



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA - XOCHIMILCO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

“EFECTO EFECTO DE LA 17 α -METILTESTOSTERONA EN
EL MEJORAMIENTO FENOTÍPICO DEL BARBO TIGRE,
Capoeta tetrazona (PISCES: CYPRINIDAE)”.

T E S I S
(IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS)
COMITÉ TUTOTAL:
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
P R E S E N T A :

BIOL. MATURANO CONTRERAS ANA BERENICE

Dr. José Luis Arredondo Figueroa
Director

M en C. Arturo Aguirre León
Asesor

M. en C. Aída Malpica
Asesor

MEXICO, D. F. -

—JULIO AGOSTO DE
2009

A los seres maravillosos que

me dieron la vida y son mi gran

ejemplo de tenacidad, fortaleza y amor....

Teresa y Enrique

....porque me han amado siempre y han hecho de mi

una mujer fuerte y plena, una luchadora

A mi amor, mis ojos.....

Luis Antonio

....porque tus palabras de aliento y

profundo amor y paciencia me

impulsan a seguir.

-

A mi hermoso latosito,

mi regalo más grande...

Emiliano

.... porque eres mi fuerza e inspiración cada día

... porque me ayudas a ser mejor para ti y para
mi

A mis hermanos, con quienes

aprendí a vivir jugando y están ahí siempre...

Alejandro, Bety y Enrique

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco profundamente al M. en c. Samuel Marañón Herrera (qepd), quien fue mi gran amigo, un segundo padre, cómplice y mentor, creíste en mí, éste trabajo también es parte de ti.
-
- A mi director de Tesis, el Dr. José Luis Arredondo, y asesores, la M. en C. Aída Malpica y el M. en C. Arturo Aguirre, por su paciencia, apoyo, plena disposición y apoyo constante para la realización de este proyecto.
-
- Al M. en C. Julio César Hernández, por su incondicional apoyo, colaboración y comentarios, pero sobre todo por su amistad.

*La vida es arrojarse en paracaídas,
es arriesgarse, caer y volver a levantarse,
es alpinismo, es querer subir a lo alto
de uno mismo.*

Paulo Coelho

<u>CONTENIDO</u>	<u>PÁGINA</u>
<u>RESUMEN</u>	
<u>ABSTRACT</u>	
<u>I. INTRODUCCIÓN</u>	<u>1</u>
<u>II. ANTECEDENTES</u>	
<u>II.1. Biología de la especie</u>	
<u>II.2. Hormonas esteroides y su uso en la acuicultura</u>	
<u>II.2.1. 17α-metiltestosterona</u>	
<u>II.2.2. Metabolismo de los esteroides</u>	
<u>II.2.3. Efecto anabólico</u>	
<u>II.2.4. Otros efectos</u>	
<u>III. HIPÓTESIS</u>	
<u>IV. OBJETIVOS</u>	
<u>V. MATERIAL Y MÉTODOS</u>	
<u>VI. RESULTADOS</u>	
<u>VII. DISCUSIÓN</u>	
<u>VIII. CONCLUSIONES</u>	
<u>IX. LITERATURA CITADA</u>	

1. Resumen **ESUMEN**

En el presente estudio se evaluó la eficiencia anabólica del esteroide 17 α -metiltestosterona (17 α -MT) en juveniles de 30 ± 1 día de edad, del barbo tigre *Capoeta tetrazona* para optimizar el cultivo, con la obtención de organismos más grandes y vistosos, que permita generar un beneficio adicional exitoso derivado de su aplicación. Los resultados indicaron que el alimento hormonado, mejoró los indicadores de desempeño de la población con una mayor ganancia en longitud y peso en el tiempo de cultivo de cinco semanas. Así mismo, la curva de crecimiento generada por el modelo de von Bertalanffy indicó que el crecimiento fue mejor. Con esto se refuerza el hecho de utilizar este agente hormonal para mejorar las características fenotípicas de este pez y con ello obtener un mayor beneficio económico.

Palabras clave: Barbo tigre, *Capoeta tetrazona*, testosterona, fenotipo, valor económico.

2- Abstract

The anabolic efficiency of the ~~esteroid~~steroid 17 α -methyltestosterone (17 α -MT) was tested in juveniles of ~~barbous~~ tiger barb *Capoeta tetrazona* with an age of 30 ± 1 day, for a period of five weeks, including a control diet with~~out~~ hormonal agent with the ~~objective~~objective to obtain bigger and showy organisms with a higher economical value. The results indicated that diet prepared with 60 mg of 17 α -MT ~~per~~for kg of feed increasing significantly ($P \leq 0.05$) the total length and total weight gain with respect the time of culture. In the same way, von Bertalanffy model showed a better growth confirming the metabolic effect of this hormone. Besides, significant differences ($P \leq 0.05$) were observed between both treatments in multiple condition factor (KM), specific growth rate (TCE) and yield (P). The hormoneate feed did not affect the survival rate and the commercial price was higher. These results reinforce the convenience of use 17- α MT as an anabolic to improve the phenotypical characteristics of the tiger barb~~ous-tiger~~.

Key words: Tiger barb, *Capoeta tetrazona*, testosterone, phenotype, economic value.

I2. Introducción NTRODUCCIÓN

La unidad de producción agropecuaria se considera como un “centro de apropiación de la naturaleza”, en donde los procesos biológicos son orientados para generar un valor a partir de la articulación de los medios de producción y la fuerza de trabajo que se reproducen de manera cíclica (Poulantzas, 1976). Esta apreciación se acentúa en el caso de la piscicultura de ornato, cuyo propósito fundamental es incrementar el rendimiento y mejorar significativamente la relación beneficio-costos, para la obtención de una mayor ganancia económica. El cultivo del sumatranos o barbo tigre *Capoeta tetrazona*, representa un buen ejemplo de lo anterior.

El barbo tigre, es un pez de ornato de agua dulce de corrientes rápidas que goza de gran aceptación entre los productores debido a que forma cardúmenes; es decir, vive y se desplaza en grupo, requiere de aguas claras, ya que debido a la gran actividad que desarrolla consume mucho oxígeno (Tamaru *et al.*, 1997). *Estas características hacen que el barbo tigre sea un pez dinámico.*

Por otro lado, el barbo tigre presenta diferencias en sus características sexuales secundarias ya que los machos muestran una coloración rojo brillante sobre el radio de las aletas y en el morro o nariz; mientras que las hembras tienden a ser de mayor tamaño con la región abdominal redondeada y ligeramente menos coloridas o pálidas, además de que presentan aletas ventrales transparentes. Al igual que en otros peces de ornato, los caracteres sexuales secundarios del barbo tigre se encuentran ligados al sexo y su manifestación se refleja en el crecimiento, el tamaño de las aletas, el color y la forma del cuerpo. (Tamaru *et al.*, 1997).

Desde el punto de vista comercial, estas diferencias determinan que las hembras sean más apreciadas y por consiguiente estén mejor cotizadas en el mercado, ya que tienden a crecer más y en menor tiempo que los machos (Tamaru *et al.*, 1997).

La orientación del sexo es una herramienta útil para aumentar los beneficios derivados de la piscicultura, ya que las poblaciones monosexo proveen características que incrementan la productividad (Green *et al.*, 1997), de tal manera que su producción se orienta dependiendo de las características fenotípicas que se requieran en los mercados.

