

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS LOMA BONITA

INGENIERÍA EN ACUICULTURA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIEMPOS DE INICIO DEL
PERIODO DE HORMONADO EN LA PROPORCIÓN DE SEXOS
DE LA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ACUICULTURA

PRESENTA:

JOSÉ MANUEL RAMÍREZ OCHOA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN PABLO ALCÁNTAR VÁZQUEZ

Loma Bonita, Oaxaca, Noviembre de 2020



Universidad del Papaloapan

FECHA:	30 de Noviembre del 2020
AREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/130/2020
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

C. José Manuel Ramírez Ochoa

PRESENTE:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Evaluación de diferentes tiempos de inicio del periodo de hormonado en la proporción de sexos de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)** así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú


MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico.



C.e.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.e.p. M.C. Raúl Moreno de la Torre. Jefe de carrera de la Ingeniería en Acuicultura
C.e.p. Dr. Juan Pablo Alcantar Vázquez. Director de Tesis.
C.e.p. Archivo.



Universidad del Papaloapan

Terra Uberrima, Mens Aperta

Ingeniería en Acuicultura

Oficio No. JCIA/085/20

Asunto: Jurado de Examen profesional
Loma Bonita, Oaxaca, a 26 de noviembre de 2020

M. E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL
JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
P R E S E N T E

Por medio del presente, informo a usted la conformación del Jurado del Examen Profesional de el C. **JOSÉ MANUEL RAMÍREZ OCHOA** (número de matrícula **15040065**), egresado de la Carrera de **INGENIERÍA EN ACUICULTURA** de la Universidad del Papaloapan.

Titulares:

Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez.- Presidente.
Dr. José Manuel Juárez Barrientos.- Secretario.
Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez.- Vocal.

Suplentes:

M. C. Raúl Moreno de la Torre.- Primer suplente.
M. C. Daniel Calzada Ruiz.- Segundo suplente.

Sin más por el momento y agradeciendo su atención a la presente, le envío un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e:
terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama chí jí jú

M. C. Raúl Moreno de la Torre
Jefe de la Carrera de
Ingeniería en Acuicultura



Vo. Bo. M. C. Héctor López Arjona
Vice-Rector Académico

c.c.p. M. C. Héctor López Arjona.- Vice-Rector Académico.
c.c.p. Dr. Juan Pablo Alcántar Vázquez.- Director de tesis.- M/fin.
c.c.p. Archivo.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, un profesor muy capaz y con mucha experiencia. Su apoyo en todo momento fue en verdad excepcional, siempre empeñado en hacer un excelente trabajo y en enseñarme como hacer las cosas bien. Muchas gracias por todo el conocimiento y experiencias compartidas.

A cada uno de los profesores que me impartieron clases durante la carrera. Para bien o para mal, aprendí mucho de todos y solo me llevo lo mejor de cada uno, sus enseñanzas y sus lecciones sé que me ayudarán para ser un mejor profesional.

A la UNPA, que realmente se convirtió en mi segundo hogar. Me llevo los mejores recuerdos que he vivido hasta el momento de esta gran institución, gracias por abrirme sus brazos y recibirme con un gran nivel de estudios.

A cada uno de mis compañeros de carrera y amigos, gracias por siempre brindarme apoyo moral y muchas alegrías. A Iraís por ser más que una amiga y estar a mi lado dándome consejos y apoyo en las buenas y en las malas.

Finalmente, y para cerrar con broche de oro. Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias, gracias por brindarme el conocimiento necesario para cumplir con esta meta y por acompañarme en cada instante durante la carrera. Gracias por darme este regalo tan grande.

DEDICATORIA

Este logro solo se lo puedo dedicar a mi familia...

A mis padres, los pilares más fuertes que tengo en la vida, jamás habría llegado hasta estas instancias si no fuera por ustedes. Su apoyo incondicional en las buenas y en las malas, cada uno de sus consejos, cada uno de sus regaños, cada una de las palabras motivadoras que me han dado desde que tengo memoria me han hecho llegar hasta donde estoy ahora. Me han regalado una infinidad de alegrías y ahora una más, pues esto jamás lo habría logrado sin su apoyo. A mi mamá y a mi papá... Los amo.

A mi hermana, quien también ha estado a mi lado desde el primer instante, apoyándome en todo sentido. Fuiste mi modelo a seguir y estaré eternamente agradecido contigo por todo lo haces por mí. Te amo, gracias por ser la mejor hermana que existe.

A toda mi familia, a mi abuelita en especial quien jamás ha dejado de darme amor y consejos, a todos y cada uno les dedico este logro. Dios me dio una gran familia y siempre serán mi fortaleza más grande.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- MARCO TEÓRICO	4
2.1 Producción de tilapia del Nilo	4
2.2 Características reproductivas de la tilapia del Nilo	4
2.3 Técnicas para la obtención de cultivos monosexo	5
2.4 Descripción de los andrógenos	7
2.5 Masculinización	8
3.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
4.- JUSTIFICACIÓN	12
5.- ANTECEDENTES	14
6.- OBJETIVOS	17
6.1 Objetivos específicos	17
7.- MATERIALES Y MÉTODOS	18
7.1 Ubicación del experimento	18
7.2 Alevines	18
7.3 Diseño experimental	18
7.4 Desarrollo del experimento	19
7.4.1 Alimento hormonado	19
7.4.2 Siembra	19
7.4.3 Alimentación de los alevines	19

7.4.4	Análisis de proporción de sexos	20
7.4.5	Evaluación del crecimiento	20
7.4.6	Supervivencia	21
7.4.7	Análisis estadístico	22
8.-	RESULTADOS	23
8.1	Crecimiento de los alevines	23
8.2	Proporción de sexos y supervivencia final	26
9.-	DISCUSIÓN	27
10.-	CONCLUSIÓN	33
11.-	RECOMENDACIONES	34
12.	BIBLIOGRAFÍA	35

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Resumen de trabajos hechos en tilapias sobre reversión sexual.	15
Cuadro 2. Peso húmedo (g) y longitud total (cm) durante los 45 días de experimentación de crías de tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra.	24
Cuadro 3. Biomasa ganada (BG), factor de conversión alimenticia (FCA), tasa de crecimiento diario (CD) y factor de condición (FC) obtenidos en crías de tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra. Promedio \pm error estándar.	25
Cuadro 4. Proporción de sexos y supervivencia final (SF) de crías de tilapia del Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura química de la fluoximesterona (Gennaro, 2003).	8

RESUMEN

En la región del Papaloapan existe un gran potencial para el crecimiento de la industria acuícola, en especial para la producción de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), esto gracias a las condiciones ambientales, las cuales, son óptimas para el desarrollo del cultivo a gran escala. No obstante, el estado de Oaxaca actualmente produce cerca de 2,800 toneladas al año, lo que lo ubica en el lugar número 15 a nivel nacional. Esta producción no corresponde con su potencial acuícola, que es de 80,000 toneladas anuales, esto debido a la presencia de grandes embalses de agua. A causa de lo anterior, resulta de vital importancia el incentivar el cultivo de tilapia del Nilo en el estado, aunado a las mejoras biotecnológicas necesarias para la mejorar de su producción. En este sentido, uno de los principales problemas a resolver, es la disminución en el uso de hormonas aplicadas en la producción de la tilapia del Nilo, evaluando de manera precisa los tiempos de inicio del periodo de hormonado. El objetivo principal de este trabajo, fue evaluar la proporción de machos y el crecimiento obtenido en la tilapia del Nilo alimentada con el esteroide fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio del periodo de hormonado durante el periodo de alevín. Para ello se evaluaron cinco tiempos de inicio de hormonado diferentes (al día 1, 3, 6, 9 y 12) en una población mixta (machos y hembras) de tilapia del Nilo. Para cada tratamiento y grupo testigo se utilizaron tres réplicas. Los alevines fueron sembrados a una densidad inicial de 0.5 alevines·L⁻¹ en un sistema de recirculación compuesto por 15 acuarios de 85 L de capacidad conectados a un filtro mecánico y un filtro de bio-bolas. El experimento consistió en 45 días de cultivo. Para la determinación de sexos se empleó la técnica de squash. La evaluación del crecimiento se realizó con base en el peso húmedo y a la longitud total obtenida a partir de cada biometría. Los resultados obtenidos mostraron una reversión sexual hasta del 92% en los peces alimentados desde el día uno con el esteroide. En lo que respecta a los índices de crecimiento, de manera general los grupos tratados con el esteroide mostraron un crecimiento estadísticamente similar al grupo testigo. Estos resultados indican que es necesaria la administración de la hormona desde el día uno para lograr obtener un porcentaje alto de reversión, además se demuestra que el esteroide suministrado no tiene un efecto negativo sobre la tasa de crecimiento de los alevines.

Palabras clave: Tilapia del Nilo, fluoximesterona, tiempo de inicio, crecimiento.

