente, se tiene control completo sobre el agua, las especies cultivadas y las especies que se cosechan. Se utilizan fertilizantes para lograr una máxima producción; también puede usarse un alimento suplementario no completo, para complementar la productividad natural sin necesidad de utilizar aireación mecánica.

Este es el nivel más común de manejo para productores pequeños y medianos que no tienen recursos económicos para grandes inversiones y que cuentan con capital limitado y/o donde alimentos de buena calidad no son disponibles. Generalmente es un estanque de tierra que se puede llenar y drenar al gusto del productor; los insumos incluyen fertilizantes orgánicos e inorgánicos, alimentos suplementarios, sub-productos agrícolas (afrecho de trigo, semolina de arroz), maíz y/o algún alimento fabricado localmente (Saavedra-Martínez, 2006).

Cultivo monosexados

La producción comercial de tilapia generalmente requiere del uso de poblaciones macho mono-sexo. Los peces machos tienen un crecimiento mayor que las

hembras, debido a que estos utilizan la energía extraída del alimento en su crecimiento somático, mientras que las hembras la utilizan en la producción de gametos para desove (Chakraborty y Banerjee, 2010). Por lo tanto, en las poblaciones mixtas se genera una gran disparidad en las tallas de los peces cosechados, afectando su comercialización. Además, la presencia de tilapias hembras genera una reproducción descontrolada, el excesivo reclutamiento de alevines, competencia por el alimento y enanismo de la población original impidiendo que se alcancen las tallas comerciales. En las poblaciones mixtas, el peso de los reclutas puede constituir hasta el 70 por ciento del peso total de la cosecha (FAO, 2017).

Zooplankton

Las comunidades planctónicas de sistemas acuáticos están constituidas por organismos con periodos de vida cortos y muchos de ellos son fácilmente manipulables. Ello ha permitido la formulación, a partir de hipótesis experimentales basadas en interacciones biológicas y/o físicas, de modelos sobre la estructura de comunidades más fácilmente que en los sistemas terrestres. Además, el zooplankton de agua dulce está compuesto por animales con altas tasas de crecimiento, un rasgo que permite responder rápidamente a ambientes cambiantes. Otra de sus características es su capacidad para producir abundantes huevos de resistencia que mantienen su viabilidad durante décadas o siglos (Hairston, 1996).

Oreochromis niloticus, es una especie omnívora de alimentación de plancton nativa de África (Fattah *et al.*, 2015). La ingestión de cladóceras por la tilapia aumenta en proporción con la concentración de este grupo de zooplankton (Elhigzy *et al.*, 1995) y la biomasa de tilapia aumenta proporcionalmente al aumento de la fertilización orgánica en los estanques de cultivo (Diana *et al.*, 1991). La ingestión de plancton es más frecuente en la tilapia juvenil que en los adultos (Fattah *et al.*, 2015). La tilapia también influye en la cascada trófica de las comunidades de fitoplancton y contribuye a la eutrofización por efectos ecológicos

de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, seleccionando grandes algas por filtración (cianobacterias y diatomeas), lo que conduce a una proliferación de clorofitas (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

3. Planteamiento del problema

Es una realidad la situación alimentaria de los mexicanos que viven en condiciones de pobreza y pobreza extrema. Resolver la problemática del acceso a la alimentación representa un reto para la política social, ya que se encuentra estrechamente relacionada a la condición de pobreza y a los bajos niveles de desarrollo. Asimismo, el acceso a la alimentación se establece como un derecho de toda la población, lo cual está refrendado en tres instrumentos jurídicos fundamentales para el país: la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley General de Desarrollo Social y la Ley General de Salud. Adicionalmente, México se ha incorporado a acuerdos internacionales en materia alimentaria, como el caso de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”, que refrenda el compromiso de disminuir los niveles de personas y hogares con problemas nutricionales o con poco acceso a la alimentación. Este problema se acentúa para las personas con discapacidad y pocos recursos económicos, como es el caso de quienes se encuentran en la Asociación Mateo Quinto.

Buscando una alternativa alimentaria, se planteó el cultivo de tilapia. Existe una tendencia global hacia la intensificación de los sistemas acuícolas, sin embargo, una gran parte de la producción es obtenida de acuicultura de *tipo rural* de pequeña escala y en sistemas extensivos. El término *acuicultura rural* ha sido usado para distinguir de otros sistemas de producción, el cultivo de organismos acuáticos por parte de grupos familiares, mediante sistemas de cría extensivos o semi-intensivos para el autoconsumo o la comercialización parcial (Vega-Villasante *et al.*, 2010). Estudios llevados a cabo en diversas regiones de México han sugerido que la acuicultura rural de tilapia puede ser una alternativa de producción capaz de atenuar la demanda y disminuir la presión sobre los recursos naturales.

El presente trabajo analiza el cultivo de tilapia considerando el mínimo manejo posible, con baja densidad de siembra y sin recambio de agua, con la intención de sugerir técnicas sencillas de producción que puedan desarrollarse en áreas marginadas rurales y periurbanas de zonas tropicales de México. Los resultados del presente trabajo serán comparados con otros cultivos de tilapias con condiciones similares.

4. Justificación del trabajo

La tilapia *Oreochromis niloticus* var. Stirling es una especie demandada para consumo. Es una fuente rica de proteínas, ya que 100 g de carne aportan 20 g de proteínas y tan solo 1.7 g de grasa (EUFIC, 2003). Según la FAO el cultivo a nivel de subsistencia permite satisfacer los requerimientos locales de ingesta de proteínas.

Hay estudios que demuestran que el cultivo de tilapia se puede realizar sin requerir una gran inversión económica. Con base en estos estudios, la presente investigación pretende desarrollar un cultivo semi-intensivomonosexado (machos) para asegurar un mayor crecimiento en un menor tiempo, alimentados con residuos orgánicos y pellet, dentro de un sistema ecológico-productivo tendiente a la sustentabilidad. Esta producción de peces se empleará para su autoconsumo, en la Asociación Civil Mateo Quinto, que apoya a personas con discapacidad en estado de abandono y orfandad, o su comercialización a personas de bajos recursos económicos, lo que favorecerá la ingesta de organismos con alta calidad proteica.

5. Hipótesis

Si el cultivo de machos de tilapia monosexada supera el peso comercial de 250 g en un período de 6-8 meses en un clima cálido entonces se espera obtener un crecimiento similar en un período entre 8-10 meses bajo condiciones de un clima templado.

6. Objetivo general

Evaluar el crecimiento, condición y rendimiento del cultivo de tilapia *O. niloticus* var. Stirling, especie monosexada (machos), bajo condiciones de manejo semi-intensivas.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el crecimiento mensual en longitud y peso de los peces en cultivo.
- ✓ Estimar la relación peso-longitud y la tasa de crecimiento instantánea.
- ✓ Determinar el grado de robustez de los organismos en cultivo mediante el índice de condición de Fulton y el relativo.
- ✓ Obtener el rendimiento piscícola del cultivo.
- ✓ Estimar la abundancia fitoplanctónica y zooplanctónica como fuente alimentaria de los peces.
- ✓ Evaluar la calidad del agua del sistema a lo largo del período de estudio.

7. Lugar de estudio

El estanque se encuentra localizado en la Asociación Civil Mateo Quinto en Amozoc, Puebla; sus coordenadas geográficas son 19° 02' 50.3" N y 98° 04' 00.6" O a una altitud de 2,316 m s.n.m. El municipio de Amozoc se localiza en la parte central del estado de Puebla. Limita al norte con el municipio de Puebla y Tepaxtlaco de Hidalgo, al sur con Cuautinchán, al oriente con los municipios de Tepaxtlaco y Acajete y al poniente con el municipio de Puebla (CNDM, 1999) (Fig. 1).

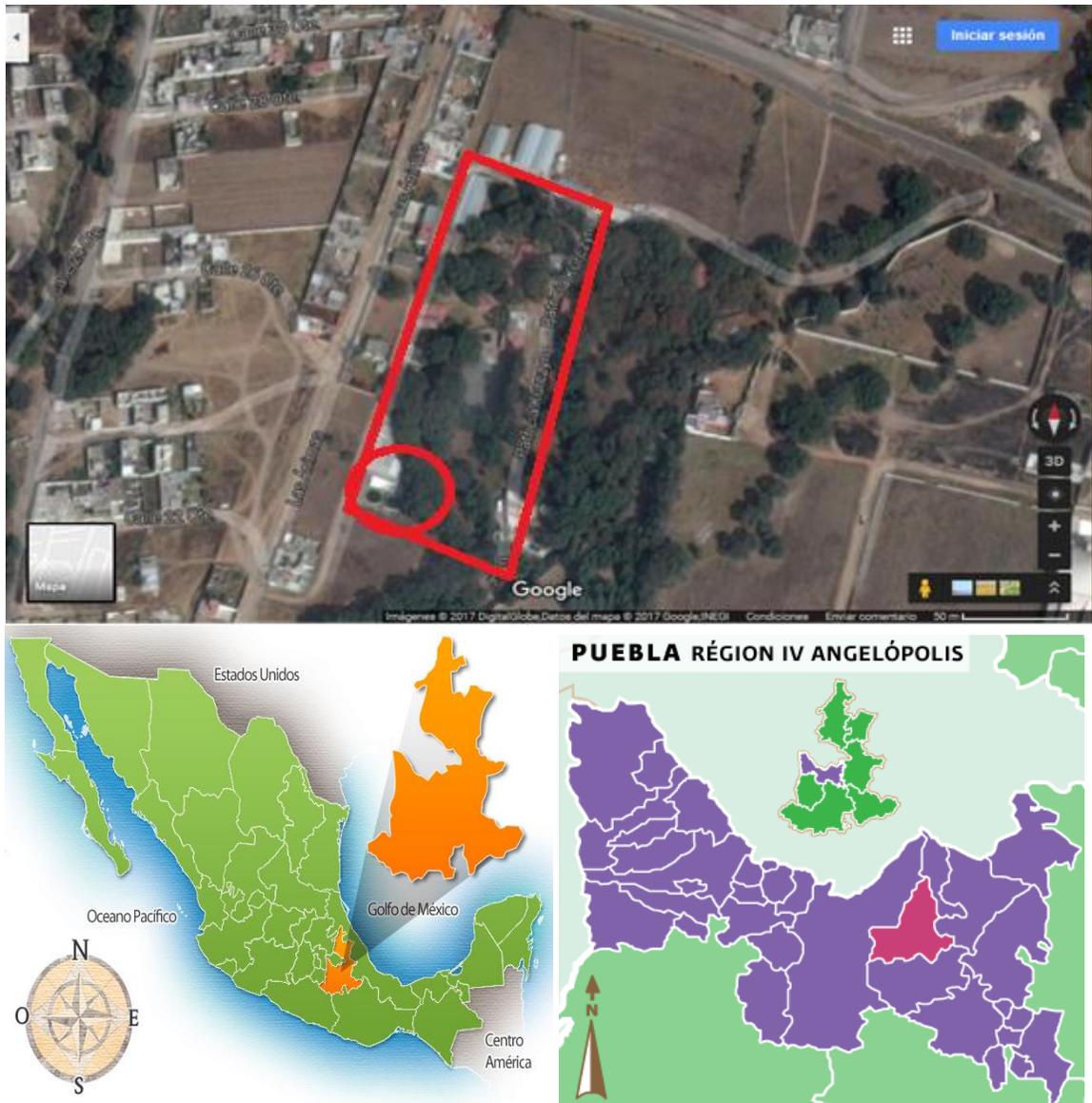


Figura 1. a) Ubicación del Estado de Puebla en la República Mexicana b) Municipio de Amozoc (en rosa), dentro de la región IV en Puebla. c) Ubicación de la Asociación Mateo Quinto (polígono rojo), estanques enmarcado con el círculo (Tomado del Google Map12/05/17).

Clima

EL municipio se localiza dentro de la zona de los climas templados del Valle de Tepeaca; identificándose el clima templado subhúmedo con lluvias en verano y el clima semifrío subhúmedo (García, 1988). En Amozoc de Mota el clima es templado con invierno seco (Cwb, según la fórmula climática de Köppen y Geiger, 1936), con una temperatura media anual de 15.8 °C. En comparación con el

invierno, los veranos son mucho más lluviosos con una precipitación media de 887 mm (climate-data.org).

Vegetación

La mayor parte del municipio presenta zonas dedicadas a la agricultura de temporal. La asociación presenta relictos de bosques de encino con vegetación secundaria arbustiva (INAFED, 2016).

Orografía

En el municipio confluyen tres regiones morfológicas: al norte, las estribaciones inferiores de la Malinche; al centro el Valle de Tepeaca, y al sur la Sierra de Amozoc (INAFED, 2016).

El Valle de Tepeaca se encuentra limitado al norte por las estribaciones meridionales de la Malinche, al sur por la Sierra del Tentzo, al este por los llanos de San Juan y al oeste por el Valle de Puebla; tiene como característica principal su suelo eminentemente calizo y los yacimientos de mármol que le han dado renombre al municipio de Tecali (INAFED, 2016).

La Malinche es un volcán apagado cuya cima tiene forma de cresta dentada con varios picos; tiene una altitud de 4,461 metros sobre el nivel del mar, y sus faldas se extienden sobre una gran altiplanicie a 134 kilómetros a su alrededor.

La Sierra de Amozoc es una pequeña cadena de cerros que presenta una orientación de noroeste a sureste desde el cerro Tepoxúchitl, en las inmediaciones de la Ciudad de Puebla, hasta el cerro de la Cruz, en Tepeaca (INAFED, 2016).

Al extremo norte del municipio, se alza el Pico de Xaltonalli, cono adventicio de la Malinche que se eleva sobre la pendiente meridional de la misma. A partir del Pico Xaltonalli, se presenta un continuo descenso que se va suavizando conforme se avanza hacia el sur, hasta nivelarse el terreno a los 2,300 metros sobre el nivel del

mar, donde se inicia propiamente el Valle de Tepeaca (INAFED, 2016).

Al sur se alza la parte occidental de la Sierra de Amozoc, donde destacan los cerros Cuanecho, Grande, Huacatepec, Tecuancale, Taxcayo Grande, Taxcayito, La Nopalera, Tlaxcayo, Las Cruces, Tlapanhuetzin, Totoltépetl y Tepesila, que alcanzan entre 100 y 200 metros de altura sobre el nivel del Valle (INAFED, 2016).

8. Materiales y métodos

8.1 Trabajo de campo

Se trabajó en un periodo de 298 días en un estanque rectangular de concreto con dimensiones de 17.6 m de largo, 5.5 m de ancho y profundidad promedio de 1 m (Fig. 2). Previamente el estanque se llenó con agua de pozo y lluvia por medio de un sistema de recolección de agua de lluvia en el techo de un almacén adyacente.



Figura 2. Estanque de cultivo en Amozoc, Puebla.

En febrero del 2015 se fertilizó el estanque con 50 kg de lombricomposta. Esta cantidad fue calculada de acuerdo con las dimensiones del estanque y según la revisión de Tacon (1988) de varias fertilizaciones. Un mes después, aproximadamente, se realizó una segunda fertilización con 50 Kg de estiércol de

borrego previamente composteado. La lombricomposta fue elaborada a base de desperdicios de cocina, restos de vegetación y excretas de aves de corral (gallinas y codornices), conejos y borregos.

Una vez que en el estanque se desarrollaron las comunidades fitoplanctónicas, lo que fue visible por el cambio de coloración del agua, se sembraron 300 tilapias *Oreochromis niloticus* var. Stirling, previamente monosexadas de alrededor de un mes de edad, con peso promedio de 1.2 g y 3.8 cm de longitud total, el 19 de marzo del 2015 obtenidas de una unidad privada de producción de crías ubicada en Zacatepec, Morelos.

La densidad en el estanque de cultivo fue de aproximadamente 3 crías m⁻³. La alimentación estuvo basada en alimento comercial balanceado para peces marca API TILAPIA en forma de pellets extruidos flotantes 1/8". API TILAPIA 2 con 35 % de proteína y 3 % de grasa para la fase de iniciación y API TILAPIA 3 CON 30 % de proteína y 3 % de grasa para la fase de engorda y alimento natural (plancton) cuya abundancia fue mejorada por medio de las fertilizaciones. La cantidad de alimento pelletizado suministrado en el estanque en los primeros meses fue de 230 g día⁻¹, repartidos en dos raciones una añadida en la mañana y otra por la tarde, eventualmente en la fase de engorda se duplicó esta cantidad (460 g) y se aplicó de igual manera según las recomendaciones de la PRONAGR. La cantidad de alimento pelletizado suministrado total fue de 122 kg.