Las condiciones anteriores permiten ubicar al barbo tigre como un candidato idóneo para ser tratado con esteroides. Esto se puede lograr mediante una investigación aplicada, con el objeto de establecer una estrategia que agregue valor y calidad al capital biológico en cultivo y se encuentre sustentada en la capacidad de manipular y orientar el proceso biológico.

II.2.1. Antecedentes NTECEDENTES

II.1. Biología de la especie

Clasificación taxonómica

El nombre científico del barbo tigre es *Capoeta tetrazona*. Sin embargo, esta nomenclatura ha sido cambiada en varias ocasiones, lo que ha generado un debate entre ictiólogos y taxónomos. En 1855, Bleeker describe a este pez como *Barbus tetrazona*. Sin embargo, en 1857 este mismo autor describe a otras especies bajo este nombre.

Según Bleeker (1855), el estatus taxonómico actual del barbo tigre se muestra a continuación (Tamaru *et al.*, 1997).

Reino	Animalia
Subreino	Metazoa
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata

División	Gnathostomata
Superclase	Pisces
Clase	Osteichthyes
Subclase	Actinopterygii-Neopterygii
Cohorte	Euteleostei
Orden	Cypriniformes
Suborden	— Caracoidei
Familia	— Cyprinidae
Subfamilia	Cyprininae
Género	<i>Capoeta</i>
Especie	— <i>tetrazona</i>

Descripción morfológica

La forma del cuerpo, como en la mayoría de los ciprínidos es en forma de rombo, de color ligeramente plateado y rosado, con cuatro franjas verticales negras que van desde el vientre hasta el dorso. La primera pasa sobre el ojo, la segunda se encuentra entre la cabeza y la aleta dorsal, la tercera justo al final de la aleta dorsal y la cuarta en la base de la caudal. (Tamaru *et al.*, 1997).

Si bien no presentan dimorfismo sexual acentuado (Fig. 1), los machos muestran una coloración rojo brillante sobre el radio de las aletas y en el morro o nariz, mientras que las hembras tienden a ser más redondas en la región abdominal y ligeramente menos coloridas o pálidas, además de poseer aletas ventrales transparentes (Tamaru *et al.*, 1997).

Alimentación y crecimiento

El barbo tigre es un pez omnívoro voraz, siempre hambriento. El análisis realizado en el contenido intestinal de peces capturados en vida silvestre indica que prefieren una alimentación basada en plantas. (Tamaru *et al.*, 1997).

Muchos de los pigmentos carotenoides requeridos por el barbo tigre para fijar una buena coloración son obtenidos de manera natural al consumir fitoplancton y zooplancton en su medio natural. Sin embargo, los alimentos utilizados en el cultivo del barbo, rara vez incluye pigmentos naturales o artificiales que aumenten su coloración. Por esta razón, en condiciones de cultivo usualmente les lleva más de un mes para desarrollar patrones visibles en su coloración. El barbo tigre puede alcanzar una longitud máxima de 5 cm y un ancho de 2 cm. (Tamaru *et al.*, 1997).



a)



b)

Figura 1. Ejemplares adultos de *Capoeta tetrazona*, a) Macho y hembra, b) Macho

Reproducción y fecundidad

Alcanza la madurez sexual a una longitud entre 20 a 30 mm y entre la sexta o séptima semana de edad. La relación hembra: macho es de 1:1 y el macho exhibe una conducta agresiva y la hembra es sumisa. (Tamaru *et al.*, 1997).

Existen dos tipos básicos de conducta reproductiva que caracteriza a la familia de los barbos: a) el desove no-territorial y b) el desove territorial masculino, ambas conductas son manifestadas por *Capoeta tetrazona* (Kortmulder, 1972, citado por Tamaru *et al.*, 1997).

Para que se lleve a cabo la ovodepositación, se requiere de la presencia de plantas acuáticas o raíces sumergidas que utilizan como sustrato para depositar los huevos. Durante el evento, el macho abraza a la hembra con las aletas y al mismo tiempo que ella deposita los huevos, el libera esperma para fecundarlos. Esta conducta puede durar horas hasta que todos los huevos son liberados, que pueden ser hasta 300, expulsados en una sola ovodepositación dependiendo de la edad y talla de la hembra (Tamaru *et al.*, 1997).

Requerimientos de hábitat

El hábitat natural del sumatranos es riofílico y prefiere corrientes rápidas, ricas en materia húmica, ligeramente ácidas y con vegetación abundante, moviéndose siempre en cardúmen. Las condiciones de calidad del agua en que puede habitar el barbo tigre se muestran en la Cuadro 1, de acuerdo con las recomendaciones de Tamaru *et al.* (1997)

Cuadro 1. Parámetros físico – químicos del agua, recomendables para el cultivo de barbo tigre

Parámetros	Valores
Dureza total	100 a 250 mg/L de CaCO ₃
pH	6.5 a 7.5
Temperatura óptima de crecimiento	22 a 25 °C
Intervalo de tolerancia	18° a 32 °C
Oxígeno disuelto	2.0 mg/L
Nitrógeno Amoniacal Total (NH ₃ + NH ₄ ⁺)	< 1.0 mg/L

Distribución geográfica

Como se observa en la figura 2, el barbo tigre se localiza en forma natural en el Sudeste de Asia, en la región que comprende a Sumatra, Borneo, Tailandia y Malasia (Tamaru *et al.*, 1997).

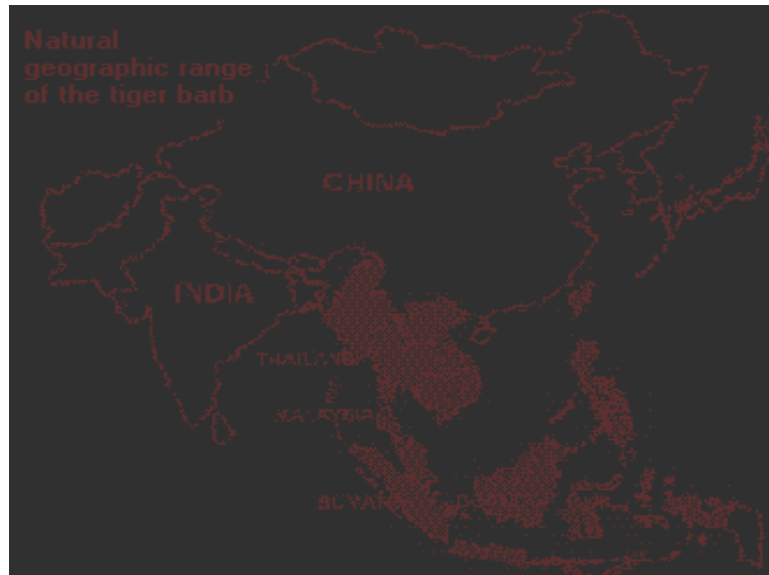


Figura 2. Distribución natural del barbo tigre.

II.2 Hormonas esteroides y su uso en la acuicultura

Las hormonas esteroides son compuestos derivados del colesterol. A este grupo pertenecen la progesterona, los estrógenos y los andrógenos, que son los responsables del dimorfismo sexual, tanto físico como a nivel de los órganos (Muñoz, 2005).