ABSTRACT

In the Papaloapan region there is great potential for the growth of the aquaculture industry, especially for the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), thanks to the environmental conditions, which are optimal for the development of its culture to big scale. However, the state of Oaxaca currently produces about 2,800 tons per year, which places it in 15th place at national level. This production does not correspond to its aquaculture potential, which is 80,000 tons per year, due to the presence of large reservoirs of water. Due to the above, it is of vital importance to encourage the culture of Nile tilapia in the state, together with the biotechnological improvements necessary to improve its production. In this sense, one of the main problems to be solved is the reduction in the use of hormones applied in the production of Nile tilapia, through the accurately evaluation of the onset time of the hormonal period. The main objective of this work was to evaluate the proportion of males and the growth obtained in the Nile tilapia fed fluoxymesterone at different times of initiation of the hormonal period during the fry period. For this, five different hormone initiation times (at day 1, 3, 6, 9 and 12) were evaluated in a mixed population (males and females) of Nile tilapia. For each treatment and control group, three replicates were used. The fry were stocked at an initial density of $0.5 \text{ fry} \cdot \text{L}^{-1}$ in a recirculation system composed of 15 aquaria of 85 L capacity connected to a mechanical filter and a bio-ball filter. The experiment consisted of 45 days of culture. For sex determination, the squash technique was used. The growth evaluation was carried out based on the wet weight and the total length obtained from each biometry. The results obtained showed a sex reversal of up to 92% in the fish fed from day one with the steroid. Growth rates in general, showed similar growth between the groups treated with the steroid and the control group. These results indicate that it is necessary to applied the hormone from day one to achieve a high reversal percentage, additionally, shown that the steroid supplied does not have a negative effect on fry growth rate.

Keywords: Nile Tilapia, fluoxymesterone, onset time, growth.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos mundiales para el año 2050 es alimentar a más de nueve mil millones de personas, esto en un contexto de cambio climático, incertidumbre económica y financiera, además de un aumento en la competencia por los recursos naturales. En la agenda 2030 de la ONU se han fijado objetivos relativos a la contribución y práctica de la pesca y la acuicultura en pro de la seguridad alimentaria y la nutrición, así como en la utilización de los recursos naturales. Lo anterior garantizará un desarrollo sostenible en términos económicos, sociales y ambientales (FAO, 2018).

Desde 1984, la acuicultura ha sido el sector productivo de alimentos con mayor desarrollo a nivel global con un índice general de crecimiento del 11% anual. Hoy en día la actividad acuícola ha aumentado hasta llegar a contribuir en la producción de organismos acuáticos con un 46% de la producción total en el año 2018, con un aproximado de 114.5 millones de toneladas, estimadas en un valor de primera venta de 263,600 millones de USD (FAO, 2020). De ese total, la acuicultura de agua dulce representa más de 50% del total de la producción acuícola mundial (FAO, 2020).

Dentro de la producción reportada, uno de los grupos de peces que más se cultiva es el de las tilapias, ubicándose en el tercer lugar en cuanto a volumen de producción mundial, esto debido a las características biológicas que poseen, las cuales favorecen su producción en masa. En el año 2018, dentro de las especies del género *Oreochromis* (principal género del grupo de las tilapias) la de mayor producción a nivel mundial fue la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con más del 90% del volumen total de producción (FAO, 2020).

La tilapia del Nilo se ha convertido en la especie más importante para la acuicultura debido a que es un pez con gran capacidad de adaptación que presenta elevada resistencia a

enfermedades llegando al peso comercial con pequeño intervalo de tiempo. Además de esto, es una especie rústica, su carne tiene elevada aceptación en el mercado, acepta fácilmente la alimentación artificial y se reproduce en cautividad (Phelps & Cerezo, 1993). Sin embargo, uno de los problemas que presenta la producción de tilapia del Nilo, es que es una especie altamente prolífica capaz de producir quincenalmente 3000 alevines en promedio (Torres & Kobelkowsky, 1991). Esto hace difícil su control reproductivo, resultando en una sobrepoblación, lo que trae como consecuencia la falta de uniformidad de tallas al final del periodo de cultivo y una disminución de la ganancia de peso, esto a causa de que una gran cantidad de energía la dirigirán a las actividades reproductivas, lo cual afecta de manera negativa la disposición de energía para el crecimiento (Tran *et al.*, 2011).

Para contrarrestar lo anterior, se utilizan diferentes técnicas de control de cultivo entre las cuales destacan los cultivos de un solo sexo (cultivos monosexo), con los cuales se busca evitar y/o reducir la maduración precoz de los organismos; para conseguir esto la reversión sexual mediante hormonas ha sido una de las técnicas más exitosas, y actualmente es una de las más utilizadas a nivel comercial (Jiménez & Arredondo, 2000; Daza *et al.*, 2005; Vidal *et al.*, 2010; Alcántar-Vázquez *et al.*, 2014).

En la producción comercial de tilapia del Nilo la reversión sexual mediante esteroides masculinizantes (andrógenos) ha permitido obtener poblaciones monosexo, ya que sin importar el sistema de determinación sexual, la aplicación de hormonas exógenas altera el fenotipo de los peces y con ello sus características sexuales, incluyendo la diferenciación gonadal; en general, esta técnica produce en la tilapia del Nilo poblaciones monosexo, compuestas por machos en un porcentaje superior al 99.8% (Daza *et al.*, 2005). Esto finalmente se reflejará en una mayor rentabilidad de las granjas productoras de *O. niloticus*

gracias a la mayor tasa de crecimiento que presentan los machos con respecto a las hembras, además de eliminar el comportamiento sexual y territorial, así como el gasto de energía que estas conductas conllevan para los organismos cultivados (Ponzoni *et al.*, 2005).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Producción de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en México.

En la actualidad México produce el 25% de tilapia del Nilo en América latina y entre los principales estados de producción se encuentran: Chiapas (40 mil 450 toneladas), Jalisco (34 mil 120 toneladas), Sinaloa (17 mil 438 toneladas), Nayarit (14 mil 698 toneladas) y Michoacán (13 mil 526 toneladas) (CONAPESCA, 2018).

Oaxaca por su parte se encuentra en el lugar número 15 a nivel nacional, con una producción aproximada de 2 mil 800 toneladas anuales; siendo la Cuenca del Papaloapan la de mayor productividad, con una capacidad instalada de mil 862 jaulas flotantes en los embalses de las presas “Miguel Alemán” y “Miguel de la Madrid” con una producción de 2 mil 200 toneladas anuales (INAPESCA, 2018).

2.2 Características reproductivas de la tilapia del Nilo.

La tilapia del Nilo (*O. niloticus*) (Linnaeus, 1758) pertenece a la familia Cichlidae, presentando características muy marcadas de los cíclidos, su distribución original fue al sur de África central, y desde mediados del siglo XX comenzó su distribución a otros países, gracias a esto hoy en día la especie se puede encontrar en todo el mundo; además presenta un elevado valor comercial lo cual ha favorecido su colonización a lo largo de todo el planeta. Dentro del grupo de las tilapias, la tilapia del Nilo ha mostrado el mejor desempeño reproductivo, así como la mayor tasa de crecimiento y supervivencia (Macaranas *et al.*, 1997).

Por otro lado, el rápido crecimiento de la tilapia del Nilo en aguas tropicales se debe también a su facilidad de reproducción en cautiverio, siendo una especie precoz que se puede

reproducir a lo largo de todo el año (bajo condiciones de temperatura y fotoperiodo adecuadas), así como la producción de alevines, que puede ser llevada a cabo en un amplio rango de ambientes (Cnaani & Hulata, 2008). Las Crías de la tilapia del Nilo alcanzan una madurez sexual entre los 2 y 3 meses, pudiendo reproducirse cada 3-4 semanas. Las hembras por su lado muestran un cuidado parental, manteniendo los huevos incubados en la boca hasta la eclosión de los mismos, por lo cual detienen su alimentación, retrasando significativamente el tiempo necesario para alcanzar la talla comercial (Macaranas *et al.*, 1997). Estos problemas de reproducción precoz y retraso en el crecimiento han podido ser resueltos desde la década de los 60 gracias a la obtención de cultivos monosexo (Phelps & Popma, 2000).

2.3 Técnicas para la obtención de cultivos monosexo.

Fenotípicamente el sexo de los peces no se encuentra definido al 100%; por tal motivo la manipulación de algunos factores externos como la temperatura, el comportamiento social o la extirpación quirúrgica de las gónadas en algunas especies pueden inducir a una reversión sexual. Hoy en día existen diferentes métodos para reducir o en algunos casos evitar la maduración sexual precoz y con esto el retraso en el crecimiento observado en la tilapia del Nilo en condiciones de cultivo, reduciendo los problemas causados por la sobrepoblación en los estanques. No obstante estos métodos varían en su porcentaje de efectividad o bien en su complejidad para poder ser implementadas a gran escala. A continuación se enlistan algunos de estos métodos.

a) Sexado manual; este consiste en separar machos de hembras y cultivarlos en estanques separados, sin embargo este es un trabajo laborioso que necesita un largo tiempo de implementación (Daza *et al.*, 2005).

b) Introducción de depredadores; consiste en colocar dentro de los estanques de cultivo especies carnívoras como la carpa (*Cyprinus carpio*), la perca del Nilo (*Lates niloticus*), la lobina (*Micropterus salmoides*) y la tenguyaca (*Petenia splendida*), esto para que se alimenten de las crías de las tilapias y se mantenga el nivel de la población en los estanques (Jiménez & Arredondo, 2000).

c) Realizar cultivos con altas densidades o dentro de jaulas flotantes con el fin de retrasar la maduración y hacer físicamente imposible la fertilización de los huevos (Daza *et al.*, 2005).

d) Producción de híbridos resultados de la cruce entre especies de tilapia, reflejando altos porcentajes de machos, por lo cual es posible establecer cultivos monosexo (Jiménez & Arredondo, 2000).

e) La manipulación genética con el fin de producir organismos estériles (haploides, triploides y poliploides) es una alternativa en la actualidad, sin embargo, aún se requieren más estudios en la tilapia del Nilo para que esta técnica sea comercial (Arias-Rodríguez & Páramo-Delgadillo, 2001).

f) Finalmente, la reversión sexual o masculinización mediante la implementación de hormonas exógenas es reconocida desde hace años como la técnica más eficiente para la producción de poblaciones monosexo.