Las muestras de agua se preservaron en botellas de polietileno blancas de 1 L con ayuda de una botella toma-muestra tipo Van Dorn de 2 L, estas muestras se tomaron a una profundidad de 0.50 m, se preservaron en hielo para su transporte y después fueron colocadas en refrigeración (4 °C) para la posterior determinación de parámetros químicos.

8.1.1 Manejo y evaluación de los peces

Las tilapias fueron transportadas en bolsas de plástico saturadas con oxígeno puro, hasta el municipio de Amozoc. Para lograr la aclimatación de los alevines de tilapia, se colocó en la superficie del estanque la bolsa donde fueron transportados, durante aproximadamente 30 minutos y, posteriormente, se les agregó lentamente agua del mismo estanque. De estas crías, se tomó una muestra aproximada del 10% del total de organismos para conocer su peso y su longitud total.

Se realizaron muestreos mensuales durante aproximadamente un año, donde se tomó una muestra aproximada del 10% del total de organismos, la captura de los organismos se llevó a cabo con ayuda de una red de mano y una red tipo chinchorro hecha con maya mosquitera (abertura 15x20), plomos y flotadores, y confeccionada de forma casera. La cosecha fue por drenado parcial del estanque combinado con captura con redes para ello se empleó una malla de 1 mm de abertura, de un tamaño de 6 m x 1.3 m. Los organismos atrapados fueron medidos con un ictiómetro de 30 cm y pesados en una balanza digital marca OHAUS (300 x 0.1 g de capacidad) modelo C305-S y una balanza granataria de ± 0.1 g de precisión y 2620 g de capacidad de pesaje total, hacia el final del cultivo.

8.1.2 Parámetros físico-químicos

En cada muestreo se midieron parámetros físico-químicos, los que se detallan a continuación:

a) Temperatura, pH, conductividad, visibilidad al disco Secchi

La temperatura del agua y la temperatura ambiental se midieron con un termómetro marca Brannan con precisión de 0.01 °C. Los muestreos se realizaron entre las 12:00 y las 16:00 h.

Se registró el pH con un potenciómetro marca HACH, con precisión de ± 0.01 unidades.

Los sólidos disueltos totales y la conductividad se midieron con un conductímetro marca Corning con precisión de $\pm 0.01 \text{ mS cm}^{-1}$ y 0.1 g L^{-1} , respectivamente.

Mediante el disco Secchi se obtuvo la visibilidad del agua del estanque. También se registró el porcentaje de nubosidad, por observación directa.

Para determinar la concentración de nutrimentos del agua se tomaron muestras del agua superficial mediante una botella Van Dorn marca Wildco de 2.5 L de capacidad. Las muestras fueron guardadas en botellas de plástico de 1 L, se preservaron en hielo para su transporte y después fueron colocadas en refrigeración ($4 \text{ }^\circ\text{C}$) para luego ser analizadas en el laboratorio.

b) Alcalinidad y dureza del agua

La alcalinidad se midió por métodos volumétricos utilizando el de indicadores de fenolftaleína y anaranjado de metilo. La dureza del agua se determinó mediante el método de titulación con EDTA (Complejométrico) (Gómez *et al.*, 2014).

c) Productividad primaria

Se utilizó el método de botellas claras y oscuras propuesto por Gardner y Grann (1927) en botellas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). A una profundidad de 0.50 m se incubaron las muestras por duplicado bajo condiciones ambientales por aproximadamente una hora. Al inicio de la toma de muestras de agua se determinó la cantidad de OD, una parte de esa agua fue incubada en una botella clara (donde se genera oxígeno) y una oscura (donde sólo ocurrirá consumo del mismo). Después del tiempo de incubación, se determinó el oxígeno de todas las muestras. La diferencia entre el oxígeno de la botella clara y el oxígeno inicial representará la productividad neta. La diferencia entre el oxígeno inicial y la botella oscura corresponderá a la respiración. La productividad bruta corresponde a la productividad total (oxígeno producido) - oxígeno respirado, es decir, la diferencia entre botellas claras y botellas oscuras.

d) Oxígeno disuelto (OD)

La medición de OD se realizó por el método Winkler modificación de azida (método de Alsterberg) (Gómez *et al.*, 2014) y, posteriormente, se midió con un oxímetro marca HACH con una resolución de 0.01 mg L⁻¹ y un intervalo de 0.01 a 20 mg L⁻¹ (0 a 200% de saturación).

e) Fitoplancton

Para la evaluación del fitoplancton se tomaron muestras en botellas de 250 mL y se fijaron con Lugol (Schwoerbel, 1975; Moreno, 2003).

f) Zooplancton

La muestra se tomó con una red para captura de zooplancton de 160 µm de abertura de malla, esta tenía un diámetro de 33 cm y un largo de 1.26 m, y se hizo recorrer una distancia de arrastre de 3.5 m. La muestra obtenida de 54 mL se guardó en botellas de 500 ml con 15 mL de formol al 4%, la botella fue rellenada con el agua superficial del mismo estanque filtrada hasta que se completaron los 500 mL.

8.2 Trabajo de laboratorio

8.2.1 Nutrientes

Se analizó la concentración de amonio mediante el método de azul indofenol (fenato), los nitritos mediante el método de ácido sulfanílico, nitratos mediante el método de columna de reducción, ortofosfatos mediante el método de cloruro estañoso y de fósforo total, mediante el método fosfomolibdato con digestión (Cervantes, 1984). Posteriormente se utilizó un analizador multiparamétrico modelo HI 9829 marca Hanna para analizar concentraciones altas de amonio, nitratos, nitritos y fosfatos.

8.3 Trabajo de gabinete

La Ración Diaria Alimenticia (RCA) se basó en la tabla 2, que maneja porcentajes de ración para estanques de la PRONAGR.

Tabla 2. Porcentaje (%) de ración de alimento recomendada para tilapias en estanques.

Peso en gramos	%Ración alimento
1-14	10
15-20	6
21-34	5
35-44	4
45-54	3
55-229	2.5
230-330	2
331-380	1.9
381-432	1.8
433-516	1.6

Con los datos mensuales de longitud patrón y peso se calcularon los valores promedio y desviación estándar, graficándolos contra el tiempo. Asimismo, se realizó un análisis exploratorio de datos a lo largo del estudio para establecer si existen diferencias en el crecimiento a través del tiempo.

Se analizó una relación de los logaritmos de la longitud-peso del cultivo mediante regresión lineal, calculando los valores de a y b de la siguiente ecuación (Froese, 2006):

$$\log P = \log a + b \log L \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

P= Peso del individuo en gramos

L= Longitud del organismo en mm o cm

a y b= constantes, estimadas por análisis de regresión lineal

Debido a que la longitud es una magnitud lineal y el peso es igual al cubo de la

talla, si un individuo mantiene su forma al crecer, entonces el crecimiento es isométrico ($b=3$). Cuando $b>3$, los individuos que han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud, presentando crecimiento alométrico positivo. En cambio, cuando $b<3$, los individuos incrementan preferencialmente su longitud relativa más que su peso (Froese, 2006).

Se utilizó la prueba t-student para demostrar si los valores eran significativamente diferentes de 3 y así verificar si había isometría (Gómez-Márquez *et al.* 2016).

El estado de condición por individuo se estimó mediante el Factor de condición de Fulton (K) (Fulton, 1904) dado por la ecuación 2:

$$K = (100 \cdot P) / L^b \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

K= condición de Fulton

P= peso corporal húmedo en gramos obtenido de cada uno de los organismos muestreados

L= longitud en cm obtenida de cada uno de los organismos muestreados

Se utilizó el factor de conversión relativa de Le Cren (1951) (Ecuación 3) que compensa los cambios en la forma o condición con el aumento de la longitud, y por lo tanto mide la desviación de un individuo del peso promedio de la longitud en la muestra respectiva (Froese, 2006):

$$K_n = P/aL^b \quad (\text{Ec.3})$$

K= condición relativa

P= peso corporal húmedo en gramos obtenido de cada uno de los organismos muestreados

L= longitud en cm obtenida de cada uno de los organismos muestreados

a y b= constantes, estimadas por análisis de regresión lineal

Otro de los factores que fue utilizado corresponde al Factor de Conversión Alimenticia (FCA) (Ecuación 4). Esta es la medida más usual para la utilización del alimento. El FCA depende, por supuesto, al igual que el crecimiento de la calidad de la dieta, de las condiciones de manejo, pero, también depende de la ración:

$$\text{FCA} = \text{alimento entregado (g)} / \text{peso ganado (g)} \quad (\text{Ec.4})$$

También se utilizó el Factor de conversión de fertilizante= Fertilizante agregado – (Kg)/peso ganado (Kg).

Estos descriptores son muy importantes ya que aportan información fundamental sobre estrategias de crecimiento y el estado nutricional.

Asimismo, se evaluó la tasa instantánea de crecimiento (Ricker, 1979), la cual se denomina también tasa de crecimiento específica (TCE), de acuerdo con la ecuación 5:

$$\text{TCE (\%/día)} = [(\ln Y_2 - \ln Y_1) / t_2 - t_1] * 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

Y_1 o Y_2 = peso húmedo o longitud total

t_1 , t_2 = Tiempo inicial y tiempo final, $\ln Y_1$ y $\ln Y_2$ son el logaritmo natural del peso o de la longitud total al inicio y al final de la fase de crecimiento.

La Ganancia de Peso Diario (GDP) se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{PG} = (\text{Pf} - \text{Pi}) / t_2 - t_1 \quad (\text{Ec. 6})$$

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

t_1 , t_2 = Tiempo inicial y tiempo final

Los parámetros físico-químicos del estanque y los datos de crecimiento (peso, longitud total, longitud patrón y ancho) de *Oreochromis niloticus* var. Stirling fueron

analizados estadísticamente, se les aplicó la prueba de Levene para comprobar la homocedasticidad, y la prueba de Kolmogórov-Smirnov para verificar la normalidad de los datos, con los datos normalizados se realizó una correlación de Pearson. Este análisis permitió saber cuál de los parámetros tuvo una relación positiva o negativa con el crecimiento de las tilapias. Se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV.II.

La cuantificación de la abundancia del zooplancton se realizó con una muestra de 5 mL en cámaras para conteo de zooplancton, se utilizó un microscopio modelo Primo Star marca Zeiss, contando el número de organismos por campo visual en transectos de arriba hacia abajo en un aumento de 40x. Los resultados se expresaron en org mL⁻¹. La identificación se realizó a nivel de género con ayuda del manual Cladocera y Copepoda de las aguas continentales de México.

La cuantificación del fitoplancton se realizó siguiendo el método de Uthermöhl (Schwoerbel, 1975) empleando cámaras de sedimentación cilíndricas (Wetzel y Likens, 2000) con capacidad de 44.66 mL y 2.6 cm de diámetro. Debido a la alta densidad fitoplanctónica se optó por diluir las muestras por un factor de dilución de 8. Se homogenizó la muestra fijada invirtiendo su posición, se adicionó el volumen de muestra indicado a la cámara, se aforó con agua destilada, después se tapó con un cubre objetos cuadrado y se puso a sedimentar durante 24 h. Los conteos se efectuaron con ayuda de un microscopio invertido OLYMPUS modelo lx70-S1F2, contando en transectos horizontales de arriba hacia abajo en un aumento de 40 X, el número de organismos por campo visual, se siguió el criterio de los 100 organismos de la especie más abundante, revisando al menos 10 campos visuales por muestra. Los resultados se expresaron en número de org. mL⁻¹, la identificación se realizó al nivel de género con ayuda de los manuales para la identificación de algas (Bellinger y Sigeo, 2010).

El rendimiento piscícola se obtuvo como el peso total (Kg) de los organismos cosechados, expresado en unidad de área (m²) y de tiempo (año).

9. Resultados

9.1 Parámetros productivos e índices de desempeño

La Tabla 3 presenta los datos de los parámetros productivos de *Oreochromis niloticus* var. Stirling en cultivo semiintensivo en estanque de concreto. Cabe destacar que a pesar de que el promedio no se superó la talla comercial de 250 g, hubo organismos que alcanzaron los 350 g.

Tabla 3. Datos postcosecha de los parámetros productivos de *Oreochromis niloticus* var. Stirling en cultivo semiintensivo en estanque de concreto. GDP: ganancia diaria de peso; TCE: tasa de crecimiento específico; FCA: factor de conversión alimenticia; FC k (%): factor de condición.

Parámetro/índice productivo	Mín-Máx	Prom.
Peso inicial (g)	1 – 2	1.2
Peso final (g)	133 - 357	232.71
Longitud total inicial (cm)	2.7 - 3.6	3.9
Longitud total final (cm)	20.0 - 29.3	23.08
Longitud patrón inicial (cm)	2.7 - 3.6	3.0
Longitud patrón final (cm)	15.5 - 21.0	18.25
Ancho inicial (cm)	1.5 - 2.7	2.24
Ancho final (cm)	5.5 - 9.5	8.0
Biomasa final (kg m ⁻²)	-	0.581
Alimento total suministrado (kg)	-	122.143
GDP (g día ⁻¹)	0.14 – 2.26	0.86
TIC _P (% día ⁻¹)	0.03 - 4.66	1.78
TIC _L (% día ⁻¹)	0.003 - 1.644	0.62
FCA (Api tilapia 2)	1.3 - 5.3	2.7
FCA (Api tilapia 3)	0.7-1.9	1.4
FCF	2.15	1.86
FCR	0.86-1.17	1.1
Sobrevivencia (%)	-	95

GDP: Ganancia Diaria de Peso; TIC_p: Tasa de Crecimiento Instantáneo en Peso; TIC_L: Tasa Instantánea de Crecimiento en Longitud; FCA: Factor de Conversión Alimenticia; FCR: Factor de Condición Relativa; FCF: Factor de Condición de Fulton.

9.2 Talla de los peces

La longitud total (L_t) promedio de las 300 tilapias al inicio del cultivo fue de 3.9 ± 0.3 cm y diez meses después los peces alcanzaron una talla promedio de 22.3 ± 2.5 cm (Fig. 3). Con respecto al crecimiento en longitud se obtuvo un incremento mensual con diferencias consecutivas durante los primeros ocho meses del cultivo (marzo a noviembre), a partir del cual ya no hubo cambios significativos (noviembre a enero) (Fig.3).

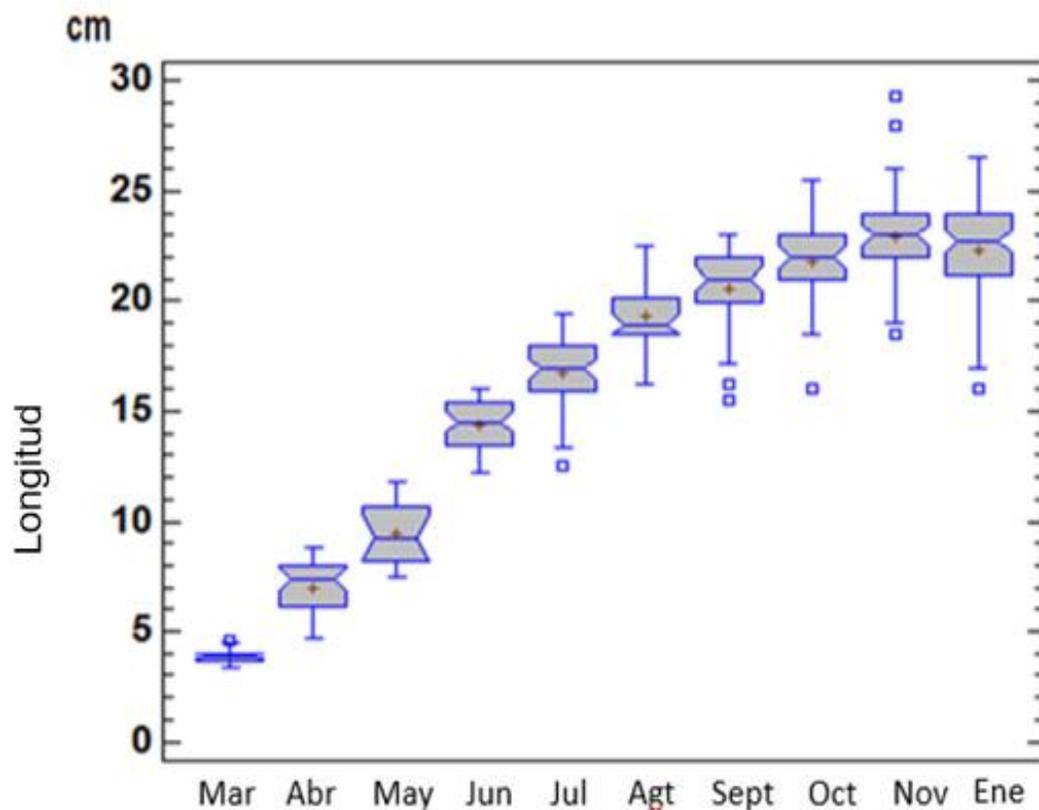


Figura. 3. Longitud total alcanzada por los peces durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.3 Peso de los peces

El peso inicial en promedio de las tilapias fue de 1.2 ± 0.4 g y diez meses (a principios de enero) después los peces alcanzaron un peso promedio de 232.8 ± 50.4 g (Fig. 4) se puede observar que no hubo una diferencia significativa entre los meses de noviembre a enero. La mortalidad obtenida fue menor al 5%.