Las hormonas sexuales estimulan la síntesis de proteínas, mediante la retención de nitrógeno, lo que tiene como consecuencia, el aumento de la masa muscular. Es más potente el efecto de los andrógenos que el de los estrógenos, por lo que les es conferida una cualidad anabólica (Venkatesh *et al.*, 2000).

Es bien conocido el empleo de hormonas en la industria pecuaria, como una forma de incrementar la eficiencia del ganado, con el aumento en la producción de carne, ya que su uso deriva en el aumento de la masa muscular (Rico y Burgat, 1983).

En 1995, la Food and Agriculture Organization (FAO), de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), junto con la Organización Mundial de la Salud (OMS), aprobaron el uso de la progesterona, la testosterona y el 17 β -estradiol, en el ganado, imponiendo dosis mínimas y máximas de administración, así como de residuos en la carne destinada al consumo humano, sin embargo, no existe una regulación específica para la aplicación de hormonas en peces u otros organismos que no sea el ganado (FAO, 1997).

En los peces, el empleo de esteroides está dirigido principalmente a la producción de poblaciones monosexo, de hembras si se aplica un esteroide estrogénico o de machos en el caso de los esteroides androgénicos, y también se utilizan para promover el anabolismo, es decir, aumentar y acelerar la tasa de crecimiento de los organismos

La aplicación de hormonas, permite dirigir el desarrollo gonadal hacia un sexo particular, si el esteroide es administrado antes del período de diferenciación sexual de la gónada (Yamamoto, 1969; Takahashi, 1974; Fitzpatrick *et al.*, 1993; Pandian y Sheela, 1995), hecho que en la mayoría de los peces, ocurre entre los 5 y 20 días de edad, por lo que es importante conocer la biología de la especie y determinar el grado de desarrollo en el que se encuentra la gónada (Pandian y Sheela, 1995).

Las hormonas, por su efecto anabolizante influyen directamente sobre el metabolismo, aumentando las funciones de síntesis de proteína con la retención de nitrógeno (balance positivo) en el músculo, hay una mejor asimilación de nutrientes y disminución de la tasa de excreción, favoreciendo la ganancia en peso y un mejor desarrollo de los peces. Este efecto varía de acuerdo a la hormona y dosis empleada y a la efectividad que esta posea (Hoffman y Evers, 1986).

No existen antecedentes sobre el empleo de esteroides en la especie objeto de este estudio, sin embargo, estos se han usado ampliamente en otras especies de peces de ornato, obteniendo resultados diversos, por citar algunos:

II.2.1 17 α -metiltestosterona

La molécula de 17 α -MT tiene un grupo alquilo en la posición 17, como se aprecia en la figura 3, siendo un agente muy activo por la vía oral y por consecuencia resiste al metabolismo hepático (Orizaga, 1987).

Es una de las hormonas que gozan de una amplia popularidad en la acuicultura comercial, debido a su potente efecto masculinizante y a su gran actividad anabólica. Se ha empleado principalmente en Poecílidos para producir lotes monosexo y resaltar los caracteres secundarios como la coloración y el tamaño de las aletas (Pandian y Sheela, 1995), también se ha utilizado ampliamente para producir poblaciones de machos de tilapia (*Oreochromis* sp.), adicionando 17 α -MT en el alimento (Barry, *et al.*, 2007)

Muy poco de la 17 α -MT aparece sin cambios en la orina o las heces de los animales tratados. Casi el 90% de la cantidad metabolizada es desechada en la orina en forma de conjugados sulfato (Mc Van, 1995; Rinchard *et al.*, 1999).

Jessy y Varghese (1987), probaron su efecto en dosis de 80, 100, 120 y 140 mg/kg de alimento, obteniendo una mayor eficiencia con esta última dosis con un porcentaje de masculinización de 91.3%, además, de que el esteroide mostró un efecto adicional, acentuando la coloración de los peces.

Lim *et al.* (1992) analizaron la eficiencia de la 17α -MT en juveniles de 20 días de edad, aplicando la hormona por 10 días, a dosis de 50, 100, 200, 300, 500 y 750 mg/kg de alimento, obteniendo con estas dos últimas dosis, eficiencias masculinizantes hasta del 100%.

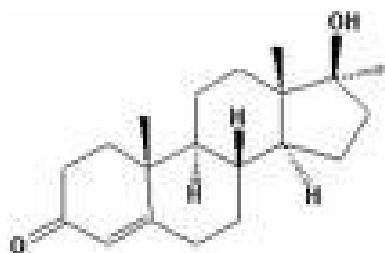


Figura 3. Estructura molecular de 17α -MT.

II.2.2 *Metabolismo de los esteroides*

Los esteroides no son almacenados en cantidades importantes, y son destruidos principalmente por el hígado, y posteriormente excretados en la orina. La velocidad con la que ocurre esto, es elevada tomando en cuenta que la vida media de los esteroides oscila entre los 30 y 90 minutos. (Muñoz, 2005; Rinchar *et al.*, 1999).

El hígado desempeña el papel principal en el metabolismo de las hormonas esteroides. En este órgano, una fracción de los esteroides es reducida, estos metabolitos se conjugan por los grupos hidroxilo en forma de sulfatos o de glucuronatos que son precisamente los que circulan en la sangre y los que más rápidamente van a ser excretados por la orina. La otra fracción no reducida, es la que se fija a las proteínas plasmáticas provocando el anabolismo (Muñoz, 2005).

II.2.3 Efecto anabólico

El efecto anabólico de los esteroides se ha usado para mejorar las características del ganado, principalmente en rumiantes, en los que se ha logrado una ganancia en peso vivo y aumento en la eficiencia de conversión alimenticia. Algunas sustancias anabolizantes están asociadas a la hormona testosterona, con un efecto en el aumento del balance positivo de nitrógeno, lo que permite una mayor producción de proteínas y por tanto, la construcción de tejidos (Muñoz, 2005).

Los esteroides anabólicos, se encargan de realizar el conjunto de reacciones bioquímicas que constituyen los fenómenos asimiladores del organismo. Se utilizan como un promotor del crecimiento de la masa muscular y el fortalecimiento de las estructuras óseas, debido a que tienen la propiedad de promover la retención del nitrógeno procedente del alimento con la consecuente aceleración de la tasa de absorción de aminoácidos a través del intestino. Además, favorece la eritropoyesis (formación de glóbulos rojos) e incrementa la retención de calcio, fósforo, potasio y azufre que son necesarios para el desarrollo del cartílago en los huesos, ya que estos factores contribuyen al aumento del peso y de la talla (Cardona y Sanclemente, 1986; Wilson y Brigstocke, 1987; Weatherley y Gill, 1987; Nagahama, 1999; Mommsen y Moon, 2001).

II.2.4 Otros efectos

Existe la hipótesis de que algunas sustancias químicas pueden llegar a alterar el equilibrio hormonal, provocando la presencia de neoplasias, malformaciones y disfunción en el aparato reproductor, tanto en humanos como en animales, los llamados disruptores endocrinos, incluye algunos plaguicidas, sustancias químicas industriales, metales pesados y productos sintéticos, como podrían ser las hormonas (Andrade-Ribeiro *et al.*, 2006).