Estas hormonas se aplican inmediatamente después de la eclosión, principalmente a través de las dietas comerciales, con el fin de evitar la diferenciación sexual natural por parte de los peces, permitiendo obtener hasta un 99.8% de machos en la población (Hurtado, 2005; Daza *et al.*, 2005).

2.4 Descripción de los andrógenos.

Las hormonas sexuales las conforman los andrógenos y los estrógenos; profundizando en los primeros, los andrógenos son las hormonas sexuales de los machos segregadas por los testículos, sin embargo, también pueden ser producidas por los ovarios en las hembras (androstenediona). A estas hormonas corresponden la testosterona, la androsterona y la androstenediona (Amado & Flores, 2003).

Estas hormonas esteroideas cumplen la función de estimular el desarrollo de los caracteres sexuales primarios y secundarios en los machos, así como iniciar la maduración de los gametos y estimular el crecimiento somático; mientras que en las hembras intervienen en el comportamiento reproductor (Marcillo & Landívar, 2000).

La testosterona, que es la hormona principal de los andrógenos, se compone por 19 átomos de carbono y dos grupos metilo en las posiciones C18 y C19, un doble enlace entre el C4 y C5, así como un grupo hidroxilo en el C17. Por otro lado entre los derivados sintéticos más utilizados se encuentran las 17α -metiltestosterona y la fluoximesterona, presentando como característica principal el conservar su acción androgénica al ser ingeridas vía oral (Amado & Flores, 2003). Químicamente, la fluoximesterona deriva de la metiltestosterona con un átomo de flúor en el carbono 9 (figura 1).

En el caso de la fluoximesterona, de acuerdo a Moreno *et al.* (2003) puede ser utilizada con el mismo propósito, presentando un efecto más potente que la 17α -metiltestosterona, pues en su trabajo registró una eficiencia del 95% en la reversión sexual de machos implementando una dosis oral de 5 mg por kilogramo de alimento.

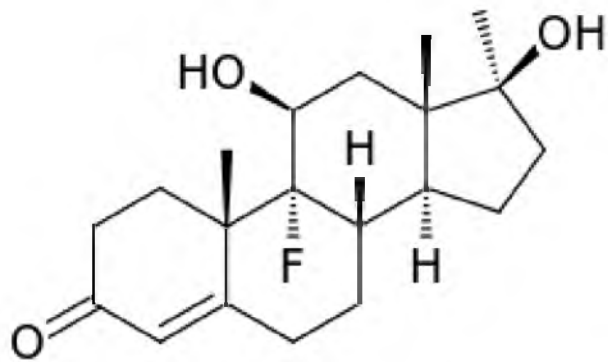


Figura 1. Estructura química de la fluoximesterona (Gennaro, 2003).

2.5 Masculinización.

En el caso de la tilapia del Nilo, la inclusión de andrógenos en el alimento balanceado es actualmente el método más empleado para lograr la reversión sexual; suministrado las hormonas anteriormente mencionadas durante el periodo de alevín (Vera-cruz *et al.*, 1996).

Esta masculinización será efectiva cuando los andrógenos se aplican antes de que los alevines lleven a cabo una diferenciación sexual, que es cuando presentan un peso aproximado de 0.01 g y una longitud menor a 10 mm (Enríquez *et al.*, 2004), pues al sobrepasar estas tallas su tejido gonadal comienza a diferenciarse y la efectividad de las hormonas disminuye. Dado lo anterior, Guerrero & Shelton (1974) reportan que la talla óptima para suministrar las hormonas es a los 11 mm de longitud, presentando una efectividad del 96%.

Por otro lado, Wang & Tsai (2000) establecen que en cuanto a la edad, la masculinización debe iniciarse antes de los 10 días desde la eclosión, pues es alrededor de este tiempo que se comienzan a diferenciar en machos o hembras.

Lo anterior significaría que la duración de los tratamientos de masculinización que se implementan actualmente pueden estar sobreestimando el tiempo que se necesita para lograr una masculinización inducida del 100%, causando un mayor gasto de hormona, reflejado en un incremento de los costos, así como un incremento en el trabajo de los productores (pues al masculinizar se debe de alimentar cada hora) y un mayor impacto en los cuerpos de agua, provocado por los efluentes liberados por las granjas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento constante de la población y la demanda continua de alimento rico en proteína de origen animal, ha propiciado la búsqueda de alternativas para la producción de alimento. El cultivo de peces, como la tilapia del Nilo representa una buena opción debido a que esta especie es de fácil adaptación, es resistente al manejo y a las enfermedades además de presentar un crecimiento rápido, elevada productividad y una buena conversión alimenticia, lo cual la hace una especie buena para su explotación en cultivo. Sin embargo, tiene la desventaja de ser una especie sexualmente precoz.

La maduración a temprana edad de la tilapia del Nilo causa, además de un descenso en el crecimiento de los organismos, una sobrepoblación dentro del estanque, ocasionando una disminución en los parámetros de calidad del agua, así como un mayor consumo en el oxígeno disuelto, mayor liberación de amonio y un incremento en la acumulación de heces; sumado a todo esto, aumenta la competencia por el alimento provocando tallas heterogéneas, más estrés para los peces y una mayor exposición a la aparición de enfermedades. Para evitar los problemas antes mencionados la masculinización mediante esteroides sexuales es la técnica más recomendable en los cultivos comerciales.

Hoy en día, la aplicación de hormonas exógenas es reconocida como el método más eficiente para obtener cultivos monosexo dentro de la producción de *O. niloticus*. Esta técnica consiste en revertir el sexo mediante la implementación de hormonas a través de las dietas comerciales suministradas a los alevines inmediatamente después de la eclosión.

Una de las hormonas más implementadas para llevar a cabo la reversión sexual es la fluoximesterona, pues ha presentado excelentes resultados y tiene la ventaja de ser un

fármaco de fácil obtención y de bajo costo. Sin embargo, la creciente preocupación por grupos ambientalistas debido al uso de grandes volúmenes de esteroides sexuales que se acumulan en los cuerpos de agua cercanos a las granjas ha convertido a la reversión sexual en un tema controvertido.

Por lo anterior, es necesaria la búsqueda de nuevos protocolos para la optimización de los procesos de reversión sexual, buscando optimizar el uso del esteroide sexual, manteniendo los mismos rendimientos, tanto en proporción de machos como en crecimiento al final del periodo de reversión.

4. JUSTIFICACIÓN

En la región del Papaloapan a pesar de contar con la presencia de grandes embalses de agua, solo cuenta con una producción anual de aproximadamente 2,800 toneladas de tilapia del Nilo; colocando al estado de Oaxaca en el lugar número 15 en producción a nivel nacional. Lo anterior contrasta con las 80,000 toneladas que se estima podrían producirse, pues además de contar con grandes cuerpos de agua, la región presenta las condiciones climáticas adecuadas para la producción en masa de la tilapia del Nilo (SAGARPA, 2018).

Dentro de este contexto, en los últimos años la sustentabilidad en la producción de la tilapia del Nilo ha sido una de las tendencias principales, pues la implementación de un gran volumen de esteroides sexuales para la masculinización ha causado preocupación por parte de grupos ambientalistas, que se enfocan en la acumulación de esteroides sexuales dentro de los cuerpos de agua como ríos y lagos. Para compensar esto, se ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas y la optimización de algunas ya existentes, como la reversión sexual mediante esteroides sexuales, para que generen los mismos resultados pero con una reducción significativa en el uso de estas hormonas.

Uno de los puntos clave para reducir la cantidad de esteroides sexuales suministrados durante el proceso de reversión sexual es la evaluación precisa de los tiempos de inicio del hormonado. Una reducción en el tiempo de tratamiento hormonal representaría grandes ventajas no solo para los productores, reduciendo los costos de producción en las granjas de alevines, sino también para el medio ambiente disminuyendo las concentraciones de hormonas en los efluentes, además de que mejora la percepción del mercado.

Debido a esto es de suma importancia analizar a detalle los porcentajes de machos obtenidos a diferentes tiempos de inicio del tratamiento hormonal, así como el efecto de los esteroides sexuales sobre la tasa de crecimiento, la conversión alimenticia y la supervivencia de los alevines.

5. ANTECEDENTES

Los trabajos sobre reversión sexual han sido ampliamente desarrollados por diversos investigadores a través del tiempo y en varias especies, incluyendo peces, anfibios y aves (Hurtado, 2005). Los primeros intentos de inversión sexual en peces tuvieron lugar en los años treinta (Yamamoto, 1953).

La reversión sexual ha sido lograda, gracias al conocimiento preciso de los esteroides sexuales tanto andrógenos, como estrógenos, así como de los mecanismos de determinación sexual (gonocorismo y hermafroditismo) de las especies que han servido como objeto de experimentación (Nakamura & Takahashi, 1973; Yoshikawa, 1978).

Los trabajos en tilapias (Cichlidae) han sido hechos con los géneros de *Tilapia* y *Oreochromis*, con el fin de lograr una producción elevada de biomasa y conocer al detalle el desarrollo gonádico de algunas especies en las que se ha logrado la inversión. Los primeros intentos de producir tilapias de un solo sexo, son los hechos por Hickling (1960), por medio de la hibridación; continuando posteriormente Wohlfart y Hulata (1981), quienes han informado sobre especies que al cruzarse producen un 100% de machos.

