



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS
OREOCHROMIS SSP POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN CON 17
ALFA METIL TESTOSTERONA**

AUTOR: ORDÓÑEZ GAMBOA, CARLOS ANDRÉS

RECALDE VILLALBA, VANESSA CAROLINA

DIRECTOR: Dr. NARANJO, IVÁN

SANTO DOMINGO - ECUADOR

2017




DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación “**ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS OREOCHROMIS SSP POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN CON 17 ALFA METIL TESTOSTERONA**” realizado por los señores **CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ GAMBOA** y **VANESSA CAROLINA RECALDE VILLALBA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ GAMBOA** y **VANESSA CAROLINA RECALDE VILLALBA** para que lo sustenten públicamente.

Santo Domingo, 14 de febrero de 2017



Dr. Iván Naranjo
DIRECTOR.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ GAMBOA** con cedula de identidad 1724960701 y **VANESSA CAROLINA RECALDE VILLALBA** con cedula de identidad 1719730671, declaramos que este trabajo de titulación “**ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS OREOCHROMIS SSP POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN CON 17 ALFA METIL TESTOSTERONA**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Santo Domingo, 14 de febrero de 2017

ORDÓÑEZ GAMBOA CARLOS ANDRÉS

1724960701

RECALDE VILLALBA VANESSA CAROLINA

1719730671



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CARLOS ANDRÉS ORDÓÑEZ GAMBOA** y **VANESSA CAROLINA RECALDE VILLALBA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo de titulación “**ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS *OREOCHROMIS SSP* POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN CON 17 ALFA METIL TESTOSTERONA**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Santo Domingo, 14 de febrero de 2017

ORDÓÑEZ GAMBOA CARLOS ANDRÉS

1724960701

RECALDE VILLALBA VANESSA CAROLINA

1719730671

DEDICATORIA

A mi Dios, por haber tenido la voluntad de hacer de éste simple humano, un ingeniero siquiera; a mis padres, por su infinito amor e inagotable paciencia al llevarme de la mano en el andar de la vida, sin importarles lo muy difícil que fuera; a mis hermanos, que desde el más grande hasta la más pequeña, me ayudaron a cargar mis problemas, y así, por todo eso y para ellos no permitirme la idea, de rendirme sin propiciar pelea.

Carlos Andrés Ordóñez Gamboa

Dedico esta tesis a Dios por concederme el don de la existencia, por guiar mi vida y ofrendarme una familia maravillosa; a mis padres Rodolfo Recalde y Mary Villalba por todo el apoyo que me han brindado, por inculcar en mí, el deseo y anhelo de superación, por toda su orientación, amor y consejos; a mis queridos hermanos por estar presentes en los momentos más difíciles de mi carrera y de mi vida. A todas aquellas personas que de una u otra forma me han ayudado a culminar con éxitos mi carrera profesional.

Vanessa Carolina Recalde Villalba

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de las Fuerzas Armadas, Carrera de Ingeniería Agropecuaria Sede Santo Domingo, por hacernos crecer profesionalmente y haciendo de nosotros unos agropecuarios de vocación.

A nuestro Director del proyecto de investigación el Dr. Iván Naranjo, por su constante apoyo en la elaboración de éste trabajo, logrando de ésta manera una gran satisfacción por la culminación del mismo.

Al Dr. Santiago Ulloa, por su ayuda intelectual y moral en los momentos más difíciles que se interponían en nuestro principal objetivo de convertirnos en agropecuarios profesionales.

Al Dr. Angel Moya, que sin dificultades nos ofreció su ayuda incondicional al compartir sus conocimientos y experiencias que fueron partes vitales para la ejecución de éste proyecto.

Al Ing. Vinicio Uday, por su decidido interés y su gran aporte de conocimientos desde el primero hasta el último día de la elaboración del proyecto.

ÍNDICE

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE GRÁFICO	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Generalidades de la tilapia roja	3
2.1.1. Origen y distribución de la tilapia.....	3
2.1.2. Biología de la especie.....	3
2.1.2.1. Aspectos básicos de la tilapia roja	3
2.1.2.2. Clasificación taxonómica.....	4
2.1.2.3. Morfología externa	5
2.1.2.4. Diferenciación sexual	5
2.1.2.5. Hábitos reproductivos	5
2.1.2.6. Hábitos alimenticios	5
2.1.2.7. Requerimientos ambientales	6
2.2. Alimentación de tilapias en cultivo de tanques	6
2.3. Testosterona.....	7
2.3.1. Mecanismo de acción de testosterona	7
2.4. Reversión sexual en tilapia por inmersión.....	8
2.5. Reversión sexual por vía oral o alimentación.....	8
2.6. Evaluación de la reversión sexual	8
2.7. Efectos de la 17 alfa metil testosterona en la alimentación humana	9
3. METODOLOGÍA.....	10
3.1. Ubicación del área de investigación	10