Debido a su empleo generalizado por décadas, se cree que la exposición de los seres vivos a estas sustancias representa un peligro. Los riesgos se incrementan ya que estas sustancias son liberadas a los cuerpos de agua, peor aún, son ingeridas en alimentos como

hortalizas y frutas, incluso, llegan a ser absorbidos a través de la piel (Olea *et al.*, 2002). Sus efectos se han observado en animales silvestres y en humanos, e incluye la disminución de la puesta de huevo en peces, aves y tortugas, problemas reproductivos y disminución de la fertilidad en mamíferos. También, se han observado anormalidades en el comportamiento de aves y mamíferos (Olea *et al.*, 2002; Nicolopoulou - Stamati y Pitsos, 2001).

Los disruptores endocrinos son sustancias químicas, exógenas al organismo que pueden tener actividad hormonal o antihormonal y que, actuando como agonistas o antagonistas hormonales, pueden alterar la homeostasis del sistema endocrino. Algunos compuestos actúan alterando la producción, el funcionamiento y la degradación de las hormonas naturales, variando sus efectos de un órgano a otro y de una especie a otra (Olea *et al.*, 2002; Nicolopoulou-Stamati y Pitsos, 2001).

Estos productos se comportan de igual manera que las hormonas naturales provocando diversos trastornos. En varones, disminuye la calidad del semen, anormalidad en testículos, incluso cáncer. En hembras, infertilidad, anormalidades en el ciclo menstrual, endometriosis y síndrome de ovario poliquístico, entre otras (Nicolopoulou-Stamati y Pitsos, 2001).

Sin embargo, el conocimiento acerca de los disruptores endocrinos y de sus efectos sobre los organismos vivos es relativamente nuevo, y cada día se investigan nuevas sustancias, para identificar las de mayor riesgo y encender una alerta, prohibiendo la salida de estos productos al mercado.

3III. HipótesisIPÓTESIS

La producción ~~de lotes mejorados~~ de peces mediante la aplicación de hormonas esteroides, favorece un incremento en la talla y en el peso en un tiempo más corto, así como

un desarrollo acentuado de las características fenotípicas atractivas en el mercado, ~~como son forma y el color, incrementando así su valor económico.~~

4IV. OBJETIVOS ~~objetivos del proyecto~~

General

Evaluar el efecto de la hormona 17α -metiltestosterona sobre el mejoramiento fenotípico del barbo tigre *Capoeta tetrazona*, con el objeto de incrementar su valor ~~sr~~ agregado.

Particulares

- Analizar la eficiencia anabólica de la 17α -MT a una dosis de 60 mg/kg de alimento a través de sus indicadores de desempeño.
- Evaluar el beneficio económico derivado de la aplicación 17α -MT en la producción de barbo tigre

V. Materiales y Métodos ~~MATERIAL Y MÉTODOS~~

Origen de los juveniles.

La obtención de juveniles de *Capoeta tetrazona* se hizo mediante la reproducción en condiciones controladas de laboratorio, con el propósito de contar con organismos de la misma edad 30 ± 1 día; cumplido este tiempo se inició la aplicación del tratamiento. Todos los organismos utilizados en el presente trabajo correspondieron a una sola cohorte de la misma pareja de reproductores.

Diseño experimental

Se evaluó el efecto del agente esteroide 17α -MT a una concentración de 60 mg/kg de alimento en un grupo experimental, más un grupo testigo sin esteroide. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Se colocaron 20 organismos en acuarios de 40 litros, haciendo un total de 120 peces y 6 unidades experimentales o acuarios. Durante el tiempo que duró el experimento, los organismos fueron mantenidos bajo condiciones de temperatura, pH y volumen de agua, recomendadas para la especie.

Preparación del alimento y administración

En el caso del tratamiento con la 17α -MT se utilizó un alimento comercial que ya contiene adicionada la hormona a una dosis de 60 mg/kg de alimento de la marca El Pedregal, Silver cup® (Cuyo contenido protéico es de 52% y 14% de grasa). En el caso del grupo testigo, se aplicó el mismo tipo de alimento, pero sin incorporar la hormona. La administración de los tratamientos fue por un período de cinco semanas.

Evaluaciones morfométricas

Se tomaron medidas morfométricas semanalmente, y se registraron las siguientes: longitud total (LT en mm), longitud patrón (LP en mm), altura (AM en mm) y peso corporal

(PT en g). Las medidas corporales fueron tomados con un vernier Scala 120 ± 0.1 mm de precisión y el peso con una balanza digital OHAUS® con precisión de 450 ± 0.001 g.

Análisis estadístico

Para establecer si existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las variables morfométricas de peso, talla y altura de los peces hormonados respecto al testigo, se realizó una prueba de t de Student, de acuerdo con Zar (1999).

Con objeto de describir el patrón de crecimiento se determinó la distribución de la talla de los peces por semana, mediante diagramas de caja (Hoaglin *et al.*, 1991).

La eficiencia anabolizante del esteroide se estimó mediante el modelo de crecimiento de von Bertalanffy (Ricker, 1975), que relaciona la longitud en función del tiempo, acoplado a otros dos modelos: uno en donde se relaciona la talla con el tiempo y otro alométrico, que relaciona el peso con la talla.

La ecuación que describe el modelo es la siguiente:

$$L_t = L_{\max} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Donde:

L_t = Longitud estimada al tiempo

L_{\max} = Longitud máxima estimada

e = Base de los logaritmos naturales

k = Tasa intrínseca de crecimiento

t_0 = Tiempo teórico en el cual la longitud es igual a 0

t = Tiempo

Para establecer el efecto de la aplicación del alimento hormonado sobre la forma de los peces, se determinó el Factor de Condición (KM), que establece la proporción entre el

peso en función de la longitud – altura, que se obtiene de los coeficientes de un modelo potencial. La ecuación que describe esta relación es la siguiente:

$$KM = \left(\frac{P}{L^b A^c} \right) 100$$

Donde:

KM: Factor de condición Múltiple

P: Peso corporal

L: Longitud patrón

b: Coeficiente de regresión de la longitud

A: Altura máxima del cuerpo

c: Coeficiente de regresión de la altura

Para determinar si hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las tasas de crecimiento (K) de los tratamientos se aplicó una prueba de t para pendientes (Zar, 1999).

Sobrevivencia

Se obtuvo de manera porcentual, respecto a la población inicial de los tratamientos.

Evaluación económica

Se estimó el precio de *Capoeta tetrazona* mediante encuestas aplicadas a comerciantes de peces de ornato del Mercado “Nuevo San Lázaro” en el Distrito Federal. El número de muestra fue de 10 locatarios y el beneficio económico debido al uso de la metiltestosterona fue calculado a partir de la suma de los resultados parciales del costo de los organismos, por cada una de las tallas de la siguiente manera:

$$BE = (\# \text{ talla chica} * \text{precio unitario}) + (\# \text{ talla grande} * \text{precio unitario})$$

Eficiencia biológica

La eficiencia biológica derivada de la aplicación del tratamiento con metiltestosterona se determina mediante el cálculo de la tasa de crecimiento específico (TCE), que se describe a continuación:

$$\text{TCE} = \left[\frac{\text{Ln}P_F - \text{Ln}P_I}{T} \right] * 100$$

Donde:

TCE = Tasa de crecimiento específico

P_I = Peso inicial

P_F = Peso final

T = Tiempo

Esta evaluación se complementa con el cálculo de la productividad, cuya ecuación se muestra a continuación:

$$P = \bar{P} \pm S_d * n$$

Donde:

P = Productividad

\bar{P} = Peso promedio

S_d = Desviación estándar

n = Número de sobrevivientes

VI. Resultados

Condiciones ambientales

Los parámetros de calidad del agua se mantuvieron constantes durante el periodo de experimentación, oscilando entre 6.5 a 7.0 para el pH y de 24 a 25° C para la temperatura, mientras que el volumen de agua fue repuesto cada tercer día para compensar las pérdidas por evaporación.