Al mismo tiempo que la hibridación, se desarrollan los trabajos sobre inversión sexual a través del uso de esteroides para producir individuos monosexo. El cuadro 1 se hace una síntesis de los trabajos hechos en tilapias sobre reversión sexual.

Los mayores aportes hechos sobre reversión sexual en tilapias han sido por Shelton *et al.* (1981) que han generado técnicas especiales de preparación de alimento con hormonas y de preparación de gónadas de tilapias muy jóvenes para tener resultados de la inversión en tres o cuatro meses.

Cuadro 1. Resumen de trabajos hechos en tilapias sobre reversión sexual.

AUTOR Y FECHA	ESPECIE	ESTEROIDE Y DOSIS (mg/kg de alimento)	TIEMPO (días)	RESULTADO
Shelton <i>et al.</i> 1981	<i>O. aureus</i>	MT 60	16 – 19 – 21 – 28	83 – 93 % 98 – 97 %
Owusu-Frimpong & Nijjhar 1981	<i>O. niloticus</i>	MT 50	24 – 42	100 – 100 %
Macintosh <i>et al.</i> 1985	<i>O. mossambicus</i>	MT 30	30 – 60	79 – 94 %
Moreno 1985	<i>O. mossambicus</i>	MT 60	21	96 – 100 %
Pérez 2002	<i>O. niloticus</i>	MT 60	30	97 %
Arboleda & Duván 2005	<i>O. mossambicus</i>	MT 60	30	90 %
López <i>et al.</i> 2007	<i>O. niloticus</i>	F 5	35	95 %
Torres-Hernández <i>et al.</i> 2010	<i>O. niloticus</i>	F y T 2.5	30	93 – 63 %
Almeida 2014	<i>O. niloticus</i>	MP y TA 60	30	98 – 59 %
Pachacama & Miguel 2015	<i>Oreochromis spp</i>	MT 60 – 80 – 100	30	96 – 99 – 100 %
Ordóñez 2017	<i>O. niloticus</i>	MT 0.5 – 1.0 – 1.5 – 2.0 – 2.5	10 – 12 – 14	47 – 59 – 64 – 65 – 66 %

*MT = 17alfa-metiltestosterona *F = Fluoximesterona *T = Testosterona enantato

*MP = Mesterolona Proviron *TA = Testosterona andriol

Con respecto al uso de la fluoximesterona (FM) en la tilapia del Nilo, existen pocos trabajos. Phelps *et al.* (1992) probaron la hormona FM en dosis de 0.2, 1.5 y 25 mg / kg de alimento, encontrando una producción de 100% machos en las concentraciones de 1.5 y 25 mg. Más recientemente, Torres-Hernández *et al.* (2010), encontraron que una dosis de 5 mg de FM aplicada mediante inmersión permite obtener hasta 100% de machos.

Finalmente, la reversión sexual exitosa se ha logrado gracias al conocimiento preciso de los esteroides sexuales empleados, sin embargo, actualmente aún se están mejorando estas técnicas. En años recientes, la investigación para conseguir poblaciones monosexo se ha inclinado a buscar nuevas alternativas que permitan maximizar el porcentaje de organismos revertidos implementando la menor cantidad de hormonas posibles (Hurtado, 2005).

6. OBJETIVOS

Evaluar la proporción de machos y el crecimiento obtenido en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada a diferentes tiempos de inicio con fluoximesterona durante el periodo de alevín.

6.1 Objetivos específicos

1. Evaluar la proporción de machos obtenida en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada a diferentes tiempos de inicio con fluoximesterona durante el periodo de alevín.
2. Evaluar el crecimiento obtenido en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con fluoximesterona alimentada a diferentes tiempos de inicio con fluoximesterona durante el periodo de alevín.
3. Evaluar la supervivencia obtenida en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentada con fluoximesterona alimentada a diferentes tiempos de inicio con fluoximesterona durante el periodo de alevín.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Ubicación del experimento.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio acuícola, perteneciente a la Universidad del Papaloapan (UNPA) campus Loma Bonita, Oaxaca, localizado en las coordenadas 18°06' latitud norte y 95°53' longitud oeste, a una altura de 30 msnm.

7.2 Alevines.

Se adquirieron 600 alevines con saco vitelino de tilapia del Nilo, estos se obtuvieron de la granja “Unidad de producción del Tesechoacan”, La Cuatezona, Veracruz. Los alevines se trasladaron al laboratorio acuícola de la UNPA en una bolsa de plástico transparente con oxigenación. A su llegada al laboratorio, se aplicó un tratamiento de sal (> 35 ups) durante 10 minutos aproximadamente con el fin de evitar la introducción de parásitos externos al sistema experimental. De igual manera se evitaron cambios bruscos de temperatura (> 1°C).

7.3 Diseño experimental.

Se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado de un factor (día de inicio de alimentación con alimento hormonado). Los niveles del factor fueron cinco tiempos de inicio de hormonado (1, 3, 6, 9 y 12 días) además de un tratamiento testigo (sin hormonado) en una población mixta (hembras y machos) de *O. niloticus* variedad Isaluma. La duración del periodo de hormonado fue de 25 días. Se utilizaron tres réplicas por tratamiento.

Para el experimento se empleó un sistema de recirculación compuesto por 15 acuarios de acrílico con capacidad de 85 L cada uno, dos filtros, uno mecánico y un bio-filtro compuesto por bio-bolas. El experimento consistió en 45 días de cultivo en los acuarios.

7.4 Desarrollo del experimento

7.4.1 Alimento hormonado

Para realizar la masculinización se utilizó alimento hormonado comercial tipo harina Purina Nutripec (53% proteína). El alimento se preparó de la siguiente manera; se pesaron 5 mg de la hormona fluoximesterona utilizando una balanza analítica y posteriormente se diluyó en 500 mL de alcohol etílico. Una vez disuelta la hormona, esta se incorporó a un kg del alimento comercial mediante un atomizador de plástico de 500 mL. El alimento se dejó secar por aproximadamente cuatro horas, y finalmente se almacenó en refrigeración (4°C) en un recipiente de plástico.

7.4.2 Siembra

Previo a la siembra se aplicó a los alevines un baño de sal en agua a concentración hipersalina (mayor a 30 ups). Posteriormente, los alevines fueron sembrados a una densidad de 0.4 alevines L⁻¹ en acuarios de 85 L de capacidad. Cada tratamiento estuvo compuesto por tres réplicas. Se estableció un fotoperiodo de 12L: 12O y se registró la temperatura del agua diariamente para determinar la temperatura promedio a lo largo del experimento.

7.4.3 Alimentación de los alevines

Los alevines de los grupos: 1, 3, 6, 9 y 12 iniciaron su alimentación con alimento hormonado al primer, tercer, sexto, noveno y doceavo día de su llegada al sistema, respectivamente, suministrando el 10% de alimento con respecto a la biomasa total del acuario hasta el día 45

del experimento; al tratamiento testigo se le suministró el alimento sin hormona desde el primer día. El flujo de aire y agua dentro de los acuarios se cerró 10 minutos antes de alimentar y durante 15 minutos después de agregar el alimento, para facilitar el consumo por parte de los alevines. La alimentación se llevó a cabo cada dos horas (08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00) realizando sifoneos y recambios de agua constantes con el fin de extraer los residuos del alimento no ingerido y las heces, esto con el fin de prevenir posibles infecciones debido al incremento de la carga bacteriana. Finalmente, se evaluó la concentración de amonio una vez por semana.

7.4.4 Análisis de proporción de sexos.

Para la determinación de sexos en cada una de los tratamientos se implementó la técnica de squash propuesta por Guerrero y Shelton (1974), esta consistió en extraer la gónada del pez para hacer una fijación en un porta-objetos en el cual se colocó la gónada, se le agregó acetocarmin (HYCEL) y posteriormente se maceró con la ayuda de un cubre-objetos para romper y observar su estructura interna. El criterio para identificar el sexo de los organismos bajo el microscopio fue el siguiente: Si se observó tejido uniforme con pequeños puntos negros (espermatozonias) se clasificó como macho, mientras que si en el tejido se observaron células grandes y redondas (ovogonias) se clasificó como hembra.

7.4.5 Evaluación del crecimiento.

Se realizaron biometrías cada 15 días, colectando al azar un 25% de la población de cada replica por tratamiento. Estas biometrías se llevaron a cabo tomando una imagen digital para obtener la longitud total usando el software ImageJ, mientras que para el registro del peso húmedo individual se utilizó una balanza digital (Marca Ohaus, Scout, 0 a 600 g).

La evaluación del crecimiento se realizó a partir del peso húmedo y longitud total obtenidos de cada biometría. Las fórmulas utilizadas para calcular los índices de crecimiento se presentan a continuación.