3.1.1.	Ubicación política	10
3.1.2.	Ubicación geográfica	10
3.1.3.	Ubicación ecológica	10
3.3.	Métodos	11
3.3.1.	Diseño experimental.....	12
3.3.1.1.	Factores a probar.....	12
3.3.1.2.	Tratamientos a comparar	12
3.3.1.3.	Tipo de Diseño.....	12
3.3.1.4.	Repeticiones o bloques	12
3.3.1.5.	Características de las Unidades Experimentales (UE).....	12
3.3.1.6.	Croquis del ensayo.....	13
3.3.2.	Análisis estadístico.....	14
3.3.2.1.	Esquema de análisis de varianza.....	14
3.3.2.2.	Coefficiente de variación	14
3.3.2.3.	Análisis funcional	14
3.3.3.	Análisis económico	15
3.3.4.	Variables a medir	15
3.3.4.1.	Parámetros productivos.....	15
3.3.4.2.	Porcentaje de reversión sexual.....	15
3.3.5.	Métodos específicos de manejo del experimento.....	15
3.3.5.1.	Instalación del proyecto	15
3.3.5.2.	Recibimiento y distribución de alevines	16
3.3.5.3.	Metodología para la reversión sexual por inmersión.....	16
3.3.5.4.	Medición de los parámetros productivos	18
3.3.5.5.	Determinación del sexo	19
3.3.5.6.	Determinación del análisis económico	19
4.	RESULTADOS	20
4.1.	Parámetros físicos.....	20
4.2.	ADEVA del estudio de la reversión sexual en tilapias por inmersión utilizando 17 alfa metil testosterona.....	20
4.2.1.	Mortalidad	21

4.2.2.	Reversión sexual	22
4.2.3.	Biomasa final	23
4.2.4.	Conversión alimenticia.....	24
4.2.5.	Análisis de correlación de las diferentes dosis de 17 alfa metil testosterona para la mortalidad y reversión sexual	25
4.3.	Análisis económico	27
5.	DISCUSIÓN	28
5.1.	Mortalidad	28
5.2.	Reversión sexual.....	28
5.3.	Biomasa final y conversión alimenticia	30
5.4.	Análisis económico	30
6.	CONCLUSIONES.....	31
7.	RECOMENDACIONES.....	31
8.	BIBLIOGRAFIA	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Media recomendada y tasas de alimentación para diferentes tamaños y grupos de tilapia en tanques y tasas estimadas de crecimiento.	7
Tabla 2. Materiales y equipos que se utilizaron en la investigación.....	11
Tabla 3. Tratamientos y dosis de 17 alfa metil testosterona	12
Tabla 4. Esquema de análisis de varianza para reversión sexual.....	14
Tabla 5. Tasas y frecuencia de alimentación	17
Tabla 6. Cantidad de solución masculinizante requerida por tratamiento	18
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos del agua durante la investigación.	20
Tabla 8. Análisis de varianza para mortalidad, reversión, biomasa final y conversión alimenticia.	21
Tabla 9. Estimación y comparación de costos entre los tratamientos y el porcentaje de reversión sexual alcanzado.	27

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Análisis de la mortalidad en alevines con las diferentes dosificaciones de la hormona 17 alfa metil testosterona por inmersión y a través del alimento.	21
Gráfico 2. Comportamiento de la reversión sexual por inmersión y a través del alimento en alevines de tilapia sometido a diferentes dosificaciones de la hormona 17 alfa metil testosterona.	22
Gráfico 3. Análisis de la biomasa final de los alevines de tilapia obtenida en 100 días de edad en los diferentes tratamientos de inclusión de la hormona masculinizante por inmersión y por vía oral.	23
Gráfico 4. Comportamiento de la conversión alimenticia de alevines de tilapia como resultado de la aplicación de diferentes dosis de la hormona 17 alfa metil testosterona por inmersión y a través del alimento.	24
Gráfico 5. Contraste lineal del porcentaje de la mortalidad en alevines de tilapia.	25
Gráfico 6. Contraste lineal del porcentaje de la reversión sexual en alevines de tilapia.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición de los tratamientos en el laboratorio de reversión sexual.....	13
Figura 2. Gónada sexual femenina de alevín de tilapia a los 100 días de edad, oocitos con núcleos teñidos (flechas) (40 X). B: Gónada sexual masculina de alevín de tilapia a los 100 días de edad, tejido con aspecto grumoso (40X).....	29