Indicadores de desempeño

Longitud patrón

La prueba de t mostró que se presentaron diferencias significativas en todas las variables morfométricas con un valor de $P < 0.05$, correspondiente a un porcentaje de confianza del 95%.

Los peces tratados con 17α -MT, mostraron un mayor incremento en talla, en contraste con los organismos del grupo control, que presentaron una talla más baja, estas diferencias comienzan a ser evidentes a partir de la tercera semana, como se aprecia en las [figuras 5 y 6](#).

Altura máxima del cuerpo

Los peces más altos fueron los tratados con 17α -MT, mientras que los peces del grupo control presentaron un cuerpo ligeramente estilizado, al igual que la longitud las diferencias en altura comienzan a ser evidentes a partir de la tercera semana de aplicación del esteroide (Fig. 5).

Peso corporal

Los peces tratados mostraron un evidente aumento en peso, mientras que los peces del grupo control se mantuvieron con una tendencia de crecimiento lento a lo largo del experimento, en la quinta semana el peso se mantuvo constante (Fig. 56).

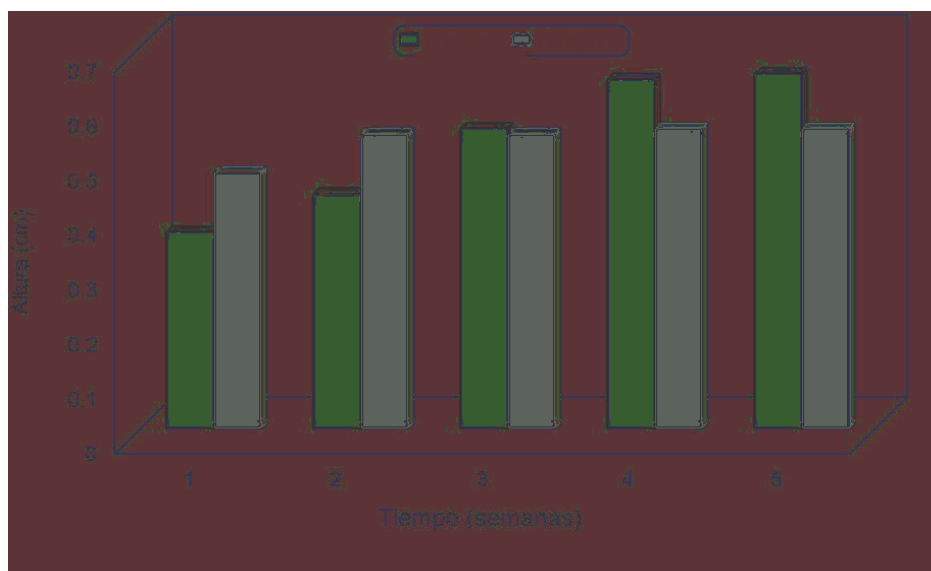


Figura 5. Eficacia del esteroide en el indicador de crecimiento “Altura” en *Capoeta tetrazona*.

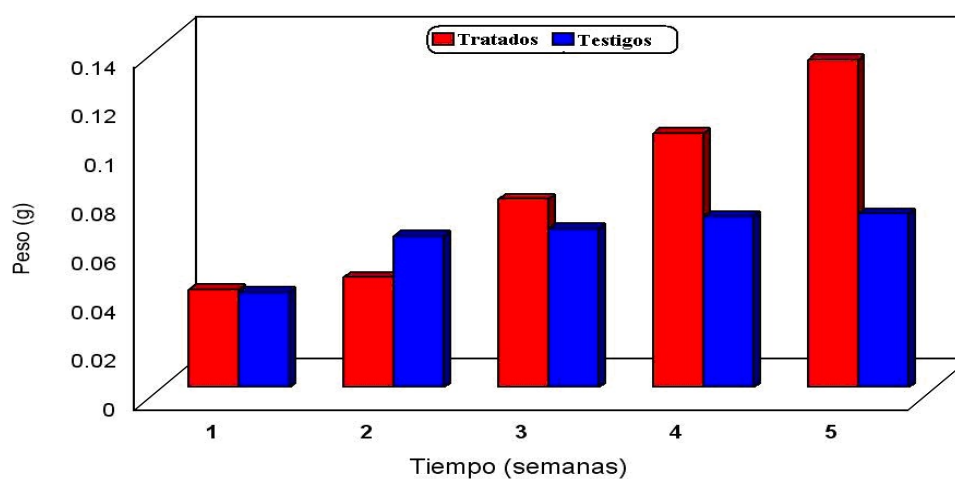


Figura 65. Eficacia del esteroide en los indicadores de crecimiento de “altura” y peso en *Capoeta tetrazona*, comparado con el grupo testigo.

La figura 67, muestra los valores estimados por el modelo de von Bertalanffy, para los peces tratados y los del grupo control. Los peces tratados con 17 α -MT alcanzaron una mayor talla en menor tiempo con respecto a los peces del testigo, lo que demuestra la precisión del modelo en los peces tratados.