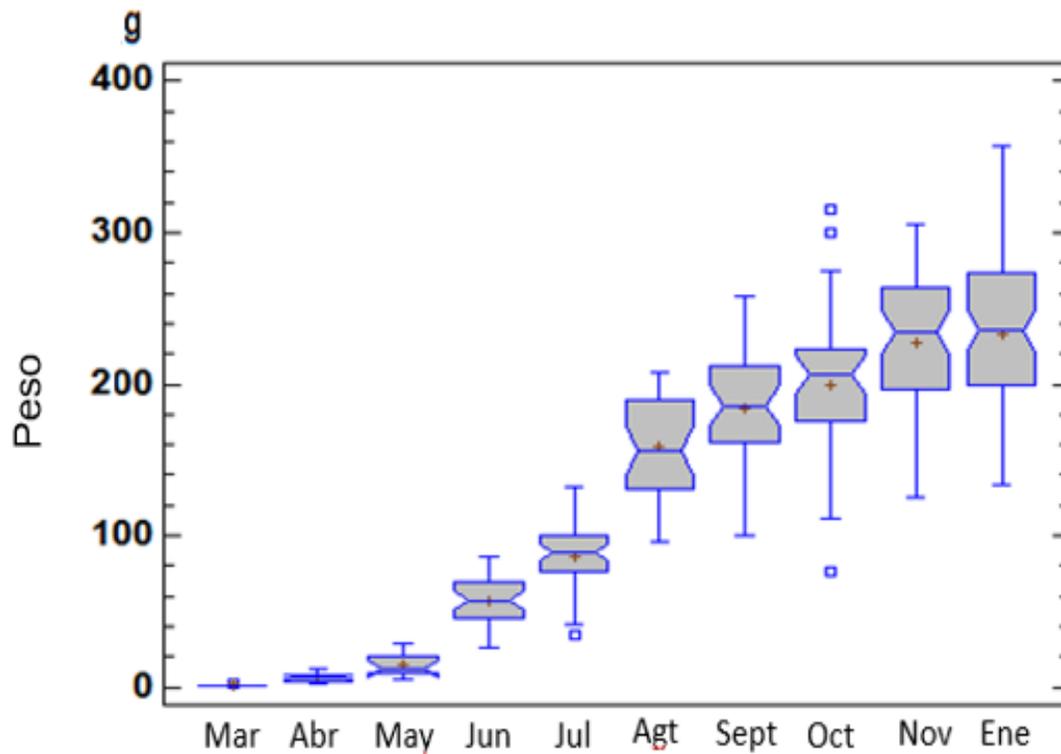


Figura. 4. Peso alcanzado por los peces durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.4 Relación peso-longitud

Se analizó la relación existente entre peso y longitud mediante el modelo potencial. Este mostró un valor de b de 2.963 el cual aparentemente indicaba un crecimiento alométrico negativo, pero mediante la prueba t se determinó que no era significativamente diferente de 3 por lo tanto se considera como isométrico (Fig. 6).

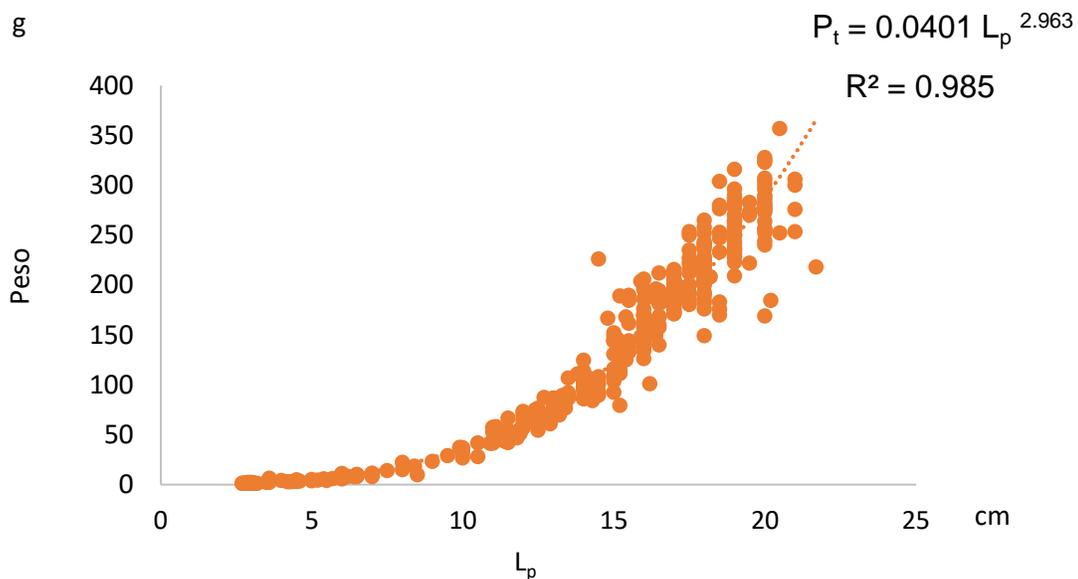


Figura 6. Relación Peso-Longitud patrón obtenida durante el estudio (2015-2016).

9.5 Ganancia Diaria de Peso

La ganancia en peso diario tuvo su valor mayor entre julio y agosto con el pellet Api Tilapia 3 (Etapa de engorda) donde los organismos ganaron 2.26 g dia^{-1} y el valor menor se registró de noviembre a enero (en los meses fríos) en donde los organismos ganaron 0.021 g dia^{-1} . La ganancia en promedio del peso ganado de todos los meses de muestreo fue de 0.85 g dia^{-1} (Fig. 7).

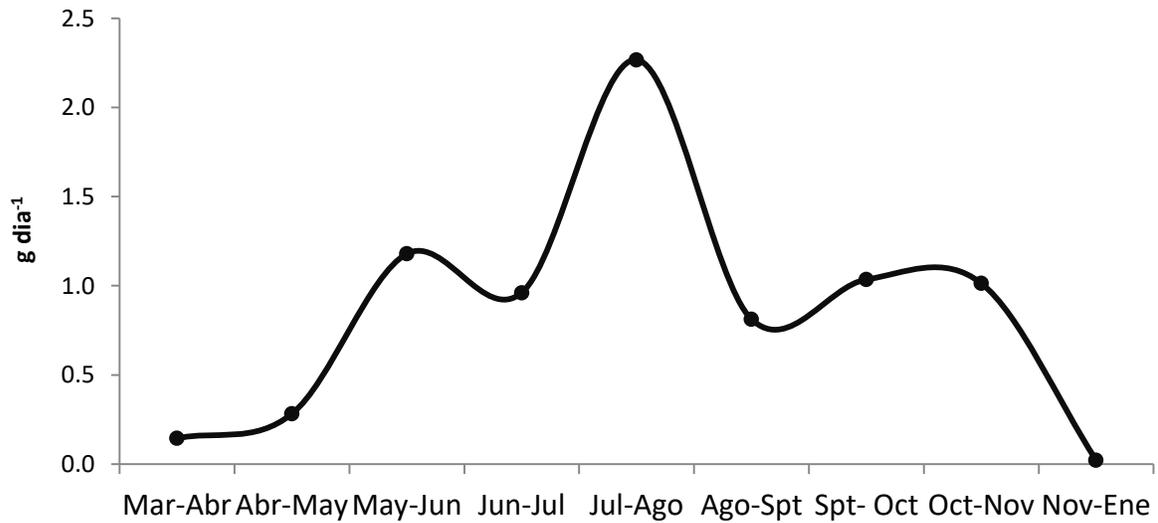


Figura 7. Ganancia diaria de peso durante del periodo de estudio (2015-2016).

9.6 Tasa instantánea de crecimiento

Las tasas instantáneas de crecimiento se presentan en las figuras 8 (longitud) y 9 (peso). Se observó que a medida que transcurría el tiempo, los máximos de los valores de las tasas de crecimiento se dieron entre los meses de marzo y junio. Los mínimos de las tasas de crecimiento se presentaron en Nov-Ene.

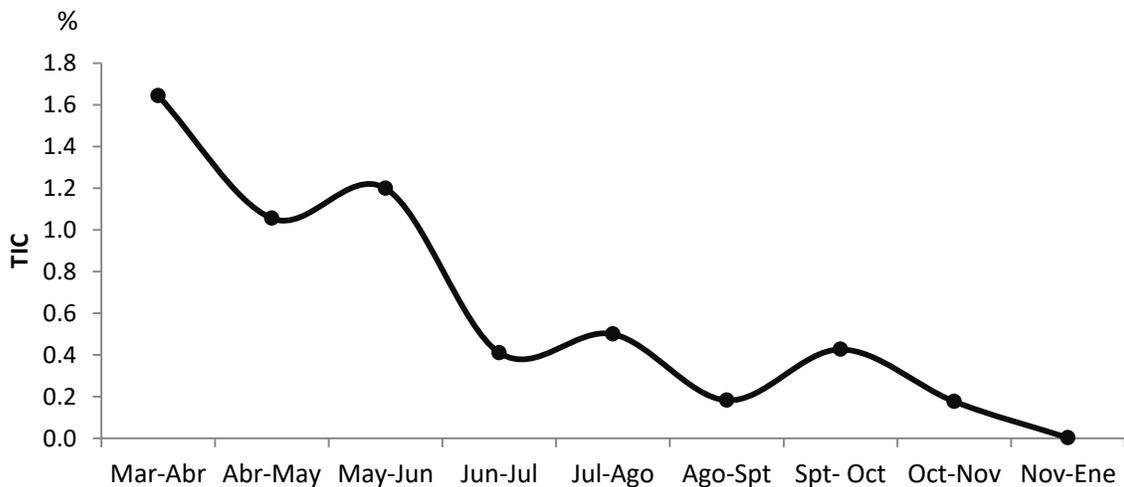


Figura 8. Tasa instantánea de crecimiento en longitud durante el periodo de estudio (2015-2016).

Las tasas instantáneas de crecimiento en peso presentaron sus máximos entre los meses marzo-abril y mayo-junio. Los valores mínimos se registraron a partir de septiembre.

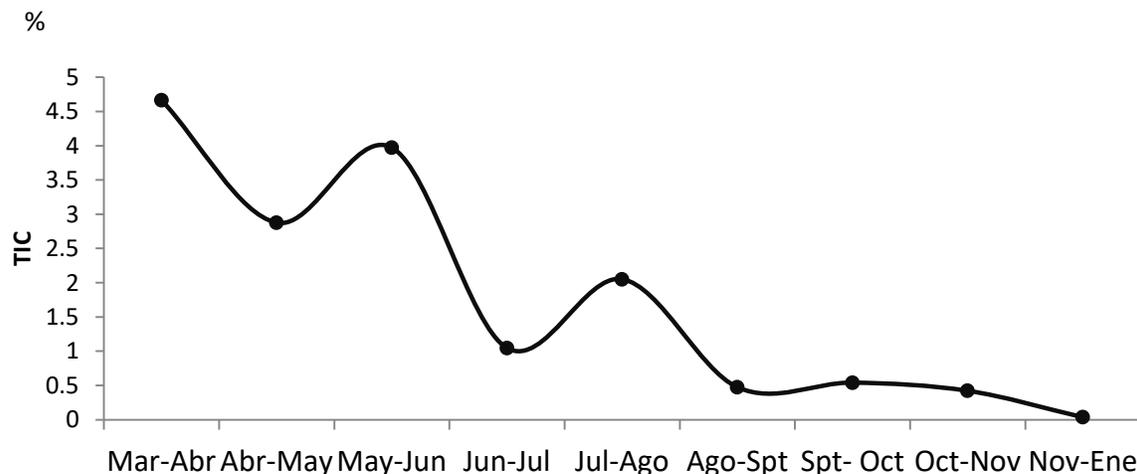


Figura 9. Tasa instantánea de crecimiento en peso durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.7 Índice de condición de Fulton

El índice de condición de Fulton (Fig. 10) mostró que los peces se encontraron en una buena condición, siendo más robustos en el mes de agosto (2.2) y presentaron su menor valor en el mes de mayo (1.6).

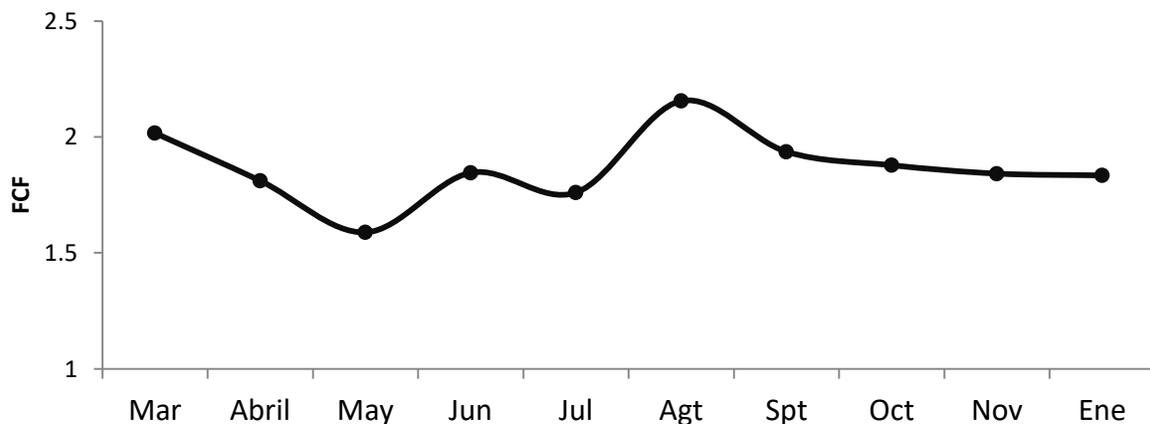


Figura 10. Índice de condición de Fulton durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.8 Índice de condición relativa

Los valores de este factor revelaron la mayor tendencia de condición positiva en el mes de agosto y la menor tendencia de condición en el mes de mayo. El valor promedio del índice de condición relativa (Kn) fue de 1.015 ± 0.08 (Fig.11).