RESUMEN

Se instaló un acuario de reversión sexual en la zona urbana de la ciudad de Santo Domingo de los Colorados. El objetivo de ésta investigación fue estudiar la reversión sexual por inmersión de la hormona 17α metil testosterona en alevines de tilapia. Se aplicaron los siguientes tratamientos: T0 0 mg/l, T1 0,5 mg/l, T2 1 mg/l, T3 1,5 mg/l, T4 2 mg/l, T5 2,5 mg/l y el T6 60 mg/kg que fue de la técnica tradicional de reversión. Se realizaron 4 repeticiones por cada tratamiento, utilizando tinajas de 20 litros de capacidad, en donde se colocaron 100 larvas de dos días de edad, llegando a un total de 400 larvas por tratamiento. Para la evaluación del porcentaje de masculinización se utilizó la técnica de observación histológica a toda la población. Se obtuvo una reversión sexual con un p-valor de 0,01 a favor del T5 con un valor de 75%. Para los resultados de mortalidad, biomasa final y conversión alimenticia no hubo diferencia significativa. En cuanto al análisis económico, se determinó que la reversión sexual por inmersión obtuvo un menor costo de producción comparándose con la reversión sexual por vía oral, ya que fue mayor la demanda del agente hormonal, reactivos y mano de obra empleada, por lo tanto es aceptable reemplazar la técnica tradicional por la de inmersión de la hormona. Por lo anterior, la reversión sexual por inmersión es la técnica más indicada para las pequeñas explotaciones de tilapia.

PALABRAS CLAVE:

- **REVERSIÓN**
- *Oreochromis ssp*
- **INMERSIÓN**
- **17α METIL TESTOSTERONA**

ABSTRACT

Aquarium sex reversal was installed in the urban area of the city of Santo Domingo de los Colorados. The objective of this research was to study sex reversal in diploid hormone testosterone methyl α 17 fingerlings. The following treatments were applied: T0 0 mg / l, T1 0.5 mg / l, T2 1 mg / l, T3 1.5 mg / l, T4 2 mg / L T5 2.5 mg / l T6 60 mg / kg which was the traditional technique of reversal. 4 replicates were performed for each treatment, using tubs of 20 liters capacity, where 100 larvae two days old were placed, reaching a total of 400 larvae per treatment. Histological technique to determine population observation was used for assessing the percentage of masculinization. A sex reversal with a p-value of 0.01 for the T5 with a value of 75% was obtained. For the mortality results, final biomass and feed conversion was no significant difference. As the economic analysis, it was determined that sex reversal by immersion obtained a lower production cost comparing with sex reversal orally because it was greater demand for labor used hormonal agent, reagents and therefore is acceptable to replace the traditional technique by immersion of the hormone. Therefore, sex reversal by immersion is the most suitable technique for small tilapia farms.

KEYWORDS:

- **REVERSAL**
- *Oreochromis ssp*
- **IMMERSION**
- **TESTOSTERONE METHYL α 17**

ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL EN TILAPIAS *Oreochromis ssp* POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN CON 17 ALFA METIL TESTOSTERONA

1. INTRODUCCIÓN

La explotación acuícola en el Ecuador es una de las actividades que está experimentando un comportamiento de crecimiento en cuanto al número de hectáreas cultivadas de tilapia en los últimos años, según FAO (2003) se cultivaron en ese año más de 1 800 ha de tilapia. En el año 2014 el Ecuador exportó a Estados Unidos un total de 2 523 868,64 kilos de tilapia (CNA, 2015).

Obteniéndose como resultado una gran demanda de alevines con porcentajes elevados sobre el número de machos, ya que el sexo masculino es el más utilizado para el engorde y comercialización de la carne, debido a que la tasa de crecimiento de la tilapia roja indica que el macho crece dos veces más rápido que la hembra. Alvarado (2015), cultivó la especie *Oreochromis niloticus* en forma separada y obtuvo pesos finales de 429,3 y 339,7 gramos para el macho y la hembra respectivamente.

La reversión sexual es una técnica de las explotaciones acuícolas en donde se utilizan agentes hormonales como andrógenos, estrógenos y ginógenos que alteran químicamente el sexo del pez para la obtención de piscinas mono sexo. Por ejemplo, en los cultivos de tilapia se tiene como preferencia a los peces machos y en truchas a peces hembras.

La técnica más utilizada de reversión sexual en tilapias es por vía oral, en donde la hormona masculinizante es mezclada con el alimento. Con esta técnica se obtienen valores de 100% de masculinización, pero a la vez representan costos muy elevados de producción por la utilización de grandes cantidades de hormona, en cambio con la técnica de reversión sexual por inmersión, la demanda de la hormona es mínima lo que conlleva reducir costos de producción y representaría una solución amigable con el ambiente, no obstante los porcentajes de masculinización son menos eficientes.