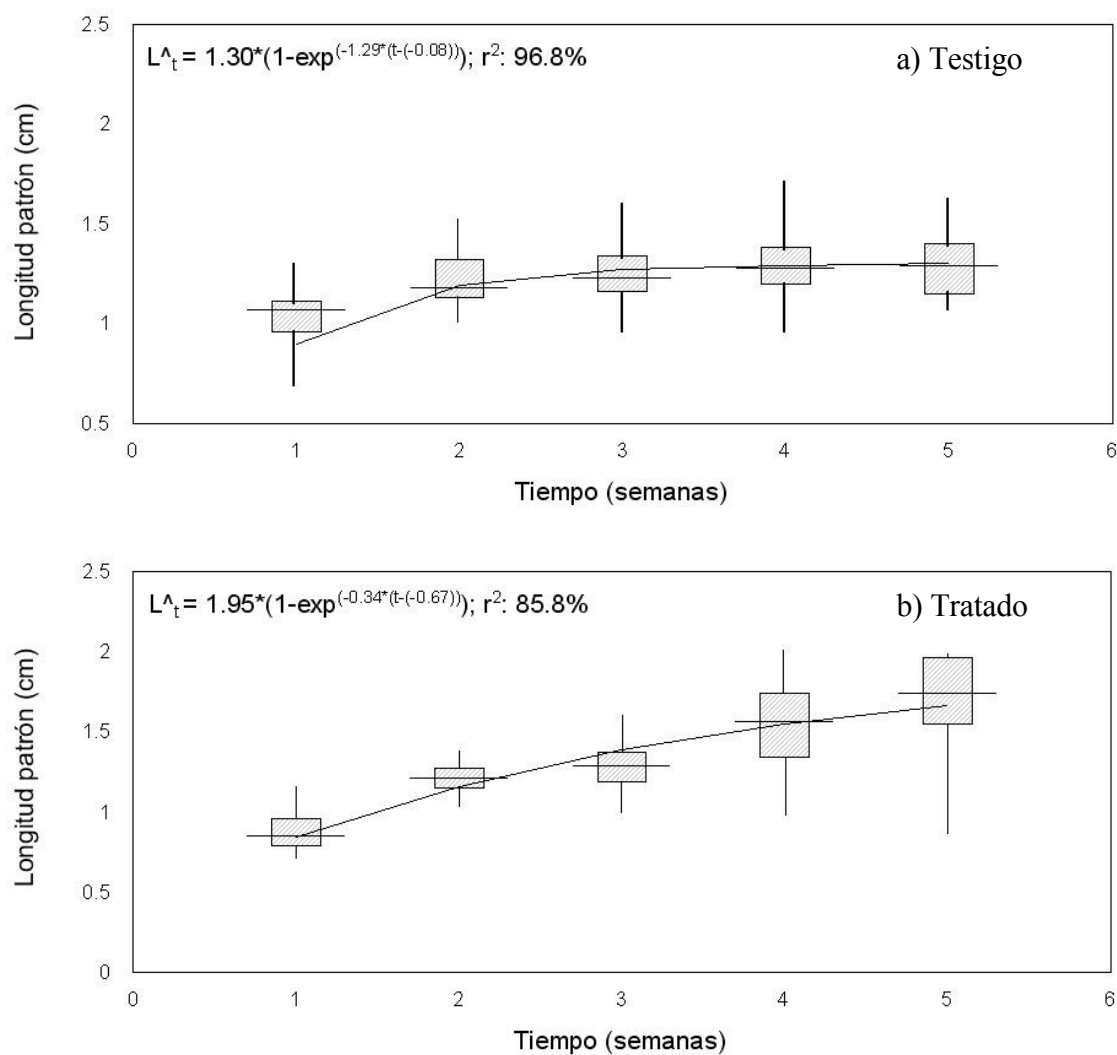


Figura 67. Modelo de crecimiento en talla de *Capoeta tetrazona* para el grupo a) Testigo y b) Tratado cada tratamiento. La línea continua describe la longitud estimada por el modelo y la caja representa la distribución del error por semana.

Sobrevivencia

La sobrevivencia de los peces se muestra en el cuadro 2. La mayor sobrevivencia se encontró en los peces del grupo testigo, mientras que la menor fue obtenida para el grupo de los peces tratados con 17α – Metiltestosterona.

Cuadro 2. Efecto del agente esteroide sobre la sobrevivencia de *Capoeta tetrazona*.

Tratamiento	Número inicial	Número final	% de sobrevivencia
17 α -MT	60	43	71.7
T	60	46	76.7

Evaluación económica

El análisis de las encuestas mostró que el precio estimado por organismo de talla chica (<1.9 cm) fue de \$3.00, mientras que el precio unitario para peces de talla grande (>1.9 cm) fue de \$5.00. Cabe resaltar, que esta última es la talla de referencia para la venta y también la que goza de mayor aceptación entre los acuarófilos, pues es en este tiempo que la coloración de los peces comienza a acentuarse. En el cuadro 3, se detalla el beneficio económico derivado de la talla de venta de los peces tratados contra los testigos, donde puede observarse una notable diferencia que le otorga ventaja a los peces tratados con 17α – Metiltestosterona, que muestra el mayor beneficio.

Cuadro 3. Efecto del esteroide 17α –Metiltestosterona sobre el precio comercial de *C. tetrazona*.

Metiltestosterona		Testigo		
Chica (\$3. ⁰⁰)	Grande (\$5. ⁰⁰)	Chica (\$3. ⁰⁰)	Grande (\$5. ⁰⁰)	
11 peces	32 peces	41 peces	5 peces	
\$ 33.00	\$ 160.00	\$ 123.00	\$ 25.00	
\$193.00		\$148.00		Total
≠ \$45.00				

Eficiencia biológica

En el cuadro 4, se presentan los parámetros que estimaron la eficiencia biológica, es decir la proporción entre la productividad de un organismo y la energía que consume. Se observa que la tasa de crecimiento específico (TCE) es superior en los organismos que fueron tratados con el esteroide, al igual que el valor de la productividad. Finalmente la productividad (P) es mucho mayor en los peces tratados pues hay una diferencia de casi 10 g de biomasa producida.

Los peces tratados con 17 α -MT, fueron los que registraron el mayor KM, lo cual

Cuadro 4. Resultados de los indicadores de eficiencia biológica, del *C. tetrazona* debido a la aplicación del esteroide.

	Metiltestosterona	Testigo
Km \pm S _{Km}	12.10 \pm 1.61	5.57 \pm 1
TCE (mg/%)	0.70 ^a	0.37 ^b
P (g) ¹	85.87 \pm 8.03 ^a	76.05 \pm 8.61 ^b

KM: factor de condición, **TCE:** tasa de crecimiento específico; Productividad.¹ Valor promedio \pm la desviación estándar. Literales iguales no indican diferencias significativas ($p > 0.05$); literales diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$). S_{KM}: Desviación estándar del KM.

podría significar que son los peces que están almacenando mayor energía para usarla en el crecimiento, mientras que los peces del grupo control tienen en KM más pequeño. El análisis de pendientes demostró diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la pendiente de los peces tratados y la de los peces testigos.

VII. Discusión

Condiciones ambientales

Los parámetros tomados como referencia de un buen ambiente fueron el pH y la temperatura, ya que de acuerdo con Tamaru *et. al.* (1997), éstos determinan la estabilidad del medio acuático para *Capoeta tetrazona*. Este autor recomienda valores de pH de 6.5 a 7.5 y temperaturas de 22 a 28 °C, por lo que los valores registrados en el presente trabajo fueron de 6.5 a 7 y de 24 a 25°C respectivamente, con lo cual se permitió mantener un ambiente estable y controlado, favorable para los organismos.

Crecimiento (Efecto anabólico)

Como se esperaba, ~~El~~ efecto anabólico ~~del~~ agente esteroide empleado se manifestó ~~influyó considerablemente~~ en el crecimiento de los peces, al desarrollar mayor corpulencia, ya que en las tres variables analizadas (LT, AM y PT) se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto a los peces del testigo que no fueron alimentados con la hormona y fue a partir de la tercera semana cuando se marcó notablemente este hecho.

La variable del peso fue la más destacada, manifestando un mejor desempeño ya que es a partir de la tercera semana que se presenta un despunte, y es aún más notable para la quinta semana en la que los peces han duplicado su peso inicial, lo que demuestra el efecto anabólico por la aplicación de 17 α – metiltestosterona.

Por otro lado, las variables morfométricas de altura y longitud patrón de los peces tratados también muestran un buen contraste comparado con los peces del grupo control. En ambos casos, es hacia la cuarta y quinta semana que se marcan los incrementos.

Reuniendo los tres indicadores de crecimiento, se puede afirmar que la aplicación de 17 α -MT da como resultado, organismos corpulentos de gran talla, superando a los peces que no recibieron el alimento hormonado. Lo que también se demuestra con la precisión del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, donde señala una clara diferencia en el peso de los organismos.