Biomasa ganada (BG):

$$BG = \text{Biomasa final (g)} - \text{biomasa inicial (g)}$$

Factor de conversión alimenticia (FCA):

$$FCA = \frac{\text{Alimento suministrado (g)}}{\text{Peso ganado (g)}}$$

Tasa de crecimiento diario (TCD):

$$TCD = \frac{\text{Longitud final (g)} - \text{Longitud inicial (g)}}{\text{Días de cultivo}}$$

Factor de condición (FC):

$$FC = \frac{\text{Peso húmedo (g)}}{\text{Longitud total}^3 \text{ (cm)}} \times 100$$

7.4.6 Supervivencia

El porcentaje de supervivencia (S) se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\text{peces cosechados}}{\text{peces sembrados}} \times 100$$

7.4.7 Análisis estadístico.

Se verificaron los supuestos de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Levene) para el uso de pruebas estadísticas paramétricas. Las diferencias existentes en peso húmedo y longitud total, así como en supervivencia se evaluaron mediante un análisis de varianza de una vía. Las diferencias entre los tratamientos se compararon mediante una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%. La proporción de machos identificados en cada tratamiento se comparó contra la proporción de machos (1 macho: 1 hembra) esperada en un desove normal mediante una prueba de chi-cuadrada a un nivel de significancia del 99%. Todos los análisis se realizaron en el programa STATISTICA.

8. RESULTADOS.

8.1 Crecimiento de los alevines

Los resultados obtenidos para el peso húmedo y la longitud total durante los 45 días de experimento se encuentran en el cuadro 2. El peso húmedo registró diferencias significativas ($P < 0.05$) a partir del día 30, con los grupos T6 y T12 mostrando valores más altos en comparación con los grupos TC, T1, T3 y T9. Mientras que para el día 45, el grupo T12 mostró los valores significativamente más altos ($P < 0.05$) en comparación con los grupos T3 y T6. No se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los grupos TC, T1 y T9.

En cuanto a la longitud total, solamente se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el día 30, donde el grupo T12 mostró un valor más alto en comparación a los grupos TC, T3 y T9 (Cuadro 2). No se observaron diferencias significativas entre los grupos T1 y T6.

Los resultados obtenidos para los índices de crecimiento se encuentran contenidos en el cuadro 3. Durante los primeros 15 días no se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los grupos para ninguno de los cuatro índices analizados. A los 30 días, la biomasa ganada (BG) del grupo T12 mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en comparación con el grupo testigo, registrando un valor más alto. De igual forma, la tasa de crecimiento diario (TCD) de los grupos T1, T6 y T12 mostraron valores significativamente más altos ($P < 0.05$) en comparación con el grupo testigo. Posteriormente, al día 45, solo se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la TCD, donde el grupo testigo registró el valor más alto en comparación con los grupos T1 y T6.

En lo que respecta al factor de conversión alimenticia (FCA) y el factor de condición (FC) no se observaron diferencias significativas entre los grupos tratados con el esteroide y el grupo testigo, en ninguna de las biometrías realizadas.

Cuadro 2. Peso húmedo (g) y longitud total (cm) durante los 45 días de experimentación de crías de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra.

	TRATAMIENTO					
	TC	T1	T3	T6	T9	T12
Día 0						
PH	0.16±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a	0.11±0.02 ^a	0.10±0.02 ^a	0.12±0.02 ^a	0.11±0.01 ^a
LT	1.56±0.05 ^a	1.54±0.06 ^a	1.54±0.03 ^a	1.51±0.07 ^a	1.54±0.01 ^a	1.50±0.01 ^a
Día 15						
PH	0.88±0.09 ^a	0.76±0.05 ^a	0.74±0.09 ^a	0.84±0.08 ^a	0.77±0.10 ^a	0.79±0.07 ^a
LT	3.14±0.09 ^a	2.81±0.06 ^a	2.85±0.08 ^a	2.88±0.08 ^a	2.85±0.07 ^a	3.12±0.04 ^a
Día 30						
PH	1.65±0.20 ^b	2.37±0.23 ^b	2.21±0.10 ^b	2.64±0.19 ^a	2.09±0.11 ^b	3.13±0.17 ^a
LT	4.20±0.07 ^c	5.01±0.01 ^{ab}	4.69±0.09 ^{bc}	5.03±0.18 ^{ab}	4.50±0.01 ^{bc}	5.38±0.16 ^a
Día 45						
PH	8.61±0.49 ^{ab}	7.59±0.43 ^{ab}	7.36±0.44 ^b	7.52±0.55 ^b	8.18±0.42 ^{ab}	9.49±0.48 ^a
LT	7.42±0.15 ^a	7.17±0.12 ^a	7.14±0.21 ^a	7.04±0.22 ^a	7.33±0.08 ^a	7.66±0.02 ^a

Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$). PH: Peso húmedo; LT: Longitud Total. TC = tratamiento testigo, T1 = Alimentado con el esteroide al día 1, T3 = Alimentado con el esteroide al día 3, T6 = Alimentado con el esteroide al día 6, T9 = Alimentado con el esteroide al día 9, T12 = Alimentado con el esteroide al día 12.

Cuadro 3. Biomasa ganada (BG), factor de conversión alimenticia (FCA), tasa de crecimiento diario (CD) y factor de condición (FC) obtenidos en crías de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra. Promedio \pm error estandar.

Índice	TRATAMIENTO					
	TC	T1	T3	T6	T9	T12
DÍA 15						
BG	29.43 \pm 2.8 ^a	26.24 \pm 2.79 ^a	25.71 \pm 2.99 ^a	30.95 \pm 2.75 ^a	26.97 \pm 3.44 ^a	28.40 \pm 3.46 ^a
FCA	1.01 \pm 0.01 ^a	1.00 \pm 0.21 ^a	0.80 \pm 0.07 ^a	0.58 \pm 0.13 ^a	0.83 \pm 0.16 ^a	0.73 \pm 0.14 ^a
TCD	0.10 \pm 0.010 ^a	0.08 \pm 0.009 ^a	0.09 \pm 0.013 ^a	0.09 \pm 0.005 ^a	0.09 \pm 0.007 ^a	0.11 \pm 0.004 ^a
FC	2.87 \pm 0.38 ^a	3.49 \pm 0.46 ^a	3.17 \pm 0.12 ^a	3.57 \pm 0.50 ^a	3.36 \pm 0.47 ^a	2.63 \pm 0.40 ^a
DÍA 30						
BG	28.41 \pm 5.93 ^a	53.60 \pm 8.35 ^{ab}	49.43 \pm 8.53 ^{ab}	56.90 \pm 7.11 ^{ab}	45.39 \pm 11.49 ^{ab}	73.78 \pm 10.41 ^b
FCA	5.86 \pm 2.02 ^a	2.55 \pm 0.24 ^a	2.67 \pm 0.68 ^a	2.57 \pm 0.54 ^a	3.55 \pm 1.41 ^a	1.89 \pm 0.46 ^a
TCD	0.07 \pm 0.016 ^a	0.14 \pm 0.002 ^b	0.12 \pm 0.007 ^{ab}	0.14 \pm 0.013 ^b	0.11 \pm 0.010 ^{ab}	0.15 \pm 0.017 ^b
FC	2.13 \pm 0.10 ^a	1.62 \pm 0.11 ^a	1.95 \pm 0.23 ^a	1.83 \pm 0.33 ^a	2.06 \pm 0.19 ^a	1.74 \pm 0.27 ^a
DÍA 45						
BG	240.62 \pm 16.51 ^a	203.39 \pm 5.61 ^a	196.71 \pm 26.16 ^a	180.96 \pm 35.52 ^a	229.81 \pm 17.64 ^a	240.60 \pm 12.99 ^a
FCA	1.12 \pm 0.09 ^a	1.67 \pm 0.16 ^a	1.68 \pm 0.34 ^a	2.17 \pm 0.44 ^a	1.40 \pm 0.24 ^a	1.177 \pm 0.20 ^a
TCD	0.21 \pm 0.002 ^a	0.14 \pm 0.002 ^b	0.16 \pm 0.008 ^{bc}	0.13 \pm 0.013 ^b	0.19 \pm 0.006 ^{ac}	0.15 \pm 0.010 ^{bc}
FC	1.82 \pm 0.09 ^a	1.94 \pm 0.03 ^a	1.91 \pm 0.03 ^a	1.94 \pm 0.05 ^a	1.91 \pm 0.01 ^a	1.95 \pm 0.04 ^a

Los superíndices con distinta letra en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$). TC = tratamiento testigo, T1 = alimentado con el esteroide al día 1, T3 = alimentado con el esteroide al día 3, T6 = alimentado con el esteroide al día 6, T9 = alimentado con el esteroide al día 9, T12 = alimentado con el esteroide al día 12.

8.2 Proporción de sexos y supervivencia final

Los resultados obtenidos para la proporción de sexos y supervivencia final se presentan en la Cuadro 4. Se observó una proporción de machos significativamente más alta ($P < 0.001$) en los tratamientos T1 y T6. En lo que respecta a la supervivencia final no se observaron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos ($P < 0.05$).

Cuadro 4. Proporción de sexos y supervivencia final (SF) de crías de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alimentadas con fluoximesterona a diferentes tiempos de inicio después de la siembra.

Tratamiento	Proporción de sexos		SF
	Machos	Hembras	%
TC	50	50	92
T1	92 ^a	8	91
T3	63	37	90
T6	67 ^a	33	91
T9	56	44	91
T12	50	50	90

^aSignificativamente diferente ($P < 0.001$) de la proporción de machos esperada.

9. DISCUSIÓN.

En el presente trabajo se emplearon alevines recién eclosionados los cuales contaban aún con saco vitelino, lo cual garantizó que la hormona alcanzara un nivel óptimo en la sangre antes de que se llevara a cabo diferenciación sexual. A este respecto, Mélard (1995) recomienda suministrar el alimento hormonado en un periodo inicial de 12 horas para mejorar la asimilación del esteroide por parte de los alevines. Razón por la cual en el presente trabajo los alevines utilizados se alimentaron 6 veces al día a lo largo de 12 horas, asegurando que el nivel de hormona en la sangre fuera necesario para una reversión sexual completa.