La búsqueda de nuevas alternativas de masculinización amigable con el ambiente y económicamente rentable, es lo que muchos criadores de tilapia desean encontrar para

lograr una explotación sostenible y sustentable. Sin embargo los resultados de reversión sexual a través de la técnica por inmersión, son bajos en los cultivos de tilapias en comparación con otras especies que llega al 100% como el salmón. En la región de Santo Domingo no se ha encontrado información sobre la utilización de reversión sexual por inmersión, ya que el más empleado es través del alimento e inclusive hay explotaciones de tilapias que ni siquiera aplican el manejo de reversión sexual, lo que representa bajas en su economía.

Se supondría que los bajos resultados de reversión sexual por inmersión se deben al rápido desarrollo y crecimiento que tiene la tilapia, en donde disminuyen las posibilidades de que el alevín se masculinice totalmente después del tratamiento. Pese a las diversas ventajas que presentan las nuevas técnicas de reversión sexual, no son aplicadas por parte de los productores acuícolas del Ecuador, debido a la falta de información y conocimiento de cuyas técnicas.

La aplicación de la técnica de reversión sexual, representa un valor económico muy elevado para las pequeñas y medianas explotaciones de carne de tilapia, debido a los altos precios de las hormonas que se utilizan, por lo que optarían en no realizar ésta práctica, arriesgando así la rentabilidad de sus cultivos por efecto de una baja homogeneidad del tamaño, peso y conversión alimenticia de las tilapias en las piscinas, ya que los cultivos de 100% machos garantizan una buena producción al momento de la cosecha.

Por tal motivo, el objetivo de ésta investigación pretende evaluar la reversión sexual por inmersión a 5 dosificaciones diferentes de 17α metil testosterona y determinar con que dosis se logra una mayor masculinización, y mediante su análisis económico comprobar que la aplicación de ésta técnica representa una nueva alternativa para los productores de tilapia en la obtención de piscinas mono sexo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la tilapia roja

2.1.1. Origen y distribución de la tilapia

Las tilapias son originarias de África y el Cercano Oriente, realizando las primeras investigaciones en el siglo XIX, gracias a sus favorables características y adaptabilidad se consideraron ideales para la piscicultura rural. A partir de 1924 el cultivo se intensifica progresivamente hasta llevarlo al ámbito mundial (Castillo, 2011).

La tilapia roja aparece mediante una mutación albina en un cultivo artesanal de tilapia *Oreochromis mossambicus* de coloración negra cerca de la población de Taiwán en 1968 (Castillo, 2011).

Esta especie habita las aguas dulces y salobres de África, el Medio Oriente, las zonas costeras de la India, América Central, del Sur y el Caribe, incluyendo a Cuba. Está actualmente distribuida en muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo, incluyendo Asia y Oceanía siendo especies eurihalinas y euritermicos (Pérez y García, 2000).

Según Marcillo y Landívar (2008), afirma que en el Ecuador la especie se cultiva en el Oriente y la región Litoral o Costa, siendo la provincia del Guayas donde se focalizan las mayores áreas de producción, también existe producción en la región Interandina o Sierra, localizados específicamente en los valles o zonas de climas subtropical.

2.1.2. Biología de la especie

2.1.2.1. Aspectos básicos de la tilapia roja

De manera general la tilapia roja presenta una serie de características, dentro de estas se encuentran; requieren condiciones especiales del medio; requiere un completo programa de selección genética, para mantener coloración y calidad; su condición genética y exigencia en rendimientos (crecimiento, carne), obliga a su alimentación con balanceados comerciales; responde en altas densidades de siembra, se adapta fácilmente a altas salinidades; resistencia muy variable a bajas temperaturas; su cosecha es muy sencilla; la condición híbrida de muchas de la líneas, afecta la producción de machos y

hembras, aun después de la inducción sexual; baja viabilidad de huevos, alevinos y juveniles; su coloración y condición mutante la hace más susceptible a perdidas por mortalidad (Castillo, 2006).

2.1.2.2. Clasificación taxonómica

Según el Ministerio de la Producción (2004), su clasificación es:

Phyllum: Vertebrata
Sub Phylum: Craneata
Serie: Piscis
Clase: Teleostomi
Sub clase: Actinopterygii
Orden: Perciformes
Sub orden: Percoidei
Familia: Cichlidae
Género: *Oreochromis*
Especie: *O. niloticus*

La tilapia roja es un tetrahíbrido, es decir un cruce híbrido entre cuatro especies del género *Oreochromis*:

O. mossambicus, *O. niloticus*, *O. hornorum* y *O. aureus*.

En la producción de híbridos, la *O. niloticus* aporta el crecimiento (mayor asimilación), la *O. aureus* aporta la tolerancia al frío y se busca que las características de la *O. mossambicus* y la *O. hornorum* se pierdan; además la *O. niloticus* (gris), sólo presenta un 10% de depredación por aves, mientras que en el cultivo de las tilapias rojas las pérdidas oscilan entre 30 a 35% (Ministerio de la Producción, 2004).