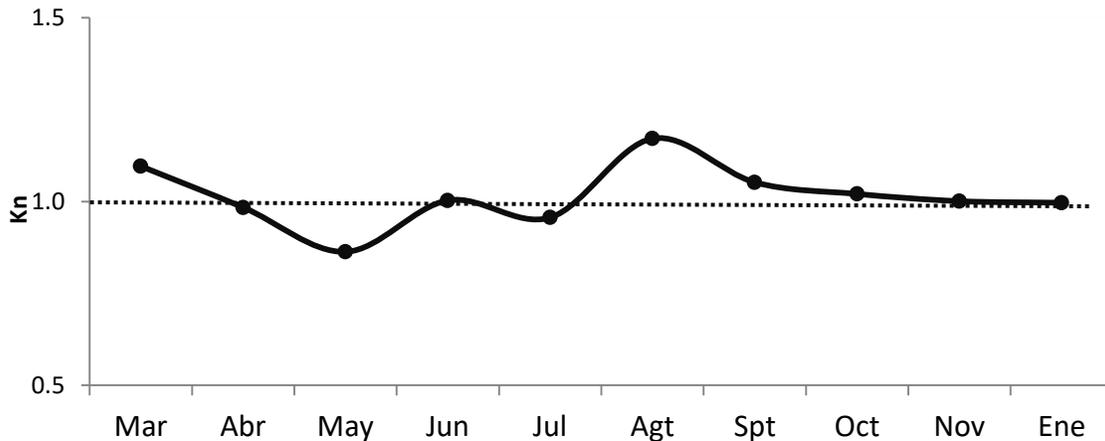


Figura 11. Índice de condición relativa durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.9 Factor de conversión alimenticia

Los valores del factor de conversión alimenticia en promedios del alimento pelletizado de Api tilapia 2 fue de 3.01 (Fig.12) al inicio del cultivo de marzo a junio, y para Api tilapia 3 fue de 1.4 de junio a noviembre (Fig.13)

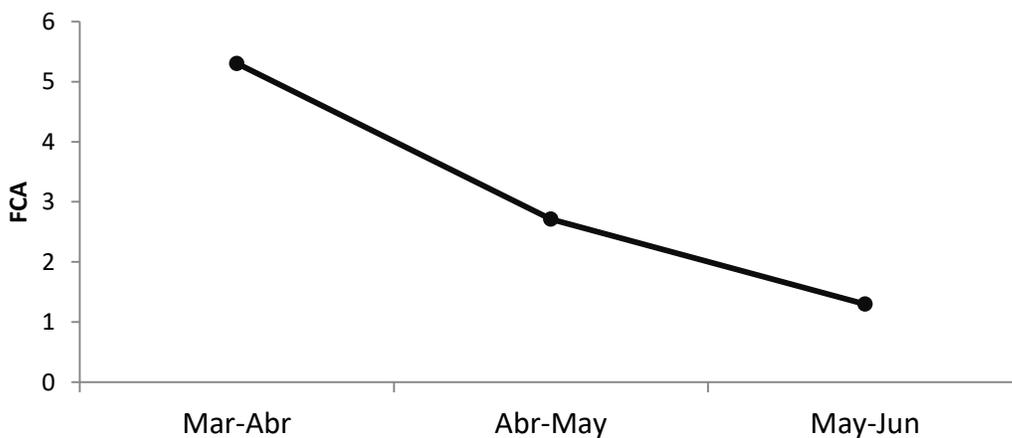


Figura 12. Factor de conversión alimenticia del alimento Api Tilapia 2 de marzo a junio del 2015

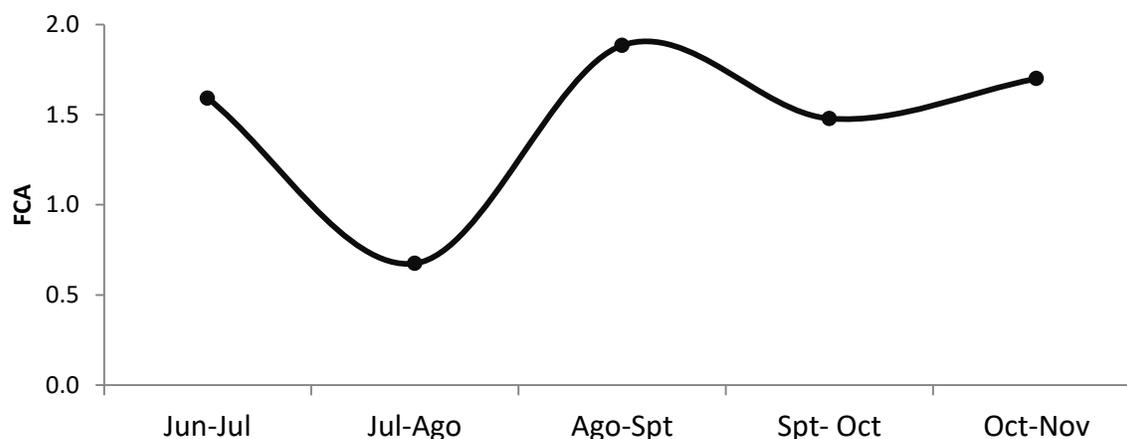


Figura 13. Factor de conversión alimenticia del alimento Api Tilapia 3 de junio a noviembre.

9.10 Factor de conversión del fertilizante

El factor de conversión del fertilizante por lombricomposta de marzo a junio del 2015 presentó un valor de 0.9 y el de la fertilización por borregasa de junio del 2015 a enero del 2016 fue 0.3.

9.11 Ración diaria alimenticia

Durante el periodo de estudio se les dio el siguiente porcentaje de alimento pelletizado (Fig.14). En el primer mes de crecimiento se les dio un exceso del 2% según la Porcentaje (%) de ración de alimento recomendada para tilapias de la FAO (Tabla 2).

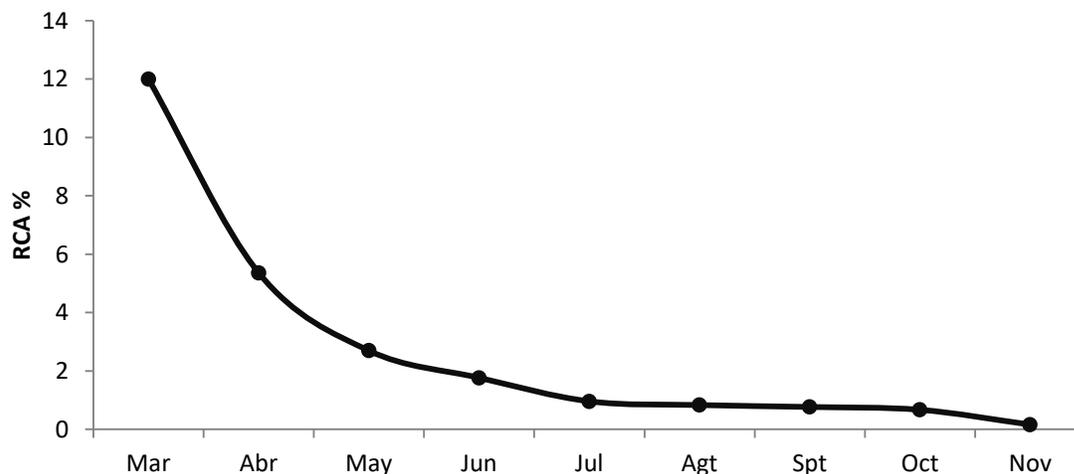


Figura 14. % de la ración diaria alimenticia que se suministró durante el periodo de estudio (2015-2016).

9.11 Cosecha y rendimiento

La cosecha total del cultivo fue de 58.14 kg en 10 meses lo que representa un ingreso promedio de \$2600.00 si todo el producto se hubiera vendido a \$45.00 por Kg. Si se escala el cultivo se podría obtener un rendimiento equivalente a 5.81 ton ha⁻¹ año. Este valor de rendimiento se puede traducir en ganancias de \$261,450 pesos mexicanos en un periodo de un año.

9.12 Calidad del agua

Con el disco de Secchi (Fig. 15) se obtuvo una visibilidad promedio de 40.6 ± 19 cm, siendo la mínima de 18 cm en octubre del 2015 y la máxima de 64.5 cm en el mes de febrero del mismo año. Se pudo observar una tendencia de la disminución de la visibilidad del disco de Secchi hacia el final del estudio

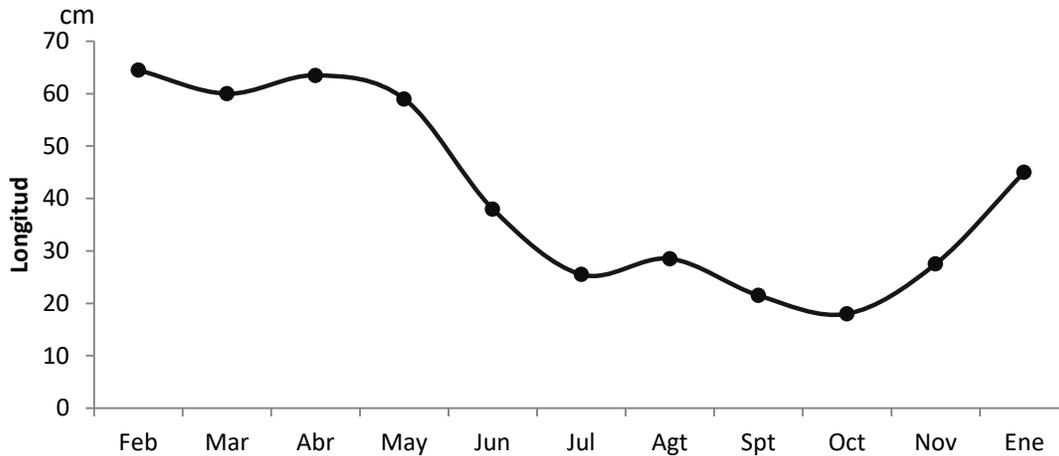


Figura 15. Visibilidad del disco de Secchi durante el periodo de estudio (2015-2016).

En cuanto a la temperatura del agua (Fig. 16), se registró un mínimo de 15.7 °C en enero del 2016 y un máximo de 25.7 °C en abril del 2015, con un promedio general de 22.4 ± 2.4 °C. Por otra parte, la temperatura ambiental registró un mínimo de 14 °C en mayo del 2015 y un máximo de 33 °C en abril del mismo año, con un promedio general de 24.6 ± 5.2 °C. Se puede observar una tendencia en la disminución de la temperatura. El mes de mayo donde la temperatura ambiental es menor que la temperatura se explica por la precipitación que ocurrió durante el muestreo.

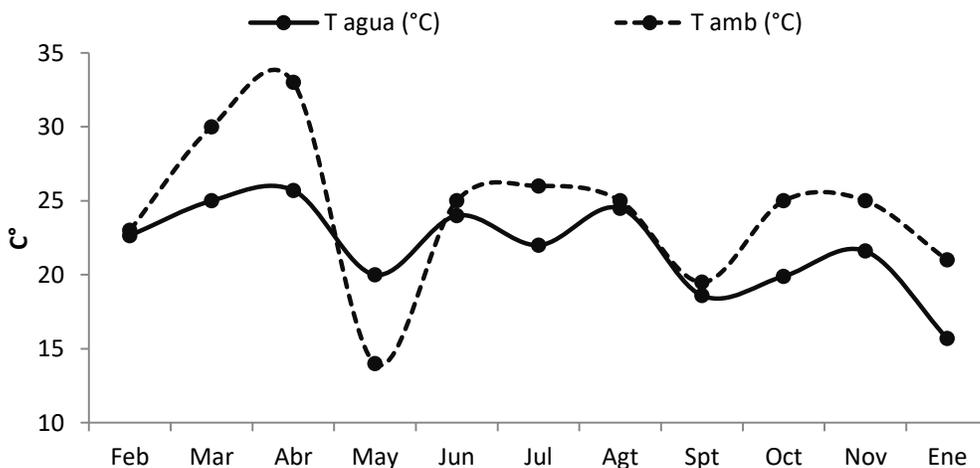


Figura 16. Temperatura del agua y ambiental registradas durante el periodo de estudio (2015-2016).

El OD (Fig. 17) presentó un mínimo de 2.2 mg L^{-1} en marzo del 2015 y un máximo de 22 mg L^{-1} en noviembre del 2015, con un promedio general de $9.8 \pm 5.3 \text{ mg/L}$. Se presentó una tendencia a una mayor concentración de OD inversa a los valores de la temperatura, menores valores al inicio del estudio y mayores hacia el final del mismo.

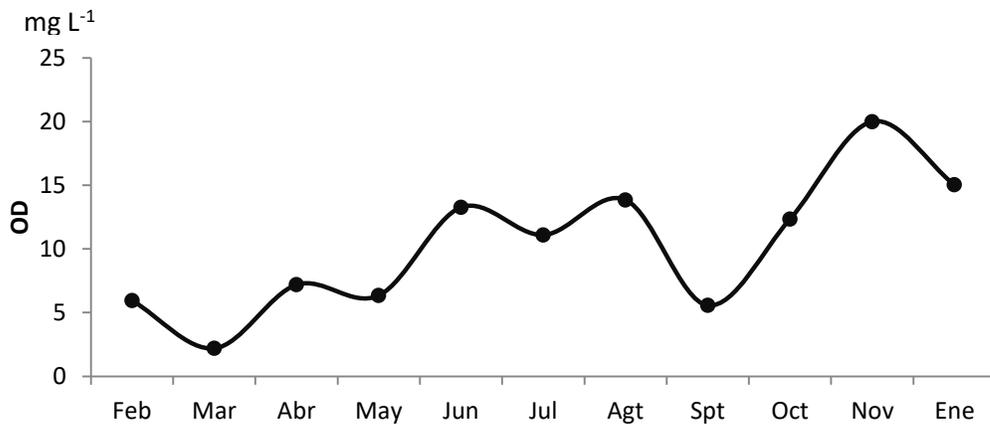


Figura 17. Comportamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) registradas durante el periodo de estudio (2015-2016).

El porcentaje de saturación de oxígeno (%SO, Fig. 18) durante el cultivo registró un promedio de $86.3 \pm 43.3 \%$ con un mínimo de 19.7% en marzo y un máximo de 166.9% en noviembre.

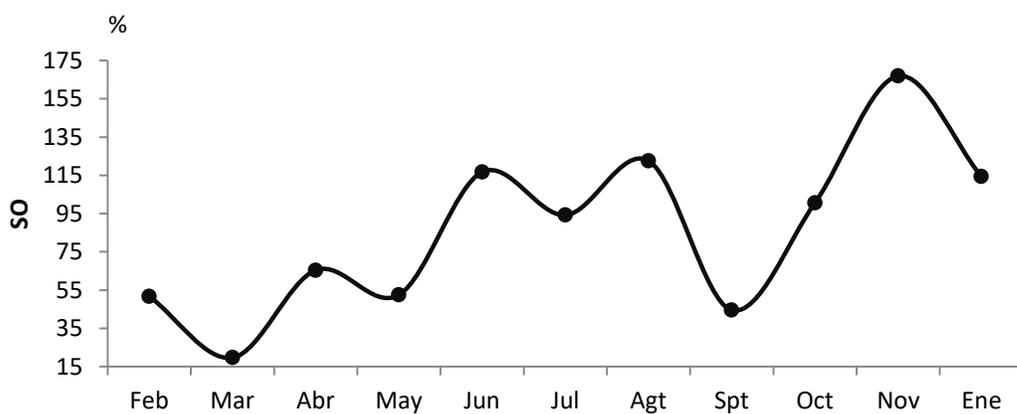


Figura 18. Comportamiento del porcentaje de saturación de oxígeno (SO) registrada durante el periodo de estudio (2015-2016).

Los valores de pH (Fig. 19) oscilaron entre 7.2 y 10.9, para los meses de octubre y noviembre del 2015, respectivamente. Durante todo el período de estudio se obtuvo un promedio de 8.9 ± 1.3 .

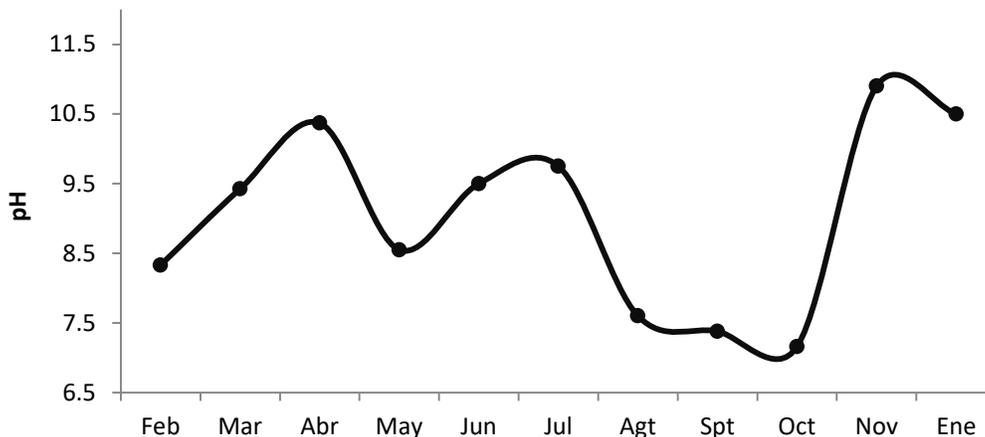


Figura 19. Variabilidad del pH durante el periodo de estudio (2015-2016).

La dureza total y la alcalinidad total presentaron promedios de 105.3 ± 39.1 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ y 50.4 ± 28.9 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, respectivamente. La dureza total presentó un mínimo de 61.1 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ en junio del 2015 y un máximo de 162.2 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ en septiembre del 2015. La dureza de calcio tuvo una media de 64.3 ± 21.5 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, con un mínimo en julio de 41.01 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ y un máximo de 101.10 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ en septiembre. En cuanto a la alcalinidad sus concentraciones mínimas y máximas fueron de 30 y 250 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, respectivamente (Fig. 20).