Al término del experimento no se observó un mayor crecimiento en los grupos tratados con fluoximesterona, en comparación con el grupo testigo, lo cual nos indica que no se presentó un efecto anabólico sobre el crecimiento, reportado al utilizar algunos andrógenos (Piferrer, 2001), por parte del esteroide suministrado. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por algunos autores al utilizar fluoximesterona para revertir el sexo en la tilapia del Nilo o especies relacionadas (Guerrero, 1975; Torrans *et al.*, 1988; Phelps *et al.*, 1992; Green y Teichert-Coddington, 1994; Jiménez y Arredondo, 2000; Torres-Hernández *et al.*, 2010). Muy pocos autores han reportado un efecto positivo sobre el crecimiento por parte de la fluoximesterona al finalizar el proceso de reversión hormonal (Manosroi *et al.*, 2004; Gutiérrez-Sigueros *et al.*, 2018). El efecto anabólico resultante del uso de andrógenos en la reversión sexual de la tilapia del Nilo parece ser casi exclusivo de la hormona metiltestosterona (Vera y Mair 1994; Ahmad *et al.*, 2002; El-Saidy *et al.*, 2005; Abdelghany, 2010; Hafeez-ur-Rehman *et al.*, 2014; Ajiboye, 2015). Sin embargo, en algunos experimentos puede ser difícil identificar el efecto anabólico. La mayoría de los estudios que han analizado mejoras en el crecimiento de los peces revertidos sexualmente en comparación

con los no tratados, lo hacen comparando el crecimiento de las poblaciones compuestas exclusivamente por peces machos contra una población sexual mixta, en la cual las hembras presentes muestran una tasa de crecimiento menor. Phelps y Popma (2000) mencionan que cualquier crecimiento mejorado de la tilapia del Nilo tratada con andrógenos está más relacionado con el crecimiento superior de los machos que con la respuesta anabólica relacionada con el aumento de la síntesis de proteínas y el aumento de músculo.

La ausencia de un efecto positivo en el crecimiento por parte de la fluoximesterona también se hizo clara al evaluar los índices de crecimiento. En cuanto a la biomasa ganada (BG), no se observaron diferencias significativas con respecto al grupo testigo. Sin embargo, al igual que para la tasa de crecimiento diario (TCD) se observa una tendencia hacia valores más altos en el grupo testigo. Lo anterior indica que la fluoximesterona no tiene realmente un efecto sobre la tasa metabólica de los organismos durante el periodo de reversión sexual (Beltrán-Álvarez *et al.*, 2010).

El factor de conversión alimenticia (FCA) es un parámetro fundamental para poder evaluar la eficiencia del alimento suministrado a los organismos. Mientras más cercano se encuentre el valor de 1, es más eficiente el factor de conversión alimenticia de los peces (Pachacama y Miguel, 2015). En nuestro trabajo el FCA de los grupos expuestos al esteroide no mostró diferencias significativas en comparación con el grupo testigo, lo cual indica que la fluoximesterona no genera un efecto positivo sobre la tasa de alimentación de los peces. No obstante, aunque no se registraron diferencias significativas, se observa una tendencia hacia valores más altos en los grupos expuestos al esteroide al final del experimento. Alamillo (2001) menciona que el valor óptimo del FCA promedio para un sistema de cultivo de tilapia se debe encontrar entre 1.6 y 1.9, y en el presente trabajo, los valores obtenidos de FCA se

mantuvieron para la mayoría de los grupos, tanto testigo como tratados, dentro de estos rangos durante casi todo el experimento, lo cual nos indica que los peces bajo cultivo y tratamiento hormonal presentaron un buen desarrollo.

En cuanto al factor de condición (FC), este parámetro indica el estado nutricional de los organismos con base en la cantidad de energía disponible para poder realizar las funciones de crecimiento, madurez y reproducción, indicando de manera general el estado de salud de las poblaciones cultivadas (Cifuentes, *et al.*, 2012; Gupta *et al.*, 2012; Leyton *et al.*, 2015). Para la tilapia del Nilo y sus híbridos cultivados bajo condiciones óptimas se han reportado valores cercanos a 2.0 (El-saidy *et al.*, 2005; Gupta *et al.*, 2012; Leyton *et al.*, 2015). El FC también puede ser implementado para evaluar el estado fisiológico de los peces bajo un estrés potencial (Cifuentes *et al.*, 2012), como puede ocurrir en los alevines del tilapia del Nilo alimentados con un andrógeno. En nuestro trabajo, los valores de FC observados en los grupos expuestos al esteroide no mostraron variaciones con respecto al grupo testigo, indicando que los tratamientos se desarrollaron en óptimas condiciones y que el esteroide administrado no alteró el equilibrio metabólico o provocó una disminución de las reservas energéticas de los peces.

El andrógeno implementado en el presente trabajo mostró efectos significativos sobre la composición sexual de los peces en solo dos de los seis tratamientos evaluados (T1 y T6). Sin embargo, solo se puede considerar exitoso, desde el punto de vista comercial, uno de los tratamientos (T1), ya que fue el único que obtuvo un porcentaje de machos mayor al 90%. La implementación del andrógeno desde el primer día de cultivo permitió obtener un alto porcentaje de machos en la población, indicando que la aplicación de la hormona se debe realizar desde el día uno para lograr inducir de forma eficiente un cambio permanente en la

expresión genética de los genes involucrados en la diferenciación sexual de las gónadas. Por otra parte, nuestro trabajo indica que los tratamientos en los que el periodo de hormonado comenzó después del día uno, no tienen un efecto exitoso sobre la proporción de machos obtenidos, arrojando un valor máximo de 67% (T6). A este respecto, Vera-Cruz *et al.* (1996) recomiendan que los alevines tengan un tamaño menor a 10 mm antes de iniciar el proceso de reversión hormonal para asegurar porcentajes cercanos al 100%, mientras que Hiott y Phelps (1993) y Jiménez *et al.* (1998) evaluaron aspectos relacionados con la talla de inicio y el éxito en la reversión sexual, llegando en ambos trabajos a la conclusión que la talla óptima para asegurar un porcentaje cercano al 100% de masculinización es menor a los 11 mm. En nuestro trabajo los alevines utilizados mostraron un tamaño mayor al recomendado (15 mm), lo cual pudo contribuir a reducir la eficiencia del andrógeno al administrarse varios días después de iniciado el cultivo. Sin embargo, es importante mencionar que la talla promedio de las crías se ha ido incrementado conforme la domesticación de la tilapia del Nilo ha avanzado a nivel mundial, lo cual probablemente requiera que las tallas óptimas para iniciar el proceso de reversión sexual sean evaluadas nuevamente, ya que los alevines utilizados en el presente experimento todavía tenían remanentes del saco vitelino al empezar el experimento, lo cual, en teoría, garantiza un inicio del proceso de reversión sexual óptimo.

El método de squash, desarrollado originalmente por Guerrero y Shelton (1974), para poder sexar ejemplares de tilapia azul (*O. aureus*) es hoy en día, una de las técnicas más implementadas cuando se requiere saber con prontitud el porcentaje machos, una vez que se ha definido el tratamiento hormonal a implementar, ya que por lo general se puede utilizar desde alevines. En el presente trabajo, los criterios para definir las gónadas masculinas y femeninas al final del tratamiento con fluoximesterona fueron los utilizados por los mismos

autores. Cuando se observan bajo el microscopio las gónadas y existe la presencia de círculos de gran tamaño nos indicó la presencia de ovocitos, mientras que la presencia de puntos de color rojo oscuro nos indicó la presencia de células espermáticas. Aunque la técnica de squash se puede implementar desde el principio del periodo alevín, en nuestro experimento se decidió realizar la evaluación al final del experimento con la finalidad de poder evaluar mejor el crecimiento obtenido en los grupos tratados con fluoximesterona y evitar posibles errores en la identificación de sexos. De esta manera, nuestra investigación se incorpora a varios estudios previos llevados a cabo en la tilapia del Nilo y especies del mismo género (Guerrero y Shelton, 1974; Varadaraj y Pandian, 1989; Phelps *et al.*, 1999; Wasserman y Bertolla, 2002; López *et al.*, 2007; Santamaría-Miranda, 2012), proporcionando información relevante acerca del tiempo de inicio en el periodo de hormonado, comprobando además la eficacia de esta técnica.

La supervivencia final no mostró diferencias entre el grupo testigo y los grupos expuestos al esteroide, lo cual indica que la fluoximesterona no tuvo efectos negativos en la tasa de supervivencia. Autores como Jiménez-Badillo y Arredondo-Figueroa (2000) y Liñán-Cabello *et al.* (2012) reportan supervivencias finales similares a las observadas en nuestro trabajo (90%). Sin embargo, otros trabajos han reportado tasas de supervivencia aún más bajas que las obtenidas en el presente trabajo, las cuales van desde el 24 al 83% para los grupos expuestos a andrógenos similares (Carranza, 1990; Pérez, 2002; López *et al.*, 2007; Cerritos *et al.*, 2008; Vidal *et al.*, 2010; Botero *et al.*, 2010; Pinza, 2014; Fukushima-Nagaoka *et al.*, 2016), apoyando la idea de que el esteroide implementado en el presente trabajo no afectó negativamente la supervivencia final.