2.1.2.3. Morfología externa

Según (Saavedra, 2006), afirma que el cuerpo de la tilapia es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protáctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal.

2.1.2.4. Diferenciación sexual

Las gónadas femeninas se pueden diferenciar a los siete a diez días de eclosión, mientras que las gónadas masculinas se desarrollan a los dieciséis a veinte días de edad (López, 2002).

2.1.2.5. Hábitos reproductivos

Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez temprana. Las especies de tilapia más comunes, *Oreochromis niloticus*, alcanzan su madurez sexual entre los 30-40 g. En condiciones ambientales favorables las tilapias pueden crecer 30-40 g. en un intervalo de 2-4 meses. Una vez que han madurado, las tilapias pueden realizar la puesta todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24 °C. Las tilapias hembras desovan en múltiples ocasiones. Normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos. Después de la fertilización, uno o ambos padres vigilan cuidadosamente los embriones en desarrollo hasta que eclosionan y las larvas alcanzan el estadio de natación libre (Hurtado, 2005).

2.1.2.6. Hábitos alimenticios

Las materias primas vegetales surgen como una posibilidad en la composición de dietas para los peces disminuyendo los costos de producción en cultivo. Según estudios de (Pineda et al, 2012), han demostrado que los animales son herbívoros con preferencia por material vegetal, posiblemente fitoplancton y microalgas. En los peces el hábito

alimenticio depende, de la especie, el tamaño, la hora del día, el fotoperiodo, la profundidad del agua y la distribución geográfica.

Mientras que (Pérez y García, 2000), muestran el siguiente esquema de alimentación para los cultivos con dietas balanceadas, según la talla de los peces.

- Larvas y alevines hasta 5 cm: Dieta con 35% PB, con una ración diaria del 5% del total de la biomasa, para una temperatura de 22 °C.
- Crecimiento y engorde de alevines de más de 5 cm: Dieta con 22 - 25% PB y ración diaria del 3% del total de la biomasa, si la temperatura es de 22 °C; para temperaturas menores, la ración diaria se disminuye al 1.5% del total de la biomasa.

2.1.2.7. Requerimientos ambientales

Los factores ambientales de mayor importancia para el cultivo de tilapia son:

- Temperatura óptima de 22 a 26°C,
- oxígeno disuelto mínimo de 4 ppm,
- acidez de 5,0 a 9,0,
- pH con un valor ideal de 7,5.

La turbidez del agua es un parámetro que permite establecer su calidad, dado que mayor turbidez (ocasionado por densidades de siembra muy alta o por exceso en la alimentación), aumenta la temperatura, se reduce la concentración de oxígeno, aumenta las enfermedades y se pone en riesgo la vida de los peces. Por lo tanto, es necesario hacer mediciones mediante muestreos diarios de todos estos factores con la ayuda de un kit portátil de laboratorio (SIPSA, 2014).

2.2. Alimentación de tilapias en cultivo de tanques

Según Arteaga (2012), la densidad de población, que es muy alta para los alevines, se disminuye a intervalos regulares en todo el ciclo de producción para reducir el hacinamiento, para asegurar la adecuada la calidad del agua, y utilizar el espacio del tanque eficientemente (Tabla 1).

Tabla 1. Media recomendada y tasas de alimentación para diferentes tamaños y grupos de tilapia en tanques y tasas estimadas de crecimiento.

Cantidad de peces (número/m ³)	Peso (g)		Tasa de crecimiento (g/día)	Período de crecimiento (días)	Tasa de alimentación (%) de peso corporal
	Inicial	Final			
8 000	0,02	0,5 – 1	----	30	20 – 15
3 200	0,5 – 1	5	----	30	15 – 10
1 600	5	20	0,5	30	10 – 7
1 000	20	50	1	30	7 – 4
500	50	100	1,5	30	4 – 3,5
200	100	250	2,5	50	3,5 – 1,5
100	250	450	3	70	1,5 – 1

2.3. Testosterona

Según Vela et al (2009), la testosterona es el andrógeno más representativo de la masculinidad y virilidad, incluyéndose expresiones fenotípicas y genotípicas como los caracteres sexuales secundarios adquiridos paulatinamente a lo largo de la vida.