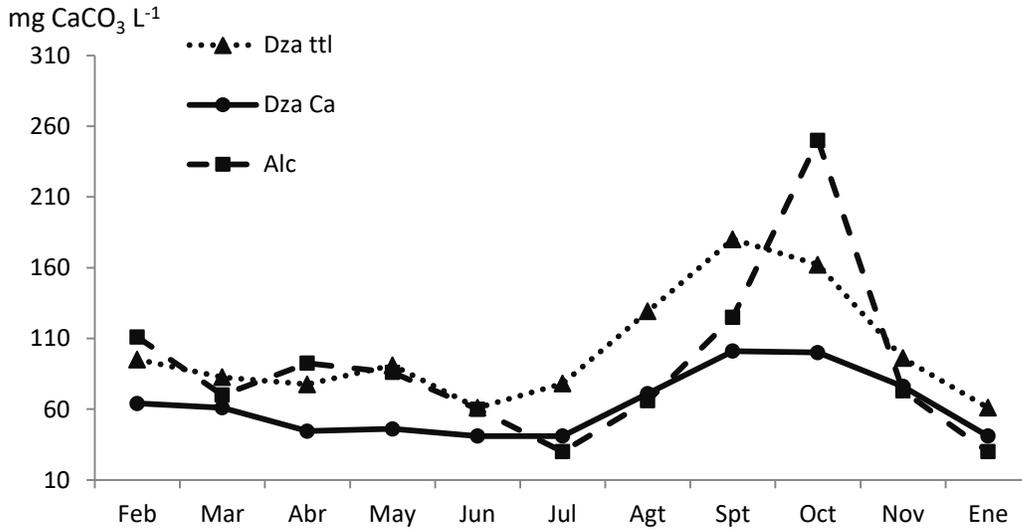


Figura 20. Variabilidad de la dureza total (Dza ttl), dureza de calcio (Dza Ca) y alcalinidad total (Alc) durante el periodo de estudio (2015-2016).

En cuanto a la conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT) (Fig. 21) presentaron promedios de $238.9 \pm 51.6 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $117.4 \pm 24.4 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. En agosto del 2015 se registraron los menores valores de conductividad, en tanto que en octubre del 2015 se registraron los mayores valores, con $355 \mu\text{S cm}^{-1}$. Los SDT presentaron un mínimo de 90.05 mg L^{-1} y un máximo de 157 mg L^{-1} , en los meses de agosto y octubre del 2015, respectivamente.

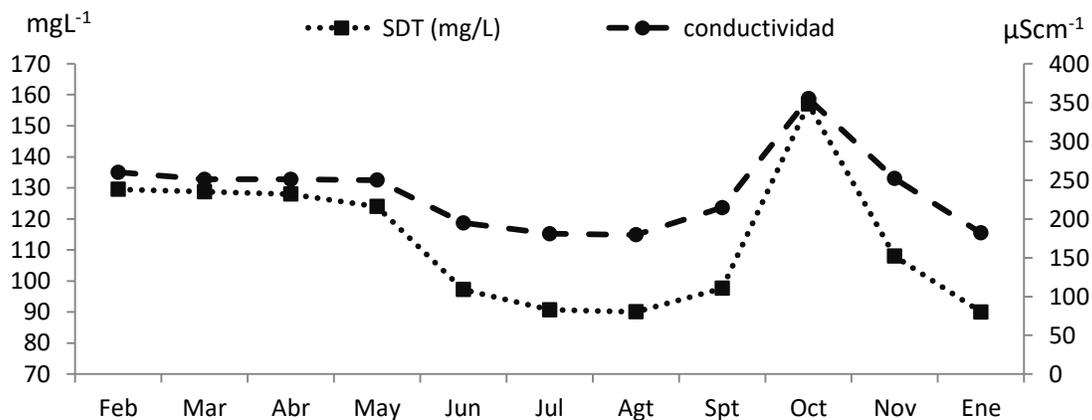


Figura 21. Variabilidad de la conductividad y de los sólidos disueltos totales durante el periodo de estudio (2015-2016).

La Tabla 4 presenta un resumen de todos los parámetros físico-químicos registrados durante el periodo de estudio y una comparación con un cultivo llevado a cabo en Ciudad de México (Iztapalapa). Se puede apreciar en general que los valores de los diferentes parámetros son similares, pero la alcalinidad, la dureza y el amonio registraron concentraciones mayores, así como que el pH, la conductividad y los sólidos totales disueltos, resultaron con concentraciones menores en el presente estudio.

Tabla 4. Parámetros físico-químicos registrados mensualmente durante el periodo de estudio y el de Gómez *et al.* (2015) en Iztapalapa, Ciudad de México. d.e.= desviación estándar, Mín= valor mínimo, Máx= valor máximo.

	Presente estudio		Gómez <i>et al.</i> (2015)	
	Promedio \pm d.e	Mín - Máx	Promedio \pm d.e	Mín - Máx
Temperatura del agua (°C)	22.4 \pm 2.4	15.7 - 25.7	20.9 \pm 0.5	17.7 - 24.2
Temperatura ambiental (°C)	26.4 \pm 5.2	14 - 33	-	-
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	9.8 \pm 5.3	2.2 - 20.0	10.3 \pm 0.25	6.3 - 16.6
pH	8.9 \pm 1.3	7.2 - 10.9	9.5 \pm 0.2	8.1 - 10.6
Disco Secchi (cm)	40.6 \pm 18.9	18.0 - 64.5	35 \pm 0.5	30 - 40
Dureza Total (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	105.3 \pm 39.1	61.1 - 180.0	92 \pm 5	45 - 120
Conductividad (μ S cm ⁻¹)	238.9 \pm 51.6	179.5 - 355.0	890 \pm 25	749 - 1145
Sólidos Totales Disueltos (mg L ⁻¹)	117.4 \pm 24.4	90.1 - 151.5	725 \pm 14	520 - 952
Alcalinidad (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	96.4 \pm 60.2	30 - 250	108 \pm 15	73 - 135
Amonio (mg L ⁻¹)	0.60 \pm 0.52	0.033 - 1.81	0.28 \pm 0.15	0.12 - 0.55

9.13 Nutrimentos

Las concentraciones de nutrimentos registradas mensualmente se presentan en la Tabla 5. En general, las concentraciones de N fueron altas. De las tres especies químicas medidas (nitratos, nitritos y amonio) los nitratos presentaron las mayores concentraciones, con un promedio de $1.7 \pm 1.4 \text{ mg L}^{-1}$, presentando un mínimo de 0.007 mg L^{-1} en febrero del 2015 y un máximo de 2.85 mg L^{-1} en junio. Las concentraciones de amonio fluctuaron entre 0.032 y 1.81 mg L^{-1} , para los meses de febrero y octubre del 2015, respectivamente. El promedio para el periodo de estudio fue de $0.6 \pm 0.5 \text{ mg L}^{-1}$. Los nitritos presentaron concentraciones muy bajas, casi al límite de detección.

En cuanto al P, estos también se encontraron en altas concentraciones. Las concentraciones de P_{Total} fluctuaron entre 0.25 mg L^{-1} en noviembre y 7.62 mg L^{-1} en mayo, registrándose un promedio de $3.7 \pm 4.7 \text{ mg L}^{-1}$. La fracción de fosfatos presentó un promedio de $2.0 \pm 1.5 \text{ mg L}^{-1}$, con un mínimo de 0.097 mg L^{-1} en marzo y un máximo de 3.5 mg L^{-1} en julio.

Tabla 5. Concentraciones de nutrimentos obtenidas durante el periodo de estudio. d.e.= desviación estándar, Mín= valor mínimo, Máx= valor máximo.

Nutrimentos (mg L^{-1})	Promedios \pm d. e.	Mín-Máx
Amonio	0.60 ± 0.52	0.033 - 1.81
Nitratos	1.70 ± 1.37	0.0071 - 4.0
Nitritos	0.0001 ± 0.0003	0 - 0.0003
Fósforo total	3.70 ± 4.67	0.25 - 7.62
Ortofosfatos	2.0 ± 1.5	0.09 - 3.05

9.14 Evaluación del fitoplancton

Abundancia de fitoplancton

Las abundancias totales del fitoplancton durante los meses de cultivo de tilapia se registraron en un intervalo de 26,546 - 572,845 cél. mL⁻¹, siendo el valor mínimo registrado en mayo y el máximo en octubre del 2015 (Fig. 23) (Hernández, 2016). Las clorofitas fue el grupo más diverso y dominante a lo largo del estudio, seguidas de las euglenófitas, bacilariofitas y cianobacterias (Fig.22). La relación entre la densidad de fitoplancton y el disco de Secchi mostró una relación potencial inversa a medida que pasaban los meses (Fig. 24). el listado con los 22 géneros identificados pertenecientes a las siguientes divisiones de algas de epicontinentales: Chlorophyta (13 spp), Bacillariophyta (4 spp), Cyanophyta (4 spp) y Euglenophyta (1 sp).

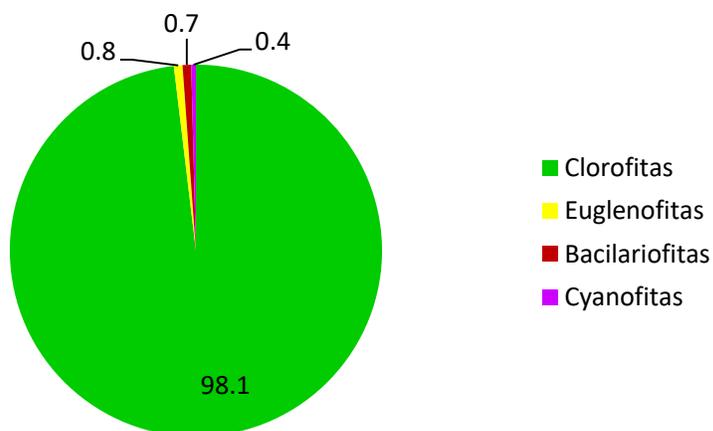


Figura 22. Diagrama de la contribución relativa (% del total de especies) por división a la diversidad genérica del fitoplancton en cultivo semiintensivo de tilapia.

Tabla 10. Variedad de géneros encontrados en estanque con cultivo semiintensivo de tilapia ordenados de forma descendente de acuerdo con su abundancia total.

División	Género	Total cél. mL ⁻¹
Chlorophyta	<i>Kirchneriella spp</i>	1 597 163
Chlorophyta	<i>Monoraphidium spp</i>	424 343
Chlorophyta	<i>Scenedesmus spp</i>	188 257
Chlorophyta	<i>Cosmarium sp</i>	183 030
Chlorophyta	<i>Acanthosphaera sp</i>	164 961
Chlorophyta	<i>Chlorella spp</i>	79 738
Chlorophyta	<i>Ankistrodesmus spp</i>	29 298
Chlorophyta	<i>Coelastrum spp</i>	25 816
Euglenophyta	<i>Euglena spp</i>	20 992
Chlorophyta	<i>Oocystis sp</i>	15 914
Bacillariophyta	<i>Nitzschia spp</i>	14 181
Chlorophyta	<i>Pediastrum spp</i>	14 094
Chlorophyta	<i>Tetrastrum sp</i>	14 040
Cyanophyta	<i>Anabaenopsis sp</i>	9 240
Chlorophyta	<i>Eudorina sp</i>	4 746
Bacillariophyta	<i>Navicula sp</i>	2 971
Chlorophyta	<i>Elakatothrix sp</i>	2 333
Bacillariophyta	<i>Cymbella sp</i>	2 146
Bacillariophyta	<i>Cyclotella sp</i>	1 549
Cyanophyta	<i>Oscillatoria sp</i>	776
Cyanophyta	<i>Nostoc sp</i>	664
Cyanophyta	<i>Microcystis sp</i>	603
Total		2 796 856

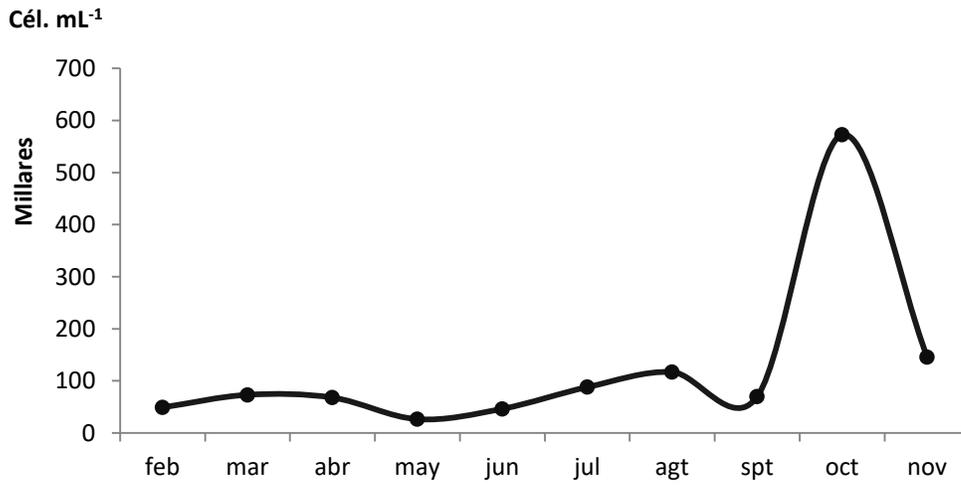


Figura 23. Variación temporal de la densidad fitoplanctónica total.

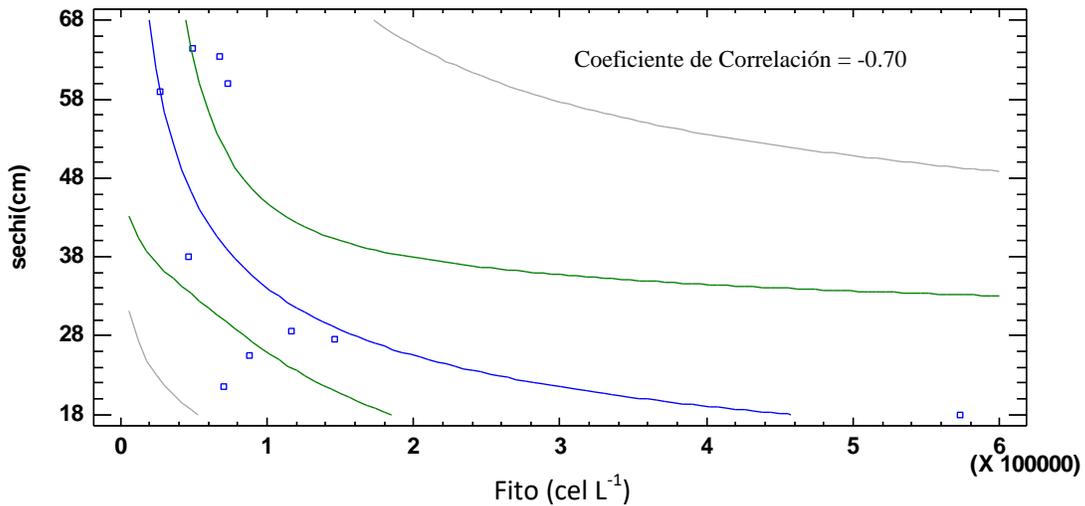


Figura 24. Modelo multiplicativo de la relación entre densidad fitoplanctónica vs visibilidad del Disco de Secchi. $Sechi(cm)=4234 \text{ fito. cel.}^{-0.419}$

9.15 Productividad Primaria

La determinación de productividad se llevó a cabo en los meses de febrero a noviembre de 2015, el valor promedio de la productividad se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores promedios de la productividad primaria expresados como mg C L⁻¹ día⁻¹ para el cultivo semiintensivo de tilapia en estanque de concreto.

	Productividad neta	Respiración	Productividad bruta
Promedio	1.15	3.46	4.61
D.E	0.98	1.85	1.43

9.16 Abundancia de zooplancton

El cultivo de tilapia se mantuvo de marzo del 2015 a enero del 2016 con una densidad de zooplancton (copépodos, cladóceros y rotíferos) variable durante todo el muestreo (Fig. 26), teniendo a los rotíferos como grupo dominante, representando el 64% de la densidad total del zooplancton durante 6 meses a partir de mayo del 2015 y una densidad en promedio de 228.31 org L⁻¹, los máximos de organismos se presentaron en octubre y el mínimo en junio. Cabe resaltar los meses de mayo y agosto, cuando se encontraron organismos con huevo, estos representaron el 8% de la densidad total del zooplancton. Se presentaron las familias Asplanchnidae (género *Asplanchna*) y Brachionidae (género *Brachionus*) siendo este último el que dominó durante la mayor parte del cultivo.

Los cladóceros fueron el grupo dominante durante el inicio del cultivo (solo se presentó el género *Daphnia*) y en el mes de agosto, cuando los peces se encontraron en su condición óptima para su máximo desarrollo. Estos representaron el 25.2% de la densidad total del zooplancton. En este mes la densidad de cladóceros fue de 256 org L⁻¹. La población de copépodos fue la menor durante todo el cultivo, encontrándose especímenes del orden Cyclopoidae

en estado nauplio y en estado adulto. La densidad mayor se presentó en agosto y fue de 36 org. L⁻¹ (Fig. 26). Los copépodos representaron el 4.5% de la densidad total del zooplancton.