Con base en lo anterior, los resultados indican que la 17α -MT funciona como un excelente promotor del crecimiento de *C. tetrazona*.

El efecto anabólico de 17α -MT sobre el crecimiento ha sido reportado con éxito en especies como la carpa común, salmón, trucha arco iris y algunos cíclidos, donde la magnitud de la respuesta de la 17α -MT depende de varios factores tales como la edad, talla, estado fisiológico, temperatura, duración del tratamiento y método de aplicación (Rinchar *et al.*, 1999). Sin embargo, la mayoría de los trabajos publicados no reportan su efecto anabólico, dándole menor importancia a este hecho, dado que en ellos la finalidad principal es obtener una producción de lotes monosexo 100% machos.

Galvez y Morrison (1996) también mencionan que 17α - MT tiene un impacto favorable sobre el crecimiento, al presentar una buena tasa de conversión del alimento y en la sobrevivencia de peces como la tilapia.

Mientras que Marjani *et al.* (2009), demostraron que administrando 17α - MT en dosis de 50, 75 y 100 mg/kg en tilapia (*Oreochromis mossambicus*) se obtuvieron buenos incrementos, teniendo al día 21 de tratamiento las siguientes cifras: dosis de 75 mg/kg con 17.4g, dosis de 100 mg/kg con 10.9g y dosis de 50mg/kg con 10.1g de incremento en peso, por lo que la dosis intermedia de 75 mg/kg fue la más exitosa.

Además del impacto sobre el crecimiento por la aplicación de 17α - MT, también destaca otro efecto positivo que es la intensificación en la coloración de los peces, ya que al final del experimento, los peces tratados mostraron líneas de coloración más intensas y definidas, lo que le atribuye un valor adicional al esteroide.

Con lo anterior se deduce que el modelo de crecimiento obtenido para *C. tetrazona*, si describe adecuadamente el efecto anabólico del esteroide probado. Sin embargo no existe otro documento con el que pueda contrastarse esta aseveración, por lo que ahondar en la aplicación del esteroide en el barbo tigre es un criterio a considerar en futuras investigaciones, teniendo en cuenta el éxito de los resultados.

Sobrevivencia

Los peces tratados con la 17α -MT, presentaron una sobrevivencia que no difiere mucho de la obtenida en el grupo testigo (71.6 y 76.7 respectivamente), por lo que la aplicación de este esteroide no comprometió de manera significativa a las poblaciones estudiadas, al ser poco agresiva o inócua con los peces. Los resultados observados en la sobrevivencia refuerzan los hallados por Hines y Watts (1995), quienes probaron la 17α -MT en dosis de 5, 15, 50 y 100 mg/kg de alimento obteniendo sobrevivencias superiores al 76 %.

Rinchard *et al.* (1999), aplicaron 17α -MT en dosis de 15 mg/kg durante 60 días, en juveniles de lucio tigre (*Esox masquinongy*) reportando una sobrevivencia del 89%, donde concluyen que los organismos no fueron afectados por el tratamiento.

De igual forma, Ismihan *et al.* (2006), probaron aplicando esta hormona en el pez ángel (*Pterophyllum scalare*) en dosis de 10, 25, 50, 125 y 250mg/kg por un periodo de 30 días, en el que obtuvieron un rango de sobrevivencia de 96.67 a 70%, por lo que afirman que cuanto menor es la dosis de administración, mayor es el porcentaje de sobrevivencia.

Evaluación económica

A pesar de que el diagnóstico realizado es muy simple, el análisis es de relevante utilidad, ya que se consideraron dos aspectos importantes; primero, que ~~P~~para fines prácticos se ~~consideró~~propuso estimar el beneficio económico derivado de la aplicación de 17α -MT respecto a los peces que no recibieron el tratamiento, mediante un ~~se consideró realizar el~~ levantamiento de encuestas, tomando como referencia ~~en~~el Mercado “Nuevo San Lázaro”, debido a la relevancia de este lugar como punto de comercialización para productores e intermediarios de la acuariofilia en el distrito Federal.

Segundo, el empleo de un modelo sencillo que permitió estimar el beneficio económico en forma expedita, al ser calculada a partir de la suma de los productos parciales del precio estimado de los peces sobrevivientes, para cada una de las tallas.

Por lo que ~~De~~ un total de 10 encuestas se determinó que existe una diferencia de \$2.00 entre las tallas chica y grande, tomadas como referencia para la comercialización. De acuerdo con esto, al finalizar el experimento se tuvo un total de 32 peces grandes en el grupo tratado, cuyo valor comercial fue de \$160.00, mientras que la misma talla en los peces control para un total de 41 peces fue de \$123.00, con lo que se concluye que adicional a la ventaja de producir peces de mayor talla, también se refleja un beneficio económico y por tanto comercial, debido a la aplicación de 17α -MT en este proyecto.

~~Si, pero cual fue el costo de producción de cada tipo de lote? No es lo mismo darles alimento con hormona que sin hormona, uno de los dos debe ser más caro ¿o costaron lo mismo?~~

Eficiencia biológica

En los tres indicadores de la eficiencia biológica (cuadro 4); tasa de crecimiento específico (TCE), factor de condición (KM) y productividad (P), se muestra una variación importante en los valores que presentan los peces tratados en comparación con los peces testigo, lo que sugiere que el uso del agente esteroide influye en el funcionamiento fisiológico de los peces mejorando la conversión del alimento, pudiendo incluso favorecer el incremento en la tasa de crecimiento como se menciona en el apartado de resultados, con los valores mostrados, donde la TCE del grupo tratado duplica el valor calculado para el testigo. Mientras que la productividad supera por casi 10 gramos al testigo, por último los valores de KM mostraron que los organismos tratados tuvieron un uso más eficiente de la energía al destinarla al desarrollo de peces mejor proporcionados.

VIII. Conclusiones

El uso de agentes esteroides como la 17α -MT en concentración de 60 mg/kg de alimento no afectó la sobrevivencia de *Capoeta tetrazona*.

El empleo del alimento comercial hormonado funcionó como en excelente anabólico al promover el crecimiento con un destacado resultado, obteniendo peces de mayor corpulencia reflejado en el peso, talla y altura, en contraste con los peces no tratados.

Las ventajas de la aplicación del esteroide a nivel comercial se refleja mayormente en los peces tratados cuya talla de venta reflejó un mayor beneficio (peces grandes - \$160.00), ~~que mostraron un beneficio económico que~~ superando al de los no tratados en la misma talla (\$125.00), con una diferencia destacable, mientras que para la talla chica, el precio de venta es superior en los peces no tratados, debido a que en número superan a los hormonados, pues no alcanzaron el mismo desarrollo.

Por lo anterior, se confirma que los peces tratados con 17α -MT mostraron una mejor asimilación del alimento y uso de energía, por lo que su eficiencia biológica supera a los peces del grupo control.

Por lo antes mencionado se puede concluir que su aplicación con fines de producción tiene efectos muy favorecedores como son el aumento en talla en menor tiempo, con lo que se reduciría considerablemente los costos por mantenimiento y engorda, además si esta propuesta alcanzara otras dimensiones de aplicación, además del beneficio adicional de una mejor expresión de los patrones de coloración, siendo más atractivos para el comercio de peces de ornato.