Según Marcillo y Landívar (2008), la hormona 17 α metil testosterona es el andrógeno más utilizado en los procesos de reversión química de sexo a escala comercial para la producción de alevines mono sexo de tilapia, debido a la ventaja que presenta este fármaco, por su inmediata disolución de sus cristales en alcohol.

2.3.1. Mecanismo de acción de testosterona

Según Hurtado (2005), la acción principal de los andrógenos radica en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios, comportamiento reproductor, maduración de los gametos masculinos, contribuye al crecimiento general y a la síntesis de proteína, lo cual representa mayor masa muscular en los machos a diferencia de las hembras, la testosterona inhibe y suprime la maduración de los folículos ováricos en el sexo femenino, lo que se conoce como fenómeno de virilización.

2.4. Reversión sexual en tilapia por inmersión

Según (Vidal et al, 2008), la técnica de reversión sexual por inmersión se ha desarrollado recientemente y consiste en la inmersión de crías de peces en soluciones con esteroides, para el caso de la tilapia se han utilizado crías de 11 a 13 días post fertilización.

En estudios realizados por (López et al, 2007), se obtuvieron resultados muy prometedores utilizando la reversión sexual de tilapias por la técnica de inmersión, los cuales fueron de 91.8% en donde lo consideraron satisfactorio en comparación con la técnica por vía oral, dando como resultado una alternativa frente a la técnica tradicional. En otros estudios donde se utilizó 1 800 µg/l con el método de inmersión, obtuvieron una eficiencia del 91,6% a 91,8% (Wassermann y Bertolla, 2003).

La técnica de reversión sexual por inmersión tiene un fuerte potencial para ser utilizado en las piscifactorías, pero en las explotaciones de tilapias resulta contradictorio por características de crecimiento acelerados propias de esta especie (Vidal et al, 2008).

Otros autores afirman que los menores porcentajes de mortalidad se obtienen mediante la técnica de reversión sexual por inmersión de tilapias en la etapa de alevinaje (Botero et al, 2011).

2.5. Reversión sexual por vía oral o alimentación

Según Delgadillo (2006), esta técnica es la más utilizada por los productores de tilapia y consiste en la preparación de una mezcla de 60 mg de 17 α metil testosterona por cada kilogramo de alimento balanceado disuelta en un litro de alcohol dejándose secar y alimentar a los alevines durante 28 días. Con esta técnica se han obtenido 100% de masculinización de alevines de tilapia.

2.6. Evaluación de la reversión sexual

Según Menu et al (2005), confirman que la técnica histológica para determinar el sexo de los peces en estadios juveniles tiene un alto grado de confiabilidad de sus resultados en comparación con la técnica manual ya que requiere de personal con alta

experiencia para diferenciar las estructuras de la papila genital, lo que provoca estrés en los animales por el manipuleo.

2.7. Efectos de la 17 alfa metil testosterona en la alimentación humana

Según Jiménez y Arreondo (2000), manifiestan que la utilización de la hormona 17 α metil testosterona en la reversión química de la tilapia tienen una residualidad del 1% lo que no conlleva a un riesgo para el consumo humano, además con el uso de esta hormona se obtienen resultados de hasta 100% de masculinización en el género *Oreochromis*.

Según Enciso (2008), indica que la residualidad de la hormona 17 α metil testosterona en el agua es mínima ya que los resultados por el método de detección cromatográfico fueron negativos por lo que concluyó que los residuos son menores a 0.1 $\mu\text{g/l}$.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del área de investigación

3.1.1. Ubicación política

Provincia: Santo Domingo de los Tsáchilas

Cantón: Santo Domingo

Parroquia: Chiguilpe

Sector: Barrio “La Merced” Coop. Unificados

3.1.2. Ubicación geográfica

Coordenadas: UTM del laboratorio

Norte: 9971303

Este: 0705593

Elevación: 603 m.s.n.m

3.1.3. Ubicación ecológica

Zona de vida: dhT Bosque Húmedo Tropical

Altitud: 603 m.s.n.m.

Temperatura: 22,4°C.