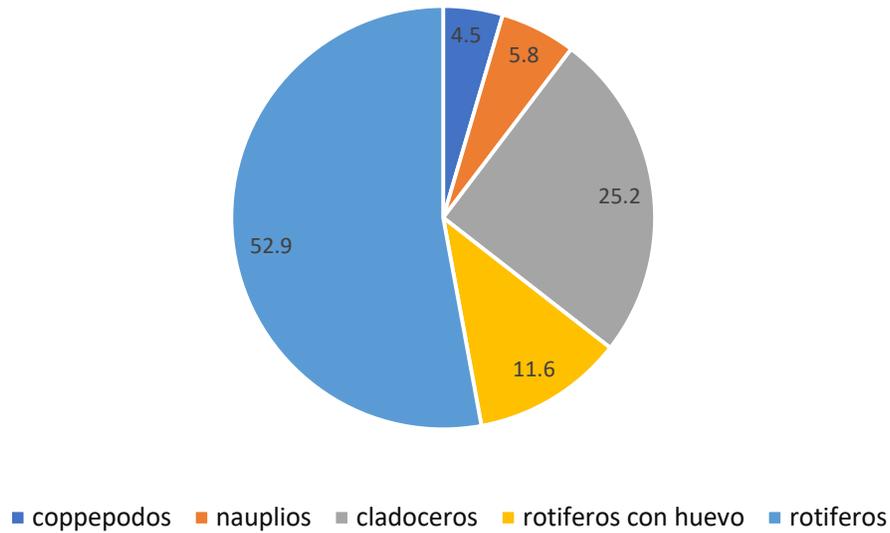


Figura 25. Composición en porcentaje del zooplancton total.

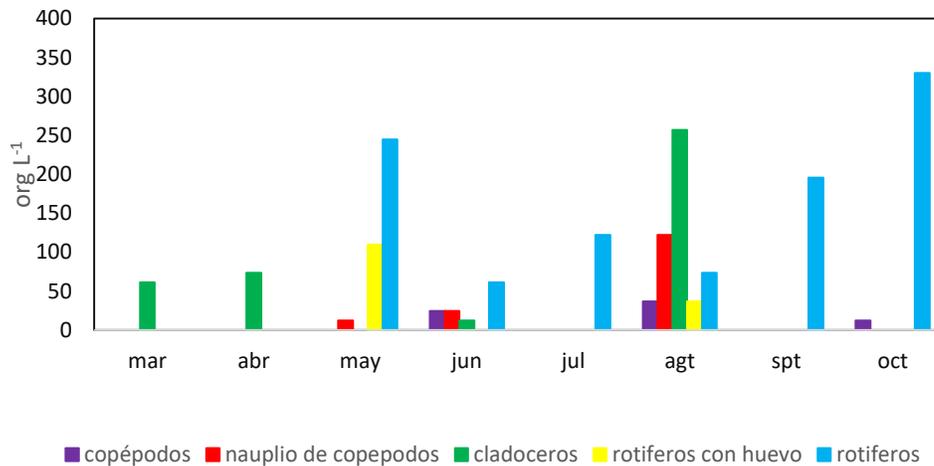


Figura 26. Variación temporal de la densidad zooplanctónica total.

9.17 Correlación de Pearson

Se realizó una correlación de Pearson para todos los parámetros de crecimiento entre todos los parámetros físico-químicos y solo se encontró las siguientes correlaciones significativas: Secchi, temperatura del agua y dureza de calcio vs TIC (P), TIC (L) y el índice de condición de Fulton. Entre cada par de variables, estos coeficientes de correlación oscilan entre -1 y +1 y miden la fuerza de la relación entre las variables. También se muestra entre paréntesis el número de pares de valores de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada ubicación de la tabla es un valor P que comprueba la significación estadística de las correlaciones estimadas. Los valores de P por debajo de 0,05 indican correlaciones estadísticamente significativas al nivel de confianza del 95.0%. Los siguientes pares de variables tienen P-valores por debajo de 0.05. (Tabla 7).

Tabla 7. Correlaciones de Pearson significativas.

	Secchi (cm)	T agua (°C)	Dza Ca
TIC (P)	0.6823	0.7497	-0.7284
	(9)	(9)	(8)
	0.0429	0.0200	0.0404
TIC (L)	0.8802		
	(8)		
	0.0429		
FCA	0.7861		
	(8)		
	0.0207		

Discusión

El estudio de la relación peso-longitud y los índices de condición en peces proporcionan información indirecta sobre el crecimiento, madurez, reproducción, nutrición y, por ende, del estado de salud de las poblaciones (Cifuentes *et al.*, 2012).

En un sistema abierto como el que fue utilizado en este estudio, es relativamente difícil manejar los factores ambientales que inciden sobre la población, debido a que las condiciones no son controladas para mantener por ejemplo una temperatura óptima y así lograr el mejor desarrollo de la especie. Los peces se mantuvieron a través de la fertilización con lombricomposta y borregasa composteada, que sirvió para favorecer la productividad primaria y, por consiguiente, el incremento del fitoplancton y el zooplancton, que se desarrolló en el estanque, como alimento natural, complementado con el alimento pelletizado que se le suministró por las condiciones climáticas de un ambiente templado subhúmedo a las que estuvieron expuestas las tilapias que sirvieran para incrementar su crecimiento.

El cultivo de tilapias fue de machos previamente revertidos sexualmente para una producción comercial exitosa, ya que los peces machos de tilapia crecen al doble de velocidad que las hembras, mientras que en las poblaciones mixtas se genera una gran disparidad en las tallas de los peces cosechados, afectando su comercialización. Además, la presencia de tilapias hembras genera una reproducción descontrolada, el excesivo reclutamiento de alevines, competencia por el alimento y enanismo de la población original, impidiendo que se alcancen las tallas comerciales (FAO, 2017).

En el octavo mes del cultivo, correspondiente al mes de noviembre, se obtuvo un peso promedio de 231.41 g, mientras que en el mes de enero los peces

registraron un peso promedio de 232.7 g y una longitud total promedio de 23 cm, obtenidos durante la última cosecha, no registrando diferencias significativas ($p < 0.05$) durante este período. Gómez *et al.* (2014) en un cultivo monosexado de 650 machos de tilapia durante un periodo de 180 días en un clima equivalente en la Cd. de México, obtuvieron un peso final promedio de 91.3 g, el cual resulta inferior al peso promedio de 183.4 g obtenido en este estudio para el mes de septiembre en el cual se cumplían 174 días de cultivo (Fig. 4). Estas diferencias pueden atribuirse a una mayor densidad utilizada (6 peces m^{-2}) y a un menor peso inicial de siembra ($0.2 \pm 0.05 \text{ g}$) comparado con el presente estudio, donde se sembraron 3 peces m^{-2} con un peso inicial de $1.19 \pm 0.4 \text{ g}$. Díaz *et al.* (2012) en un cultivo monosexado de 160 machos de tilapia *Oreochromis niloticus* durante un periodo de 11 meses obtuvieron un peso promedio final de 320.41 g con una densidad de carga de 6 peces m^{-2} y un peso promedio inicial de 0.82 g en un clima semiárido seco. Este cultivo que fue más parecido al presente estudio en cuanto a condiciones de manejo presentó diferencias en el crecimiento de los peces, que se podrían explicar por un pH alrededor de 7, las condiciones térmicas más cálidas ($20.8\text{-}24.5 \text{ }^\circ\text{C}$) y a un mayor periodo de cultivo.

Se obtuvieron dos modelos potenciales de la relación peso-longitud, uno empleando la longitud total $P=0.0184L_t^{3.006}$ (Fig. 5) y el otro la longitud patrón $P=0.0401L_p^{2.963}$ (Fig. 6). Los datos obtenidos de la relación entre la longitud total y el peso muestran una alometría positiva con tendencia a la isometría ($b=3.006$), mientras que la relación entre la longitud patrón reveló que los peces tuvieron un crecimiento alométrico negativo, con tendencia a la isometría ($b=2.963$), información válida a través de la prueba de t-student (Pauli, 1984) por el crecimiento del cultivo se consideró isométrico. Estos resultados son acordes con lo esperado para las especies de tilapia, como lo menciona Carlander (1969), que valores de $b=2.5\text{-}3.5$ son típicos. Por otra parte, Díaz *et al.* (2012) en condiciones térmicas parecidas a la del presente estudio, reportan un valor de $b=2.4794$ de tipo alométrico negativo utilizando la longitud total. Los valores altos de determinación del peso vs long. patrón ($r^2= 0.985$) y del peso vs long. total

($r^2=0.9747$), indican que el 95 % de la variación del peso (y) está asociada o es explicada por la variación de la longitud total (x) o viceversa, lo que va acorde con lo establecido al crecimiento de los peces.

Los datos obtenidos del factor de condición de Fulton indican el grado de “robustez” o “buen estado” de los peces y está basado en la hipótesis de que los individuos más pesados de una determinada talla se encuentran en un estado fisiológico más favorable que los de menor peso (Ciechowski *et al.*, 1986). El valor de K revela la sensibilidad al medio ambiente para peces juveniles y maduros y es calculado a partir del peso y la longitud, este valor puede disminuir por estómagos vacíos y problemas de salud y se usa para estimar los cambios de las condiciones nutricionales (Jin *et al.*, 2015). El valor promedio del presente estudio fue $K=1.86 \pm 0.15\%$ y el valor máximo de $K=2.15\%$ en el mes de agosto (Fig. 10) cuando el pH (8.6), el oxígeno disuelto (13.85 mg L^{-1}) y, sobre todo, las temperaturas se encontraron en el intervalo para el óptimo crecimiento del cultivo (24.5°C). El valor mínimo (Fig. 10) se presentó en el mes de mayo $K=1.58\%$, lo cual se podría explicar por el tamaño de la muestra fue de pocos organismos (3%). El FCF (k) resultó mayor en comparación con el cultivo monosexado con un valor de FCF (k) $= 0.77 \pm 0.05\%$ obtenido por Gómez-Márquez *et al.* (2015). Esto puede atribuirse a los datos de crecimiento mayor utilizados para calcular este índice en el presente estudio. Migiro y Munguti (2014) en un cultivo mixto de 216 tilapias obtuvieron valores para los machos de $k = 1.12\%$; este valor inferior al presente estudio se puede explicar porque en las poblaciones mixtas se genera una gran disparidad en las tallas de los peces cosechados.

Los datos obtenidos del factor de condición relativa revelaron un K_n promedio de 1.015, este valor que es mayor a la unidad es indicativo de que el cultivo en promedio tuvo una condición positiva, los valores inferiores a la unidad del mes de mayo se pueden explicar por la baja de temperatura en el ambiente debido a la presencia de lluvias y a la variabilidad propia de los organismos del cultivo

La ganancia diaria de peso GDP en el cultivo la (Fig. 7) en este estudio fue de 0.86 g día^{-1} . Este valor resulta menor al reportado por Díaz *et al.* (2012) de 0.96 g día^{-1} o los datos reportados por García *et al.* (2015) de 1.09 g día^{-1} , por lo que se podrían emplear recursos alimenticios adicionales (desechos orgánicos de tipo vegetal) para incrementar el crecimiento de los peces en cultivos posteriores, evitando que la comunidad fitoplanctónica crezca excesivamente sobre todo aquella que no es comestible.

El factor de conversión alimenticia (FCA) depende, al igual que el crecimiento, de la calidad de la dieta, de las condiciones de manejo y además, de la ración. Este permite evaluar el grado de rendimiento del alimento. El valor de esta relación aumenta conforme el organismo envejece, tendiendo a infinito cuando el organismo alcanza su peso máximo y deja de crecer (Saavedra, 2006). Los valores que se consideran aceptables van de 1.2 a 1.5 (Pyneda, 2012), los cuales se registraron de mayo a junio para el alimento Api Tilapia 2 (Fig.12) y de septiembre a noviembre para el alimento Api tilapia 3 (Fig.13). El FCA promedio del cultivo fue de 2.001 ± 1.35 ; este valor se vio afectado en los primeros meses (marzo-mayo) donde el exceso de alimento dado provocó una pérdida de este lo cual explica los valores elevados de 5.3 y 2.7. El valor por debajo de la unidad obtenido de julio a agosto fue resultado del efecto positivo que tuvo la fertilización en el sistema, el zooplancton y alimento pelletizado en conjunto.

La biomasa inicial del cultivo fue de $357.14 \text{ g } 100 \text{ m}^{-2}$ y 10 meses después la biomasa final del cultivo fue de $58.143 \text{ kg } 100 \text{ m}^{-2}$ (Tabla 8). El análisis de correlación de Pearson reveló que hubo correlaciones significativas con un nivel de confianza del 95% entre TIC_P , TIC_L y el índice de condición de Fulton vs la visibilidad del disco de Secchi del agua y el TIC_P vs la visibilidad del disco de Secchi y la dureza de calcio, lo que indicó que la productividad del sistema fue indispensable para el crecimiento de los peces. La temperatura tuvo una correlación significativa con las tasas instantáneas de crecimiento, pero esto es debido a que la temperatura es uno de los factores más importante en los

ecosistemas acuáticos y de manera directa o indirecta tiene relación con los distintos fenómenos limnológicos y el metabolismo biótico (Arredondo y Ponce, 1986) y particularmente con la tasa de crecimiento de los peces.

Tabla 8. Comparación de los resultados promedios obtenidos en el presente estudio con cultivos semiintensivos (con suministro de alimento balanceado) de *O. niloticus* por diferentes autores. O = Sistema con fertilización orgánica, Q = con fertilización química y C = convencional o sin fertilización. Pi = peso inicial, Lti = longitud total inicial, Pf = peso final, Ltf = longitud total final, FCA = Factor de Conversión Alimenticia, GDP = Ganancia Diaria de Peso.

Autor	Sistema	Densidad (Org/m ²)	Tiempo (meses)	Pi (g)	Lti (cm)	Pf (g)	Ltf (cm)	Producción (kg/m ²)	FCA	GDP (g/día)
Bermúdez <i>et al.</i> , 2012	O	0.7	6	161.9	-	520	31.8	0.34*	2.5	2.0
Gómez-Márquez <i>et al.</i> , 2014	Q	6	6	0.2	2.4	91	16.1	0.3	2.0	0.5
Díaz-Barboza <i>et al.</i> , 2012	O	12	11	0.9	3.1	320	27.4	3.2*	1.7	0.96
García <i>et al.</i> , 2015	C	5	5	3.8	6.0	172	24	0.862	----	1.1
Pérez y Saenz, 2015	C	3	1	77.43	-	135.42	-	0.132	1.23	1.93
Presente estudio	O	3	10	1.2	3.9	232	22.1	0.422	3.0 y 1.4	0.86

Las tilapias, siendo organismos ectotérmicos y altamente termófilos, para un crecimiento exitoso, la temperatura que se sugiere según “Criterios técnicos y económicos para la producción sustentable de tilapia en México” es de 26 a 30°C. Por cada grado inferior o superior a esta temperatura se pierde el 10% en la eficiencia de su crecimiento (PIC tilapia, 2012). La temperatura en promedio que se registró a lo largo del estudio fue de 22 °C (Tabla 4). Debido a que en Amozoc se presenta un clima templado subhúmedo, el cultivo de las crías se inició en los meses más calurosos, para que las tilapias aprovecharan la temperatura y que en la etapa de engorda pudieran soportar las bajas temperaturas que estuvieron por debajo del mínimo establecido.

La visibilidad del disco de Secchi es, en general, una herramienta muy útil. En este estudio indicó cuándo realizar la fertilización, con base en esto fue que se realizó la segunda fertilización con borregasa para el periodo de engorda, ya que a partir de la primera fertilización con lombricomposta la visibilidad era mayor a los 30 cm.

Dentro de los parámetros físico-químicos, el OD es el más importante en el cultivo de especies acuáticas. Las concentraciones, a pesar de no ser regulares, se lograron mantener altas gracias a la productividad primaria por la fertilización y la oxigenación producida por las caídas de agua de las estructuras aledañas que captaban el agua de lluvia. En el cultivo se obtuvo una concentración promedio de $10.3 \pm 5.3 \text{ mg L}^{-1}$ de OD (Tabla 4). Las concentraciones mínimas de OD se registraron en el mes de marzo cuando se introdujeron las tilapias y se obtuvieron valores que estuvieron sobre el intervalo óptimo, desde junio hasta enero, cuando se realizó la cosecha. Boyd (2015) establece que, en general, el intervalo adecuado para la acuicultura es de $5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ hasta el nivel de saturación ($6.76 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 2330 m s.n.m. y $0 \text{ g sales disueltas L}^{-1}$), ya que valores de sobresaturación pueden causar la enfermedad de la burbuja de aire. Los peces no mostraron ningún indicio de haber padecido de esta enfermedad, a pesar de que estuvieron por encima de lo ideal. Estos valores son buenos para el cultivo y son producto de la actividad de las clorofitas las cuales prevalecieron durante la mayor parte del estudio, lo que se observó en el tono verde del agua y la disminución de la visibilidad del disco de Secchi.