La tasa de supervivencia obtenida al final de un experimento de reversión sexual depende de diferentes factores, como la especie, la concentración en la que se aplica la hormona, el pH, los compuestos nitrogenados y la densidad de siembra (Cerritos *et al.*, 2008). Estos factores pueden influir en la tasa de mortalidad durante el proceso de reversión sexual, así como después de que este termine y hasta el final del experimento. En nuestro trabajo, la mortalidad observada entre los grupos fue de manera general muy parecida, lo cual indica que no hubo variables externas que causaran un efecto negativo sobre la mortalidad en los peces.

Finalmente, Jacqueline (2008) indica que la hormona fluoximesterona es un andrógeno muy eficiente para la reversión sexual de la tilapia del Nilo, en comparación con tratamientos hormonales en donde se implementan otros tipos de esteroides, ya que la hormona es eliminada rápidamente del sistema de los peces, lo cual es de suma importancia para que los consumidores no se preocupen por la acumulación de hormonas en peces destinados al consumo humano, permitiendo así que se mejore el consumo *per capita* de este producto.

10. CONCLUSIONES

- 1.- El esteroide utilizado (fluoximesterona) es eficaz para revertir el sexo en la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).
- 2.- El periodo de tratamiento hormonal debe iniciar desde el día uno para poder inducir una reversión sexual en más de un 90%.
- 3.- El esteroide implementado no presenta un efecto anabólico significativo sobre los parámetros de crecimiento de los peces tratados.
- 4.- El esteroide suministrado no genera un efecto positivo o negativo sobre la tasa de conversión alimenticia.
- 5.- La tasa de supervivencia no se ve afectada de manera significativa por el uso de este esteroide.

11. RECOMENDACIONES

- 1.- Evaluar los mismos tiempos de inicio del periodo de hormonado, utilizando otras líneas genéticas de tilapia del Nilo.
- 2.- Evaluar los mismos tiempos de inicio del periodo de hormonado, utilizando otros andrógenos, como la 17α -metiltestosterona.

12. REFERENCIAS

- Abdelghany, E. A. 2010. Effects of Feeding 17 α -methyltestosterone and withdrawal on feed utilization and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fingerlings. *Journal of Applied Aquaculture*, 5(3): 67-76.
- Ahmad, H. M., Abdel-Tawwab, M., Shalaby, M. E. A. y Khattab, A. E. Y. 2002. Effects of 17 α -methyltestosterone on growth performance and some physiological changes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. fingerlings. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 6(2): 1-23.
- Ajiboye, O. O., Okonji, A. V. y Yakubu, F. A. 2015. Effect of testosterone-induced sex reversal on the sex ratio, growth enhancement and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed coppens and farm produced feed in a semi flow-through culture system. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 6: 123.
- Alcántar-Vázquez, J. P., Santos-Santos, C., Moreno-de la Torre, R. y Antonio-Estrada, C. 2014. *Manual para la producción de supermachos de tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus)*. Sistema de Universidades del Estado de Oaxaca (SUNEO)-Universidad del Papaloapan (UNPA). 81 p.
- Alamillo, T. H. 2001. *Cultivó de tilapia*. ZOE Tecno-Campo. México DF México: 10-12. Consultado en: www.zootecnocampo.com/documentos/tilapia/tilapia.htm. En julio de 2020.
- Almeida, C. J. W. 2014. *Reversión sexual de tilapia roja Oreochromis niloticus utilizando dos tipos de andrógenos comerciales y un testigo andriol y proviron* (Tesis de

- pregrado). UTMACH, Universidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador, 51 p.
- Amado, J. A. y Flórez, J. 2003. *Hormonas sexuales: estrógenos, gestágenos, andrógenos y anticonceptivos hormonales*. Farmacología humana. 4ª Ed. Barcelona: Masson, p. 887-912.
- Arboleda, O. y Duván, A. 2005. Reversión sexual de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Una revisión básica para el acuicultor. *Revista Electrónica de veterinaria REDVET*, Vol. 6.
- Arias-Rodríguez, L. y Páramo-Delgadillo, S. 2001. Biotecnología cromosómica en peces. Producción de peces Ginogenéticos, Andrógenos y clones. *Kuxulkab'*, 12: 1-13.
- Beltrán-Álvarez, R., Sánchez-Palacios, J., Valdez, G. L. y Ortega-Salas, A. A. 2010. Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis aureus* (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. *Revista de Biología Tropical*, 58(1): 325-338.
- Botero, M., Pineda, J. y Gallego, N. 2010. Inmersión de ovas de tilapia roja (*Oreochromis* spp) en diferentes estadios de fertilización en una solución de 17 alfa-metiltestosterona y la proporción fenotípica del sexo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 5: 38-47.
- Carranza, N. O. 1990. *Utilización de la hormona 17alpha metiltestosterona para el reverso del sexo en Tilapia (Oreochromis niloticus)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Región paracentral centro de investigación y Desarrollo Pesquero Santa Cruz Porrillo, El Salvador, 16 p.

- Cerritos, M., Luis, J., Cerros-Rodríguez, R. A. y Flores-Martínez C. B. 2008. *Métodos de masculinización inducida por andrógenos en alevines del híbrido rojo de tilapia (Oreochromis sp). Inmersión de corto plazo y administración oral*. Tesis de Licenciatura. Universidad de El Salvador, 113 p.
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P. y Habit, E. 2012. Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76: 86-100.
- Cnaani, A. y Hulata, G. 2008. *Tilapias*. En: *Genome mapping and genomics in fishes and aquatic animals*. Kocher, T.D., & Kole, C. (Eds). Springer-Verlag. Berlin Heridelberg. Vol. 2. 101-116.
- CONAPESCA. 2018. *Informe En: Blog Conapesca*. Disponible en: <https://www.gob.mx/inaes/es/articulos/acuicultura-historia-y-actualidad-enmexico?idiom=es>. Consultado en mayo de 2020.
- Daza, V. P., Parra, L. y Ochoa, S. 2005. *Reproducción de los peces del trópico*. Universidad Nacional de Colombia. (INCODER). 241 p.
- El-Saidy, S.D., Gaber, M. M. y Abd-Elshafy, A. S. 2005. Evaluation of cluster bean meal *Cyamopsis fefrugonoloba* as a dietary protein Source for common carp *Cyprinus carpio* L. *Journal of the World Aquaculture Society*, 36(3): 311-319.
- Enríquez, A. R., Sosa, I. y Arredondo, J. L. 2004. *Producción de tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus) masculinizada con hormonas fluoximesterona en sistemas cerrados de recirculación*. Planta Experimental de Producción Acuícola. II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura.

- FAO. 2016. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Roma. 224 pp.
- FAO. 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. Roma. 223 pp.
- Fukushima-Nagaoka, M. M., Calderón, R. A., Castillo Castillo, G. A., Deza, C. C., Shimokawa-Shiguiyama, L. A. y Fukushima-Shimabukuro, J. M. 2016. Adaptación de nuevas tecnologías para implementación del módulo demostrativo en el cultivo de tilapia en la libertad. *Scientia Agropecuaria*, 7(3): 321-331.
- Gennaro, A. R. 2003. *Remington farmacia* (Vol. 2). Ed. Médica Panamericana: Madrid, España. 1368 p.
- Green, B. W. y Teichert-Coddington, D. R. 1994. Growth of control and androgen-treated Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), during treatment, nursery and grow-out phases in tropical fish ponds. *Aquaculture Research*, 25(6): 613-621.
- Guerrero, R. D. y Shelton, W. L. 1974. An acetocarmine squash method for sexing juvenile fishes. *Progressive Fish-Culturist*, 36: 56-64.
- Guerrero, R. D. 1975. Use of androgens for the production of all-male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Transactions of the American Fisheries Society*, 104(2), 342-348.

- Gupta, N., Haque, M. M. y Khan, M. 2012. Growth performance of tilapia fingerling in cage in ponds managed by Adivasi households: An assessment through length-weight relationship. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 10: 149-155.
- Gutiérrez-Sigueros, I., Cuenca-Soria, C. A., Navarro-Angulo, L. I., Maldonado-Enríquez, E. J., Melgar-Valdés, C. E. & Castillo-Domínguez, A. 2018. Tiempo y dosis óptimas de fluoximesterona, para masculinización de crías del pez maya *Cichlasoma urophthalmus* (Percidae: Cichlidae). *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 416-421.
- Hafeez-ur-Rehman, M., Ahmed, I., Ashraf, M., Abbas, F. y Iqba, J. K. 2014. The culture performance of 17-D-methyltestosterone treated tilapia (*Oreochromis niloticus*) in fertilized ponds. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences*, 51(3): 209-213.
- Hickling, C. F. 1960. The Malacca tilapia hybrids. *Journal of Genetics*, 57(1): 1-10.
- Hiott, A. E. y Phelps, R. P. 1993. Effects of initial age and size on sex reversal of *Oreochromis niloticus* fry using methyltestosterone. *Aquaculture*, 112(4): 301-308.
- Hurtado, T. N. 2005. Inversión sexual en tilapias. Revisión bibliográfica. *INH, Ingenieros Consultores*. Lima, Perú. 43 p.
- INAPESCA. 2018. *Informe en: Blog inapesca* disponible en: <https://www.gob.mx/inapesca/prensa/buscan-impulso-de-maricultura-en-oaxaca-215931>. En mayo de 2020.
- Jacqueline, V. R. 2008. *Uso de la fluoximesterona en la inversión sexual de la tilapia de la línea Niloticus Stirling en el centro acuícola Jala, Tecomán, Col.* (Tesis de