Precipitación: 3 213 mm

3.2. Materiales

Tabla 2. Materiales y equipos que se utilizaron en la investigación

Materiales			Equipos	
Caña Bambú	Tanque 500 l	Hoja de bisturí	Manguera de jardín	Balanza
Plástico	Cruceta $\frac{3}{4}$	Guantes quirúrgicos	Universal $\frac{3}{4}$	Balanza electrónica
Sarán	Cruceta $\frac{1}{2}$	Probeta 100 ml	Cedazo Reducción $\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$	Microscopio
Clavos	Llave de agua	Pipeta 10 ml	Hormona 17 α metil testosterona	Cámara fotográfica
Alambre	Tapón macho $\frac{3}{4}$	Vaso de precipitación 50 ml	Etanol 97%	
Piola	Tapón macho $\frac{1}{2}$	Unión $\frac{1}{2}$	Azul de metileno	
Tina de plástico	Llave de paso $\frac{3}{4}$	Teflón	Ortotolidina	
Tubo PVC $\frac{3}{4}$	Porta objetos	Codo $\frac{1}{2}$	Neutralizador de agua	
Tubo PVC $\frac{1}{2}$	Cubre objetos	Conector de tanque $\frac{1}{2}$	Extensiones eléctricas	
Balaceado T 450 Piscis	Mascarilla	Frasco de vidrio 800 ml	Papel aluminio	
Alevines	Botiquín	Papel aluminio	Aireadores	
Varilla agitadora	Regla milimétrica	Aireadores		

3.3. Métodos

Metodología para la medición del porcentaje de reversión sexual en tilapias a diferente dosificación del agente hormonal 17 alfa metil testosterona por el método de inmersión; realizado en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Paso 1: Instalación del proyecto.

Paso 2: Recibimiento de los alevines y distribución en los diferentes tratamientos.

Paso 3: Reversión sexual por inmersión.

Paso 4: Medición de parámetros productivos.

Paso 5: Determinación del sexo.

Paso 6: Análisis económico

3.3.1. Diseño experimental

3.3.1.1. Factores a probar

El factor a probar son las diferentes dosis de 17 alfa metil testosterona.

3.3.1.2. Tratamientos a comparar

Tabla 3. Tratamientos y dosis de 17 alfa metil testosterona

	TRATAMIENTO						
	0	1	2	3	4	5	6
DOSIS	0 mg/l	0.5 mg/l	1 mg/l	1.5 mg/l	2 mg/l	2.5mg/l	60 mg/Kg alimento

3.3.1.3. Tipo de Diseño

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA).

3.3.1.4. Repeticiones o bloques

Se realizaron 4 repeticiones por tratamiento por lo que dieron un total de 28 unidades experimentales.

3.3.1.5. Características de las Unidades Experimentales (UE)

No. total de tinas: 28

No. alevines por tina: 100

No. total de alevines: 2 800

Diámetro de la tina (m): 0,48

Profundidad de la tina (m): 0,18

Área total de la tina (m²): 0,18

Capacidad (m³): 0,020

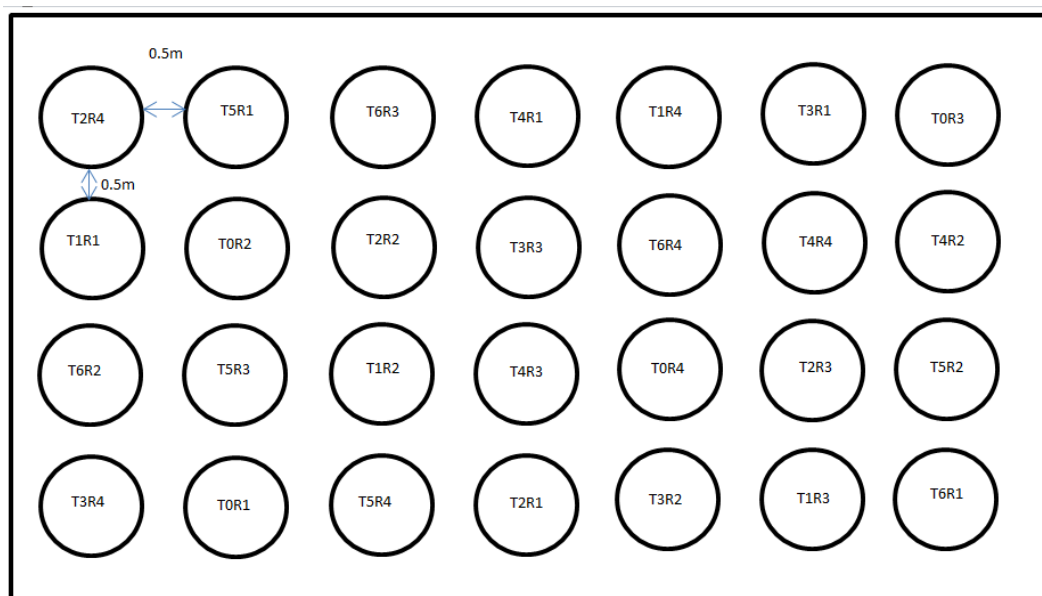
Separación entre tina (m): 0,5

Área útil del ensayo (m²): 4,68

Área total del ensayo (m²): 20

3.3.1.6. Croquis del ensayo

Figura 1. Disposición de los tratamientos en el laboratorio de reversión sexual



Cada tratamiento tiene cuatro tinas de 0,48 m de diámetro con una capacidad de 20 l.