Según la FAO (2017) los porcentajes de saturación de oxígeno que estén sobre el 100% se consideran sobresaturadas, como fue el caso de la mitad del tiempo que duró el estudio, fenómeno que se puede producir, por ejemplo, en las primeras horas de la tarde cuando la fotosíntesis es muy activa.

La tilapia crece mejor en agua de pH neutro o levemente alcalino. El intervalo de pH para el óptimo desarrollo de la tilapia es de 6.5-9.5 (Quiroz-Castelán *et al.*,

2006). El pH del cultivo no mostró ninguna tendencia y en promedio se registraron valores de pH de 8.9 ± 1.3 , el cual se encuentra dentro del intervalo óptimo. Durante el cultivo no se obtuvieron valores que estuvieran debajo del mínimo. Con respecto a los valores máximos, como los registrados en abril y noviembre, Saavedra (2006) menciona que las tilapias pueden resistir valores alcalinos cercanos a 11. Los valores elevados de pH se pueden atribuir a la remoción del CO_2 que efectúa el fitoplancton, con el consiguiente aumento de pH debido a la reducción en la formación y concentración de H_2CO_3 y, por otro lado, también a la presencia de constantes periodos de intensa actividad fotosintética generados por altas densidades fitoplanctónicas, como lo establecen Wurts y Durborow (1992). Ellos mencionan que el incremento del pH puede alcanzar a valores sobre 9, especialmente en aguas con baja alcalinidad total ($20\text{-}50 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) aspecto que no se observó en este estudio. También se ha señalado (p. ej. PIC tilapia, 2012) que valores altos de pH provocan letargia o inapetencia, lo que no se vio reflejado en los peces durante todo el cultivo, ni siquiera en los meses de abril y noviembre, cuando se obtuvieron los mayores valores.

Las concentraciones de alcalinidad total obtenidas se comportaron de manera inversamente proporcional al pH. En los 2 meses con menores valores de pH la alcalinidad presentó los valores más altos. Wurts y Durborow (1992) recomiendan para estanques con cultivo de peces un intervalo de alcalinidad total de $75\text{-}200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ importante para que el sistema amortigüe las posibles bajas de pH.

La dureza total registró un valor promedio de $105.3 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (Tabla 4) y el intervalo adecuado según Saavedra-Martínez (2006) es $80\text{-}110 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. La dureza de calcio presentó un valor promedio de $64.3 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ (Tabla 4) el cual se encuentra dentro del intervalo recomendado por Wurts y Durborow (1992) el cual es de $63\text{-}250 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para Ca^{++} , manteniéndose en un intervalo de $25\text{-}101 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. Para cultivos con valores menores al intervalo mencionado, se recomienda la aplicación de algún sustrato basado en sales de sodio y potasio para intercambiar iones, como el calcio y el magnesio, carbonato de calcio o

cloruro de calcio, que mejore las concentraciones y así se tenga una mejor capacidad buffer de la columna de agua y se pueda evitar valores tan altos de pH como los registrados a lo largo del cultivo.

Las aguas del estanque presentaron valores adecuados para el cultivo de tilapia ya que se pueden clasificar como moderadamente duras al presentar valores mayores a 75 mg L^{-1} de CaCO_3 y se consideran productivas pues presentan niveles mayores a 40 mg L^{-1} de CaCO_3 (Arredondo y Ponce, 1986).

Los sólidos disueltos totales siguieron la misma tendencia que la conductividad. El estanque presentó un promedio de TSD $117.7 \pm 24.4 \text{ mg L}^{-1}$. Las concentraciones menores se presentaron de marzo a abril, pero aumentaron hasta alcanzar sus valores máximos en octubre. Estas concentraciones no representaron, aparentemente, ningún problema para *Oreochromis niloticus* var. Stirling, ya que puede crecer bien incluso en salinidades de 15 g L^{-1} , como lo reportan Popma y Masser (1999) o sobrevivir hasta los 20 g L^{-1} , según Hernández y Rivas (2012).

Las concentraciones de nitritos fueron imperceptibles ($<0.01 \text{ mg L}^{-1}$) (Tabla 5), lo cual es ideal para el cultivo de peces, ya que este ion se considera dañino en concentraciones mayores a 0.1 mg L^{-1} para los organismos (PIC tilapia, 2012). En contraparte, el amonio presentó una concentración al límite de tolerancia para la tilapia. Valores cercanos a 2 mg L^{-1} , como el que se presentó en el mes de octubre, se consideran críticos (Rodríguez y García, 2012), ya que altas concentraciones de amonio en el agua causan bloqueo del metabolismo, daño en las branquias, afectan el balance de las sales, produce lesiones en órganos internos, inmunosupresión, susceptibilidad a enfermedades, reducción del crecimiento y la supervivencia, “exoftalmia” (‘ojos brotados’) y “ascitis” (‘acumulación de líquidos en el abdomen’) y condiciones bajas de O_2 disuelto agudizan este efecto. A pesar de estas concentraciones el cultivo no fue afectado de manera visible, debido a las altas concentraciones de oxígeno disuelto.

Los valores promedio de nitrato y fosfato fueron relativamente altos ($2.55 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ y $1.43 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$) (Tabla 5). El nitrógeno es uno de los factores limitantes para el crecimiento del fitoplancton de los estanques, así cuando se agregan fertilizantes ricos en nitrógeno aumenta la biomasa de fitoplancton y, por ende, la productividad del cuerpo de agua (O'Brien y Denoyelles, 1976 citado en Arredondo y Ponce 1986). Esto se pudo apreciar con la visibilidad al disco de Secchi, que en los últimos seis meses de cultivo pasó de 0.38 a 0.28 cm al final del estudio, resultado de las fertilizaciones efectuadas previamente y al aporte de alimento balanceado que se disuelve y del que se excreta.

En cuanto a la concentración de nutrimentos, la relación N/P estuvo en constante aumento en el estanque a medida que pasaba el tiempo, debido a la fertilización por lombricomposta un mes antes del inicio del cultivo y, posteriormente, borregasa en el mes de mayo, al pellet Api tilapia 2 y 3 que se trataba de esparcir a la mayor parte del sistema que era rico en proteínas (35%, 30%), a los desechos de las tilapias y a la materia orgánica del bosque de encino que se introducía en el estanque por medio del viento. Debido a que en los primeros 4 meses del cultivo la fertilización con lombricomposta no dio una relación adecuada de concentración (1:3) para el sistema, se realizó una segunda fertilización con borregasa en mayo, obteniéndose una mejor relación en promedio hasta el final del cultivo (2:1). Las fertilizaciones establecieron una relación óptima entre el nitrógeno y el fósforo y ayudó a mantener una población de fitoplancton y de zooplancton (FAO, 2017).

La densidad de organismos fitoplanctónicos tuvo fluctuaciones durante todo el estudio, con un notable incremento en la densidad a partir del ingreso de la segunda fertilización. Las clorofitas fueron quienes dominaron el cultivo con una composición del 98%. El análisis de correlación de Pearson reveló un resultado negativo significativo entre la abundancia de fitoplancton y la visibilidad del disco de Secchi, lo que puede indicar que la visibilidad se vio afectada tanto por el

crecimiento fitoplanctónico, como por la materia particulada detritica. Estos resultados concuerdan con Almazan y Boyd (1978) quienes establecieron la importancia de la medición del disco de Secchi como un estimador confiable de la densidad del plancton en estanques con cultivo de peces a través de correlaciones entre la visibilidad de disco Secchi versus la materia orgánica particulada y la concentración de clorofila *a* encontraron altos coeficientes de correlación y una relación inversa, de tipo potencial, entre los estimadores y la visibilidad (Secchi).

Margalef (1983) considera las abundancias del fitoplancton para determinar el estado trófico de un sistema acuático, con los límites de $10^2 - 10^4$ cél. mL⁻¹ para lagos eutróficos, $10^4 - 10^6$ cel mL⁻¹ para aguas muy eutróficas y cultivos, y $10^6 - 10^8$ cél. mL⁻¹ para cultivos en condiciones especiales. De acuerdo con ésto y considerando los meses con presencia de peces en el estanque, el sistema reportado en este trabajo puede considerarse como muy eutrófico, con valores de la abundancia total mensual del orden de 10^4 - 10^6 cél. mL⁻¹.

Los valores de fitoplancton totales obtenidos por Hernández (2015) en este cultivo (2,796,856 cél. mL⁻¹) resultan muy elevados y parecen ser mucho mayores a los reportados por Quiroz-Castelán *et al.* (1999) que para 2 estanques rústicos de 1,000 m² fertilizados con vacaza (un total de 178 kg/ 100 m²) registraron valores de abundancias totales de 160,690 y 307,777 cél. mL⁻¹.

Respecto a la composición zooplanctónica registrada en el presente estudio, la mayor proporción del zooplancton estuvo dominada por los rotíferos, seguida de los cladóceros y, por último, copépodos. A pesar de que la FAO (2017) menciona que *Oreochromis niloticus* solo se alimenta de microinvertebrados hasta los 6 cm, el cultivo tuvo su mayor crecimiento y su mejor valor de factor de condición de Fulton cuando la abundancia de zooplancton fue mayor en el mes de agosto, similar a lo que reportan Elías y Navarrete (1998) que con respecto a la carpa común obtuvo su mayor crecimiento absoluto en peso cuando se tuvieron mayores abundancias del zooplancton y del zoobentos.

Almazan y Boyd (1978) evaluaron la productividad primaria bruta en 14 estanques (220-660 m²; 1 m de profundidad en promedio) con cultivos de *Tilapia aurea* y obtuvieron concentraciones en un intervalo de 1 - 5 mg C L⁻¹ día⁻¹, por lo que en este trabajo el valor promedio de la productividad primaria bruta (4.61 mg C L⁻¹ día⁻¹) estuvo dentro de un intervalo adecuado. Esto indica que la fertilización con lombricomposta y borregasa fue viable. Por otra parte, para cultivos sucesivos, podrían agregarse una menor cantidad de fertilizante o realizarlas con un mayor tiempo de anticipación para establecer desde el principio una buena oxigenación y evitar así florecimientos de fitoplancton ("blooms") y productividades demasiado elevadas, ya que cuando los sistemas se tornan eutróficos, la diversidad del fitoplancton disminuye, conduciendo a que prevalezcan poblaciones dominantes de cianobacterias, (lo que no fue el caso de este cultivo donde las cianofitas representaron menos del 1% de toda la densidad fitoplanctónica) sobre todo en áreas con altas temperaturas, condiciones de luz-energía constante y pH alto. El desarrollo masivo de cianobacterias, capaces de producir potentes toxinas, genera graves repercusiones en la salud pública, ecología acuática y sanidad animal. Como se pudo observar en este trabajo en varios meses se presentaron concentraciones de O₂ disuelto por arriba del grado de saturación y burbujas formadas dentro de las botellas DBO. Hepher (1962) encontró valores óptimos de producción primaria en estanques con cultivo de peces (1,000 m²; 70-90 cm con una profundidad máx) a 10 cm de la superficie, conforme aumentó la profundidad la producción cayó marcadamente hasta las capas más profundas; Hepher (1962) concluyó que esto se debe a que un aumento en la densidad de fitoplancton reduce la penetración de luz y, por ende, la tasa de fotosíntesis en los estratos más profundos, lo que conduce a una pérdida neta en producción cuando se toma en cuenta la columna de agua completa. Sin embargo, en este estudio estas altas densidades de fitoplancton parecen no haber representado inconveniente alguno en la producción final de tilapia, debido a que la sobreturación de oxígeno que se produjo en el sistema, posibilitó a la oxidación de la materia detrítica evitando la

anoxia en el sistema, además la caída de agua por medio del sistema de captación de agua de lluvia ayudó a la oxigenación.

El peso registrado durante los primeros 8 y 10 meses permitió que se realizarán las cosechas con la finalidad de comercialización, o en su caso, consumir los peces por parte de los miembros de la Asociación Civil. Se contempló cosechar todos los peces debido a que la población no crecería en los meses posteriores, por efecto de una disminución de la temperatura ambiental y del agua. Aunque, en general, no se llegó al peso promedio de 250 g como se había supuesto en la hipótesis, los resultados obtenidos son considerablemente aceptables dado a que la cosecha total es equivalente a un rendimiento de $5.81 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, teniendo en cuenta que el cultivo piscícola se realizó en una región con un clima templado con un invierno seco.

Conclusiones

En el cultivo de *Oreochromis niloticus* var. Stirling de machos por reversión sexual inducida hormonalmente, los peces presentaron un crecimiento de tipo isométrico de acuerdo con la relación peso-longitud.

A partir de una talla de siembra de cría de 3 cm de largo y 1.2 g de peso promedio, los peces alcanzaron un peso promedio final de 232 g y una longitud patrón promedio de 18.25 cm en un periodo de 8 meses de cultivo, lo que representó una cosecha total de 58.14 Kg en un área de 100 m².

De acuerdo con el factor promedio de condición de Fulton 1.86% y con el de Le Cren que presentó valores alrededor de 1, los peces tuvieron una adecuada robustez o buen estado a lo largo del cultivo.

La ganancia promedio diaria de peso de los peces fue de 0.86 g día⁻¹, la cual se considera adecuada para las condiciones climáticas templadas en la que se realizó el cultivo. Mientras el FCA obtenido promedio de 3.01 ± 2.0 para las primeras etapas de crecimiento de 1 a 50 g de peso de los peces con Api Tilapia 2 se considera alto, resultado de un excedente de alimento del 2 %. Y tendió a ser óptimo de 1.4 ± 0.4 para Api Tilapia 3 cuando se empleó para pesos mayores de los 50 g hasta más 230 g al momento de la cosecha.

Las tasas de crecimiento instantáneas fueron máximas en las primeras etapas de desarrollo: 1.64% en longitud y 4.66% en peso disminuyendo consecutivamente con el tiempo hasta 0.18% y 0.4 % respectivamente en los meses de octubre-noviembre, deteniéndose el crecimiento en los meses más fríos al final del año.

De los parámetros físico-químicos analizados la temperatura fue el factor que determinó directamente el crecimiento de los peces. Y la visibilidad al disco de

Secchi de manera indirecta, al ser un parámetro indicador de la disponibilidad de recursos planctónicos en el estanque (fitoplancton-zooplancton) que sirvieron como alimento a los organismos en cultivo.

Los demás parámetros físico-químicos evaluados, incluidos los nutrimentos en el cultivo estuvieron dentro de los resultados aceptables en la mayoría de los meses de estudio de acuerdo con lo reportado en la bibliografía para la especie por diversos autores.

La densidad zooplanctónica fue importante para los primeros meses por el requerimiento proteínico que necesitan las crías, que brindaron los cladóceros del género *Daphnia* y la densidad fitoplanctónica fue significativamente importante para el cultivo gracias que este sirvió para mantener una buena oxigenación del sistema de 20 mg L^{-1} en promedio, las dos densidades poblacionales sirvieron como alimento complementario que se vio reflejado en el FCA de manera contrastante en agosto con un valor menor a la unidad.

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que el cultivo de tilapia cumplió con los objetivos ecológicos, sociales y productivos que tienen como base la comunidad "Mateo Quinto" A.C. Se obtuvieron resultados aceptables al cultivar la tilapia en una zona de temperaturas menores al intervalo de óptimo crecimiento, como es en Amozoc, Puebla, con un mínimo manejo y de forma rápida. Además, se contribuyó a la dieta de las beneficiarias de la Asociación y de familias económicamente desprotegidas, con carne de tilapia fresca y de buena calidad. Además de que la comunidad obtuvo ingresos por medio de la venta del pescado cosechado y de la inclusión de las jóvenes de la Asociación en diversas actividades del cultivo, como la siembra y la cosecha, lo que es primordial como terapia en la Asociación.

Recomendaciones

Este sistema de producción puede mejorar notablemente en cultivos posteriores si se hacen cambios en la administración de la fertilización. Se recomienda que ésta se realice con un mayor tiempo de anticipación para establecer desde el principio una mayor densidad del plancton, una concentración de oxígeno adecuada y una visibilidad del disco de Secchi menor (<30 cm) o que se realicen varias fertilizaciones en menores cantidades para obtener un mejor control y así evitar densidades fitoplanctónicas muy altas, valores de sobresaturación de OD, valores de pH muy alcalinos y altas concentraciones de NH_4^+ .