9IX.: Literatura citada ITERATURA CITADA

Andrade-Ribeiro, A., Pacheco-Ferreira, A., Nóbrega da Cunha, C. & A. Mendes-Kling, 2006. Disruptores endocrinos: potencial problema para la salud pública y medio ambiente. *Rev. Biomed*, 17(2): 146-150.

Barry, T., ashok, M. & P. Marwah, 2007. Stability of 17 α - Methyltestosterone in fish feed. *Aquaculture* 271 (1-4): 523 -529.

Cardona, I. & L. Sanclemente, 1986. *Acción del undecilenato de boldenona (equipoise) más un implante de estradiol progesterona (Ganamax-m) en la ceba de novillos cebú comercial*. Tesis Universidad Nacional sede Palmira, Brasil. 67 p.

FAO, 1997. Revisado el 15 de septiembre de 2006 en: <http://www.fao.org/noticias/1997/970601-s.htm>

Fitzpatrick, M. S., Pereira, C. B. & C. B Schreck, 1993. In vitro steroid secretion during early development of mono-sex rainbow trout: sex differences, onset of pituitary control, and effects of dietary steroid treatment. *Gen. Comp. Endocrinol.* 91: 199– 215.

Galvez, I. & R. Morrison, 1996. Efficacy of trenbolone acetate in sex inversion of the blue tilapia *Oreochromis aureus*. *J. World Aquacult. Soc.* 4(27): 483- 486.

Green, B., Veverica, K. & M. Fitzpatrick, 1997. Fry and fingerling production. En: H.S Eгна and C.E. Boyd (Eds) “*Dynamics of pond aquaculture*”. CRC Press, Boca Raton, New York. pp. 215 – 243.

Hines, G. A. & S.A., Watts, 1995. Non-steroidal chemical sex manipulation of tilapia. *J. World Aquac. Soc.* 26, pp. 98–102.

Hoaglin, D., Mosteller, F. & J. Tukey, 1991. *Fundamentals of exploratory analysis of variance*. John Wiley & Sons Inc, New York. 527 p.

Hoffman, B. & P. Evers, 1986. Anabolic agents with sex hormone-like activities: Problems of residues. En: Rico, E. (Ed.), *Drug Residues in Animals. Veterinary Science and Comparative medicine: A Series*. Academic Press, Inc. London, UK. pp. 111-146.

Ismihan, K., Orhan, Z. & K. Sedat, 2006. Effects of different levels of 17 – Methyltestosterone on growth and survival of angelfish (*Pterophyllum scalare* Liechtenstein, 1923). *J. Animal and Veterinary Advances* 5 (3): 244-248.

Jessy, D. & J. Varghese, 1987. Hormonal sex control in *Betta splendens* Regan and *Xiphophorus helleri* Heckel. En: *Indian Fisheries Forum* (Joseph, M. Eds.) India. pp. 123-124.

Lim, B. H., Phang, V. P. E. & P. K. Reddy, 1992. The effects of shorts-term treatment of 17 α -Methyltestosterone and 17 α -estradiol on growth and sex ratio in the red variety of swordtail, *Xiphophorus helleri*. *J. Aquaculture Tropical*. 7: 267-274.

Marjani, M., Jamili, S., Mostafavi, P., Ramin, M. & A. Mashinchian, 2009. Influence of 17-Alpha Methyl Testosterone on Masculinization and Growth in Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *J. Fisheries and aquatic Science*. 4(1): 71 – 74.

Mc Van, R., 1995. *Referencias farmacéuticas*. Ed. El Manual Moderno,S.A. de C. V. México. Pp. 1476 -1477.

Mommsen, T. P. & T. W. Moon, 2001. Hormonal regulation of muscle growth. En: *Muscle Development and Growth*, Vol. 18 *Fish Physiology*, edited by I.A. Johnston. Academic Press, San Diego, CA. pp. 251 – 308.

Muñoz, J.A. 2005. *Control hormonal de la reproducción en peces*. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro. Puerto Real, Cádiz. España. pp. 54.

Nagahama, Y., 1999. Gonadal steroid hormones: major regulators of gonadal sex differentiation and gametogenesis in fish. *Sixth Int. Symp. on the Reproductive Physiology of Fish*, Bergen, Norway. 217-219 p.

Nicolopoulou-Stamati, P. & M. A. Pitsos, 2001. The impact of endocrine disrupters on the female reproductive system. *Human Reproduction Update*, Vol. 7(3): 323-330.

Olea, N., Fernández, . F., Araque, P. y & F. Olea-Serrano, 2002. Perspectivas en disrupción endocrina. *Gac. Sanit.* 16(3): 250-256.

Orizaga, S. J., 1987. *Guía profesional de medicamentos*. Manual de consulta para médicos, odontólogos, farmacéuticos y quienes prescriben, administran o toman medicamentos. Ed. El Manual Moderno, S. A. de C. V. 480-490 pp.

Pandian, T. & S. Sheela, 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* 138: 1-22.

Poulantzas, N. 1976. *Las clases sociales en el capitalismo actual*. Siglo XXI. México, D. F. pp. 37-47.

~~Park, I., Kim, J., Cho, S., y D., Kim, 2004. Sex differentiation and hormonal sex reversal in the bagrid catfish *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). *Aquaculture* 232(1-4): 183-193.~~

Ricker, W. E., 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Bulletin of Fisheries Research Board Canada* 191: 203-204.

Rico, A. y V. Burgat, 1983. Nueva información sobre el metabolismo de anabólicos. En: *Anabólicos en producción pecuaria. Aspectos de salud pública, métodos de análisis y reglamentación*. Editeur Scientifique Meissonnier, editores. OIE, París, Francia, pp. 112-121.

Rinchar, J., Dabrowski, K., Garcia-Abiado, M. y J. Ottobre, 1999. Uptake and depletion of plasma 17 α – methyltestosterone during induction of masculinization in muskellunge, *Esox masquinongy*: Effect on plasma steroids and sex reversal. *Steroids* 64: 518 – 525.

Takahashi, H. 1974. Modification of the development female reproductive organs in the guppy, *Poecilia reticulata*, following an androgen treatment in their juvenile period. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 25(3): 174-199.

Tamaru, C., Cole, B., Bailey, R. & C. Brown, 1997. A Manual for Commercial production of the Tiger Barb, *Capoeta Tetrazona*, A Temporary Paired Tank Spawner. *Center for Tropical and Subtropical Aquaculture*, No. 129. 50 p.

Venkatesh, K., Hunther, H. & U. B. Henry, 2000. *Mechanism of Action of Estrogens and Selective Estrogen Receptor Modulators*. Vitamins and Hormones, Academic Press. Vol. 60. 123- 147.

Weatherley, A. & H. Gill, 1987. *The biology of fish growth*. Academic Press (Ed.), Londres. 443 p.

Wilson, P. N. & T. D. A. Brigstocke, 1987. *Avances en la alimentación de vacuno y ovino. Guía práctica de los conceptos modernos de la nutrición de los rumiantes*. Edit. Acribia, S. A. España. 250 p.

Yamamoto, T. 1969. Sex differentiation. En: Hoar y Randall (Eds). *Fish Physiology*, Vol. 3. Academic Press, New York. pp. 117-175.

Zar, H.J., 1999. *Biostatistical analysis*. 4a. Edición, Prentice Hall, New Jersey, USA,
663 p.