- licenciatura) Universidad de Guadalajara (Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias), Las Agujas, Zapopan, Jalisco.
- Jiménez-Badillo, M. L. y Arredondo-Figueroa, J. L. 2000. Effect of oral treatment of synthetic androgens on sex ratio, survival and growth rates, in three strains of tilapia. *Hidrobiológica*, 10(2): 115-120.
- Jiménez, B. M. y Arredondo, J. L. 2000. *Manual técnico para la reversión de tilapia*. Serie Desarrollos Tecnológicos. Universidad Autónoma Metropolitana. 36 p.
- Jiménez, B. M. L., Arredondo, F. J. L. y Cuenca, C. A. 1998. Efecto de la talla y edad de inicio de tratamiento en la inducción de reversión sexual de tilapia Rocky Mountain. En *Memorias de VI Congreso Nacional de Ictiología*. p. 114.
- Leyton, S. A., Muñoz, E., Gordillo, M., Sánchez, G. C., Muñoz, L. A. y Soto, A. 2015. Estimación del factor de condición de fulton (k) y la relación longitud-peso en tres especies ícticas presentes en un sector sometido a factores de estrés ambiental en la cuenca alta del río cauca. *Magazine of the Colombian Association of Biological Sciences (ACCB)*, 1(27).
- Liñan-Cabello, M. A., Robles-Basto, C. M. y Mena-Herrera A. 2012. Somatic growth effects of intramuscular injection of growth hormone in androgen-treated juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae). *Revista de Biología Tropical*, 61(1): 203-212.
- López, C. A., Carvajal, D. L. y Botero, M. C. 2007. Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis* spp). Por inmersión en 17 alfa-metiltestosterona. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20: 318-326.

- Macaranas, J. M., Mather, P. B., Lal, S. N. Vereivalu, T., Lagibalavu, M. y Capra, M. F. 1997. Genotype and environment: A comparative evaluation of four tilapia stocks in Fiji. *Aquaculture*, 150: 11-24.
- Macintosh, D. J., Varghese, T. J. y Rao-Satyanarayana, G. P. 1985. Hormonal sex reversal of wild-spawned tilapia in India. *Journal of Fish Biology*, 26(2): 87-94.
- Manosroi, J., Petchjul, K. y Manosroi, A. 2004. Effect of fluoxymesterone fish feed granule on sex reversal of the hybrid, Thai Red tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn. X *Oreochromis mossambicus* Linn.). *Asian Fisheries Science*, 17: 323-331.
- Marcillo, E. y Landívar, J. 2000. Tecnología de producción de alevines “monosexo de tilapia”. *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar*, 15: 20-49.
- Mélard, C. 1995. Production of a high percentage of male offspring with 17 α -ethynylestradiol sex-reversed *Oreochromis aureus*. I. Estrogen sex-reversal and production of F2 pseudofemales. *Aquaculture*, 130(1): 25-34.
- Moreno, E., Rodríguez, C., Barriga, S. y Arredondo, F. 2003. *Producción de Tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus) masculinizada con la hormona fluoximesterona en sistemas cerrados de recirculación*. En: Memorias del Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA 2003), Zaragoza, España. p. 77-87.
- Moreno, Q. J. M. 1985. El uso de hormona (17-alfa metiltestosterona) en alevinos de tilapia nilótica para la producción de tilapias monosexuales en Panamá. *Revista Latinoamericana de Acuicultura*, 24 (44): 22-29.

- Nakamura, M. y Takahashi, M. 1973. Gonadal sex differentiation in tilapia mossambicus with special regard to the time of oestrigen treatment effective in inducing complete feminization of genetic females. *Bulletin of the faculty of fisheries, Hokkaido University*, 24: 1-13.
- Ordóñez, G., Carlos, A. y Vanessa, C. 2017. *Estudio de la reversion sexual en tilapias Oreochromis spp. por el método de inmersión con 17 alfa-metiltestosterona*. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Universidad de las fuerzas armadas ESPE. Extensión Santo Domingo, 50 p.
- Owusu-Frimpong, M. y Nijjhar, B. 1981. Induced sex reversal in *Tilapia nilotica* (Cichlidae) with methyl testosterone. *Hydrobiologia*, 78(2): 157-160.
- Pachacama, A. y Miguel, L. 2015. *Influencia de alimentación hormonal en la reversión sexual y crecimiento de tilapia roja (Oreochromis spp)* (Tesis de licenciatura). Escuela Politécnica Nacional. Centro Piscícola Nanegal, 174 p.
- Pérez, R. 2002. *Evaluación de tres hormonas sintéticas para para la reversión de sexo de alevines de tilapia (Oreochromis niloticus)* (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Zamorano. 25 p.
- Phelps, R. P., Arndt, J. T. y Warrington, R. L. 1999. Masculinization of tilapia fry by immersion in trenbolone acetate (TBA) at a production level. *Sixteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University*, 79-80.
- Phelps, R. P., Cole, W. y Katz, T. 1992. Effect of fluoxymesterone on sex ratio and growth of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture Research*, 23: 405-410.

- Phelps, R.P. y Cerezo, G. 1993. The effect of confinement in hapas on sex reversal and growth of *Oreochromis niloticus*. *Journal of Applied Aquaculture*, 1(4): 73-81.
- Phelps, R. P. y Popma, T. J. 2000. Sex Reversal of tilapia. *Tilapia Aquaculture in the Americas. Vol. II*. The World Aquaculture Society. E.U.A. p 34-59.
- Piferrer, F. 2001. Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture*, 197(1-4): 229-281.
- Pinza, J. 2014. *Manejo de reproductores y de la calidad del agua para mejora de la producción de alevinos de tilapia roja (Oreochromis sp) en la estación piscícola fish-flow* (Tesis de licenciatura). Universidad de Nariño, Huila, Colombia.
- Ponzoni, R. W., Hamzah, A, Tan, S. y Kamaruzzaman, N. 2005. Genetic parameters and response to selection for live weight in the GIFT strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 247: 203-210.
- SAGARPA. 2018. *Informe en: Blog sagarpa* disponible en: <https://oaxaca.quadratin.com.mx/fortalecen-programas-de-sagarpa-pesca-y-acuacultura-de-oaxaca/>. En junio de 2020.
- Santamaría-Miranda, A., Heredia-Bacasegua, J., Apún-Molina, J., Román-Vega, M., García-Rodríguez, L. y Trigueros-Salmerón, J. 2012. Masculinización de la tilapia roja *Oreochromis* spp. con el esteroide acetato de trembolona (atb) suministrado en el alimento. *Ra Ximhai*, 8(3b): 137-142.
- Shelton, W. L., Rodriguez-Guerrero, D. y Lopez-Macias, J. 1981. Factors affecting androgen sex reversal of *Tilapia aurea*. *Aquaculture*, 25(1): 59-65.

- Torrans, L., Meriwether, F., Lowell, F., Wyatt, B. y Gwinup, P. D. 1988. Sex-Reversal of *Oreochromis aureus* by Immersion in Mibolerone, a Synthetic Steroid 1. *Journal of the World Aquaculture Society*, 19(3): 97-102.
- Torres-Orozco, Bermeo, R. E. y Kobelkowsky, D. 1991. *Los peces de México* (No. Sirsi) i9789684630628).
- Torres-Hernández, P., Nucamendi-Rodríguez, G. B., Pintos-Terán, P. y Montoya-Márquez, J. A. 2010. Masculinización of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Actinopterygii: Cichlidae) by immersion in fluoxymesterone and testosterone enanthate. *Zootecnia Tropical*. 28(3): 341-351.
- Tran, L. D., Dinh, T. V., Ngo, T. P. y Fotedar, R. 2011. En: *Recent advances and new species in aquaculture*. Fotedar, R. K. y Phillips B. F. (Eds). Blackwell Publishing Ltd. Iowa. 319-333.
- Varadaraj, K. y Pandian, T. J. 1989. First report on production of supermale tilapia by integrating endocrine sex reversal, with gynogenetic technique. *Current Science*, 58(8): 434-441.
- Vera, C. E. y Mair, G. C. 1994. Conditions for effective androgen sex reversal in *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 122(2-3): 237-248.
- Vera-Cruz, M. E., Mair, C. G. y Marino, O. R. 1996. Feminization of genotypically YY Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Asian Fisheries Science*, 9: 161-167.
- Vidal, L. J., Contreras, S. W., Álvarez, G. A, Hernández, F. A. y Hernández, V. U. 2010. Técnicas de reversión sexual aplicadas en acuicultura. *Kukulkab'*, 15: 49-54.

- Wang, L. H. y Tsai, C. L. 2000. Effects of temperature on the deformity and sex differentiation of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Journal of Experimental Zoology*, 286: 534-537.
- Wassermann, G. J. y Afonso, L. O. B. 2002. Validation of the aceto-carmin technique for evaluating phenotypic sex in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Ciência Rural*, 32(1), 133-139.
- Wohlfart, G. W. y Hulata, G. I. 1981. Applied genetics of tilapias. *ICLARM Studies and Review* Vol. 6. ICLARM, Manila.
- Yamamoto, T. 1953. Artificially induced sex reversal in genotypic and ecology the medaka (*Oryzias latipes*). *Journal of Experimental Zoology*, 123: 405-410.
- Yoshikawa, M. 1978. Diverse modes of action of biotic and abiotic phytoalexin elicitors. *Nature*, 275(5680): 546-547.