Es importante un seguimiento constante de la visibilidad del disco de Secchi, así como las concentraciones de amonio y nitritos para mantener los valores dentro del intervalo óptimo de crecimiento y suspender o reducir las aplicaciones de materia orgánica cuando sea necesario, para evitar los valores alcalinos que están por encima del intervalo óptimo.

Se recomienda, una administración en menor cantidad y semanal del fertilizante, así como una menor administración de alimento balanceado al inicio del cultivo dado que el exceso (exceso de 2 %) aunque sirvió para la fertilización del sistema, no fue aprovechado óptimamente por las crías en los primeros meses de crecimiento, además de que estos excesos se traducen en el valor elevado del factor de conversión de alimento y en pérdidas económicas, la aplicación de otro tipo de alimento suplementario como subproductos agrícolas. Las administraciones de los alimentos orgánicos pueden ser aprovechado por la misma asociación y disminuir los gastos del cultivo.

Referencias

- Almazan, G. y C. E. Boyd. 1978. An evaluation of Secchi disk visibility for estimating plankton density in Fish ponds. *Hydrobiologia* 61(3): 205-208.
- Aroecena, R. y D. Conde. 1999. Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos de limnología en Uruguay. Instituto de Biología, sección Limnología, Facultad de Ciencias Uruguay. 235 p.
- Arredondo, J. L. 1983. Especies animales acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. *Biótica*. 8(2): 175–199.
- Arredondo, J. L. y A. M. Guzmán. 1986. Actual situación taxonómica de las especies de la tribu Tilapiini (pisces: cichlidae) introducidas en México. *An. Inst. Biól. Univ. Nal. Autón. Mex.* 56, Ser. Zool (2): 555–572.
- Arredondo, J. L. y J. T. Ponce. 1998. Calidad del agua en acuicultura (conceptos y aplicaciones). 1ª edición. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 222 p.
- Bellinger, E. G. y D. C. Sigeo, 2010. *Freshwater Algae: Identification and Use as Bioindicators*. 1ª edición. Wiley-Blackwell, Chichester, West Sussex, UK, 265 p.
- Bermúdez, A.; Muñoz-Ramírez A. P. y G. A. Wills. 2012. Evaluación de un sistema de alimentación orgánico sobre el desempeño de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) cultivada en estanques de tierra. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 59(3): 165-175.
- Boyd, C.E. 2015. *Water quality, an introduction*. 2nd edition, Springer, Auburn, AI, USA, 374 p.
- Cantor, F. 2007. *Manual de producción de tilapia*. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. 135 p.
- Carlander, K. D. 1969. *Handbook of freshwater fishery biology*, Vol. 1. The Iowa State University Press, Ames, IA. 752 p.
- Ceballos y Velázquez. 1988. En: Chávez S. El estado actual de la acuicultura en México y perfiles de nutrición y alimentación. Centro Regional de Investigación Pesquera, Instituto Nacional de la Pesca, Mazatlán, Sinaloa-México. Disponible en: <http://www.fao.org/3/contents/cd26ac74-2575-57dd-bad7-70c901f4a25d/AB487S10.htm>
- Centro Nacional de Desarrollo Municipal (CNDM). 1999. Enciclopedia de los municipios de México. Gobierno del estado de Puebla. Disponible en: <http://www.emexico.gob.mx/work/EMM1/Puebla/Mpios/21015a.html>
- Cervantes, S. A. 1984. *Manual de técnicas básicas para el análisis de ambientes acuáticos*. Carrera de biología, ENEP Zaragoza, UNAM. México, 225 p.
- Chakraborty, S. B., & Banerjee, S. (2010). En Alvarado, R. C. 2014. Comparación del crecimiento de machos y hembras de la tilapia *Oreochromis Niloticus* cultivadas en jaulas. *Uniciencia*. Vol. 29, No. 1, pp. 1-15. Enero, 2015.
- Ciechowski, J. D.; Sánchez, R. P.; Alespeiti, G. y H. Regidor. 1986. Estudio sobre el crecimiento en peso y factor de condición en larvas anchoíta, *Engraulis anchoíta* hubb y marini, variaciones regionales estacionales y anuales. *Rev. Investigación y Desarrollo Pesquero* 5: 183-193.

- Cifuentes, R.; González J.; Montoya G.; Jara A.; Ortíz N.; Piedra P.; y E. Habit. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). Gayana (Concepc.) vol.76 supl.1 Concepción.
- Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA). 2012 anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca. (http://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2012/ANUARIO_ES_TADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2012.pdf).
- Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA). 2013. Acuicultura. Disponible en: (http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/instalaciones_para_acuicultura).
- Conde-Porcuna, J. M.; E. Ramos-Rodríguez y R. Morales-Baquero. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. Ecosistemas 13(2): 23-29. Disponible en: <http://ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la-sostenibilidad-de-los/lectura-obligatoria-1/leccion1/conde-porcuna-et-al-04.pdf>.
- Chávez, M. C. 1993. El estado actual de la acuicultura en México y perfiles de nutrición y alimentación. La nutrición y alimentación en la acuicultura de América latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación-FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S00.htm#TOC>.
- Diana J.S, Lin C.K, Bhukaswan T, Sirsuwanatach V, Buurma B.J. 1991 en Fattah N.A, Castilho S.M y Wagner C. Valenti. 2015. Zooplankton capturing by Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) throughout post-larval development. Departamento de Zoología e Botânica, Universidade Estadual Paulista. Rua Cristóvão Colombo 2265, 15054-000 São José do Rio Preto, SP, Brazil. 469 p.
- Díaz, M.; Alva R.; Veneros B.; Dávila F.; Lujan L.; Plasencia W. y F. Mendoza. 2012. Cultivo semi-intensivo de tilapia *Oreochromis niloticus*, en estanque de concreto en el caserío Palo Blanco (Cascas, La Libertad- Perú). REBIOL 32(2): 99-107.
- Elías, G. y N. Navarrete. 1998. Crecimiento y producción de carpa común (*Cyprinus Carpio Linnaeus*, 1758) durante la época de sequía y lluvias en un bordo del Estado de México, México. Hidrobiológica 8(2): 117-123.
- Elías, M. E, Suárez, Gutiérrez, M., Silva M., Granados J., Garfias T. Cladóceras y Copépodos de las aguas continentales de México. 2008. Guía ilustrada. Facultad de estudios superiores Iztacala. UNAM.
- European Food Information Council (EUFIC). 2003. Ácidos grasos omega-3: ¿dónde se encuentran? Disponible en: <http://www.eufic.org/article/es/artid/acidos-grasos-omega-3/>
- Fattah, A, Castilho M. y W. Valenti. 2015. Zooplankton capturing by Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae) throughout post-larval development. Zooloia (Curitiba) 32(6):469-475. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/s1984-46702015000600006>.
- Froese, R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. Journal of Applied Ichthyology 22:241-253.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Serie N° 6, Instituto de Geografía, UNAM. 98 p.
- García, A.; Tume J. y V. Juárez. 2015. Determinación de los parámetros de crecimiento de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo. Disponible en: http://www.uap.edu.pe/Investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf.

- Gómez, J.; Arroyo, G. Constanzo, E. y A. Cervantes. 2014. Análisis de la calidad de aguas naturales y residuales con aplicación a la microescala. UNAM, FES Zaragoza. 204 p (http://132.248.60.115:8081/wp_libreria/?p=1464)
- Gómez-Márquez, J. L.; Peña-Mendoza B.; del Carmen Alejo-Plata M. y J. L. Guzmán-Santiago. 2014. Culture Mixed-Sex and Monosex of Tilapia in Ponds in Mexico City. *Agricultural Sciences* 6: 187-194.
- González R., H. y G. M. Gómez. 2009. Producción de tilapia en invierno en el norte de Sinaloa. SAGARPA. 8 p.
- Hairston 1996 en J.M. Conde-Porcuna; E. Ramos-Rodríguez; R. Morales-Baquero. 2004. El zooplancton como integrante de la estructura trófica de los ecosistemas lénticos. *Ecosistemas* 13(2): 23-29. Disponible en: <http://ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la-sostenibilidad-de-los/lectura-obligatoria-1/leccion1/conde-porcuna-et-al-04.pdf>.
- Hepher, B. 1962. Primary production and its application to fertilization experiments. *Limnology and Oceanography* 7: 131-136.
- Hernández, C. 2010. Nicovita. Manual de Crianza Tilapia. 15 p. Disponible en: <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/>.
- Hernández, M. I. y L. M. Rivas. 2012. Evaluación de los límites de tolerancia a la salinidad en alevines de uno y 30 días de edad de tilapia roja *Oreochromis* sp. y del Nilo *O. niloticus*. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 14 p.
- Hernández, O. L 2015. Servicio social: Proyectos ecológicos-productivos como parte de un sistema sustentable en la Asociación Civil "Mateo Quinto". UNAM. Fes Zaragoza. México. 42 p
- INAFED. 2016. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21015a>.
- INAPESCA. Instituto Nacional de Pesca. 2003. Memorias de la Reunión Nacional de Tilapia, 1^{ER} Foro Internacional de Acuicultura, un encuentro con el mercado. Disponible en: <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/1memoriastilapia1.pdf>.
- Jin, S.; Yan X.; Zhang H. y W. Fan. 2015. Weight-length relationships and Fulton's condition factors of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western and central Pacific Ocean. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25699207>).
- Kilham, P. y R. E. Hecky. 1988. Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography*. Sydney, Australia. Pág. 776-795. (En línea). Consultado el 21 de agosto de 2015. Disponible en: http://www.aslo.org/lo/toc/vol_33/issue_4pt2/0776.pdf
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ediciones Omega, Barcelona. 1010 p.
- Martínez, C.; Chávez C. y E. Varsi. 1992. El estado actual de la acuicultura en México, perfiles de nutrición y alimentación. En: *La nutrición y alimentación en la acuicultura de América Latina y el Caribe*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S00.htm#TOC>.
- Migiro, E. y J. Munguti. 2014. The Length-Weight Relationship and Condition Factor of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) Broodstock at Kegati Aquaculture Research Station, Kisii, Kenya. *International Journal of Advanced Research* 2(5): 777-782.

- Monroy, S. 2003. Producción de tilapia en sistemas de recirculación: Caso Sudeste. En: Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación-FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S00.htm#TOC>.
- Morales, 1974 En: Chávez, M. C. 1993. El estado actual de la acuicultura en México y perfiles de nutrición y alimentación. La nutrición y alimentación en la acuicultura de América latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. [http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S00.htm #TOC](http://www.fao.org/docrep/field/003/ab487s/AB487S00.htm#TOC)).
- Moreno, J. L., 2003. Fitoplancton. Pp. 13-40. En: De la Lanza, E. G. (editor). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para Bioindicadores de calidad del agua, AGT Editor, México, D.F.
- Noeske, T. A. y R. E. Spieler. 1984. Circadian feeding time affects growth of fish. Trans. Am. Fish. Soc. 113: 540-544.
- O'Brien, W.J. y Denoyelles, Jr. F. 1976. En Arredondo, J. L. y Ponce, J. T. 1998. Calidad del agua en acuicultura: conceptos y aplicaciones. A.G.T. Editor S.A. México. 169 p
- Pauli, D.M. 1984. En: Gómez-Márquez, J.L.; Cervantes-Sandoval A.; Salgado-Ugarte I-H.; Peña-Mendoza B.; Alejo-Plata M.; Guzmán-Santiago J.L.; Mendoza-Vallejo E. y C. Machuca-Rodríguez. 2016. Temas selectos de Biología Pesquera. FES Zaragoza, UNAM. 344 p.
- Pérez, M. y M. Sáenz. 2015. Crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus* en cultivo Monosexual y Ambos sexos, en sistemas de producción semi - intensivos. Revista Científica de la UNAN-León 6(1): 72-79.
- PIC TILAPIA. 2012. Criterios técnicos y Económicos para la producción Sustentable de Tilapia en México. Comité Nacional Sistema Producto Tilapia. 184 p.
- Poot-López, G., E. Gasca-Leyva y M. Olvera-Novoa. 2012. Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidocolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. Lat. Am. J. Aquat. Res. 40(4): 835-846. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3856/vol40-issue4-fulltext-2>.
- Popma, T. y M. Masser. 1999. Tilapia life history and biology. SRAC Publication No. 283. Southern Regional Aquaculture Center, MSU. Mississippi, United States of America. 4 p.
- Pyneda, M. 2012. Calcular alimento para tilapias (en línea fecha de consulta: 24 marzo 2016). <http://pisciculturaglobal.com/serie-alimento-para-tilapias-calculando/>.
- Quiroz-Castelán, H.; Solís-Pérez O.; García-Rodríguez J.; Molina-Astudillo F. I. y M. Díaz-Vargas. 2006. Variación de componentes fitoplanctónicos en un bordo temporal utilizado para acuicultura extensiva en Norte del estado de Guerrero, México. REDVET 7(11): 1-25.
- Quiroz-Castelán, H.; Molina Astudillo F. I. y A.A. Ortega Salas. 1999. Abundancia y diversidad del fitoplancton en estanques con policultivo de peces, utilizando fertilizantes orgánicos, inorgánicos y combinados. Ciencia y Mar, 3(8): 3.12. Disponible en: <http://www.umar.mx/revistas/8/abundancia.pdf>.
- Ramírez, D. 2011. Panorama de la acuicultura mundial, América latina y el Caribe y en el Perú. Ministerio de la producción. Lima, Perú. Disponible en: (<http://acuiculturaperu.blogspot.mx/>)

- Reynolds, C. S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. United Kingdom. Pag. 384. (en línea). Consultado 22 de agosto de 2015. Disponible en: <http://icesjms.oxfordjournals.org/content/65/8/1475.full>
- Ricker, W.E. 1979. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin Fisheries Research. Board of Canada. 382 p.
- Rodríguez, H. y M. García. 2012. Producción de Tilapia en invierno en el norte de Sinaloa. Una guía práctica para productores. Fundación Produce Sinaloa A.C. 19 p.
- Ruiz, L. A. 2013. Importancia de la Acuicultura en México. Disponible en: http://www.cib.uaem.mx/pdf/importancia_de_la_acuicultura_en_mexico.pdf.
- Saavedra, M. 2006. Manual del cultivo de tilapia. University of Hawái HILO. Managua, Nicaragua. Disponible en: <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2003. Memorias de la reunión nacional de tilapia. Primer foro internacional de acuicultura, un encuentro con el mercado. 263 p.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2012. Criterios Técnicos y Económicos para la producción sustentable de tilapia en México. Proyecto Integral de Capacitación. 184 p.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2016. Impulsa Sagarpa fomento a la acuicultura en México. Comunicado de prensa.
- Schwoerbel, J. 1975. Métodos de hidrobiología (biología del agua dulce). 1ª edición, H. Blume Ediciones, Madrid, España. 262 p.
- Subba Rao, D. V. 2006. Why study algae in culture? In: Subb Rao, D.V. (ed.). Algal cultures analogues of blooms and applications. Science Publishers, Enfield, USA. Pp. 1-32.
- Tacon 1988 en FAO Tilapia del Nilo, fertilización y fertilizantes. Disponible en: <http://www.fao.org/fishery/affris/perfiles-de-las-especies/nile-tilapia/fertilizantes-y-fertilizacion/es/>
- Talavera, V, Zapata L.M. y D. Sanchez, 1998. Influencia del pH sobre organismos acuáticos. NICOVITA. Disponible en: http://www.nicovita.com/extranet/Boletines/jul_98_03.pdf
- Vega-Villasante, F. F, Cortés Lara M. del C., Zúñiga-Medina L. Ma., Ceballos Barbarito J., Galindo-López J., Basto-Rosales R. Mao Ernesto & H. Nolasco-Soria.2010. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México? REDVET 11(3). Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040410/041010.pdf>.
- Wetzel, R. G. & G. R. Likens, 2000. Limnological Analyses. Springer Verlag, Nueva York, 429 p.
- Wetzel, R. 2001. Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem. Tercera edición. Academic Press, Philadelphia, 1006 p.
- Wurts, W. A. y R. M. Durborow. 1992. Interactions of pH, carbon dioxide, alkalinity and hardness in fish ponds. SRAC, Publication No. 464.
- Yang, A. 2013. Cómo criar tilapias en tanques y estanques. Disponible en: (www.ehowen.espanol.com/criar-tilapias-en-estanques-como_140462/).