3.3.2. Análisis estadístico

3.3.2.1. Esquema de análisis de varianza

Tabla 4. Esquema de análisis de varianza para reversión sexual.

Fuentes de variación		GL
Tratamiento	$t - 1$	6
lineal		1
Cuadrático		1
Cubico		1
Cuartico		1
Quintico		1
Sixtico		1
Error	$(n - 1) - (t - 1)$	21
Total	$n - 1$	27

3.3.2.2. Coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{X}} \times 100$$

Dónde:

CV: Coeficiente de variación

CMe: Cuadrado medio del error experimental

\bar{X} : Media de los tratamientos

3.3.2.3. Análisis funcional

Se realizó la prueba de significancia de Tukey al 5 % y el análisis de la regresión entre las dosis y las distintas variables evaluadas.

3.3.3. Análisis económico

Método para separar, examinar y evaluar tanto cuantitativa como cualitativamente, las interrelaciones que se dan entre los distintos agentes económicos, así como los fenómenos y situaciones que de ella se derivan.

3.3.4. Variables a medir

3.3.4.1. Parámetros productivos

Mortalidad.- Muerte del alevín de tilapia producida por algún tratamiento.

Biomasa inicial y final.- Cantidad de materia viva presente en cada tratamiento.

Conversión alimenticia.- Es la relación entre la cantidad de alimento consumido y la ganancia de peso vivo logrado durante un período de prueba.

3.3.4.2. Porcentaje de reversión sexual

Es el proceso que consiste en adicionar andrógenos (17 α metil testosterona) al alimento que se les suministra diariamente a los alevines, durante 28 días (después que el alevín ha consumido su saco vitelino), tiempo en donde la tilapia no ha desarrollado sus gónadas sexuales.

3.3.5. Métodos específicos de manejo del experimento

3.3.5.1. Instalación del proyecto

El proyecto se ubicó en la zona urbana de la ciudad de Santo Domingo en la terraza de una vivienda de cemento. La infraestructura del laboratorio de reversión sexual fue de caña guadua con dos aguas y con disponibilidad de agua permanentemente. La línea de agua fue de tubería PVC de 1 y ½ pulgadas, las tinas fueron de plástico con capacidad de 20 l para cada unidad experimental.

Se utilizó un tanque de 1 100 l de capacidad para el abastecimiento de agua a los diferentes tratamientos. El agua a utilizada fue tratada con neutralizador de cloro a una dosis de 1 ml/l. Previamente se realizó el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua a utilizar en Inspectorate del Ecuador S.A. - Bureau Veritas Commodities Division.

3.3.5.2. Recibimiento y distribución de alevines

La procedencia de los alevines fue de una explotación acuícola ubicada en el cantón Yaguachi, ciudad de Guayaquil. Los alevines fueron de 2 días después de la eclosión. Se midió la biomasa inicial lo cual se obtiene multiplicando el número total de alevines por el peso promedio de una muestra representativa del 10%. Por cada tratamiento se necesitó 400 alevines repartidos en 4 repeticiones, lo que resultó en un total de 2 800 alevines para los 7 tratamientos.

3.3.5.3. Metodología para la reversión sexual por inmersión

Basándose en el protocolo propuesto por (López et al, 2007), los alevines fueron sometidos a dos inmersiones con una duración de 3 horas cada una en los días 10, 12 y 14 post eclosión con las siguientes dosis: 0; 0.5; 1; 1.5; 2 y 2.5 mg/l correspondientes a los tratamientos T0 hasta el T5. Para el tratamiento 6 se utilizó el método de reversión por vía oral a través del alimento, el cual se inició desde que el alevín absorbió el saco vitelino. La densidad de los alevines para la reversión consistió en 12 larvas/l dando como resultado 8,33 litros de agua para 100 larvas de cada repetición.

La dosificación requerida de la hormona 17 alfa metil testosterona fue disuelta en etanol al 97% antes de ser aplicada a las tinas de reversión sexual, lo cual se pretende que el etanol esté a una concentración en agua de 0,1%, es decir 8,33 ml de etanol en 8,33 litros de agua en cada tina de reversión por inmersión.

La solución masculinizante de hormona más etanol fue almacenada en frascos de vidrio cubiertas con papel aluminio y en refrigeración. En la tabla 6 se detalla la cantidad de hormona masculinizante que se necesitó para cada tratamiento.

La solución masculinizante fue aplicada en las tinas de reversión con ayuda de la pipeta, y se mezcló por la acción de aireadores. Luego de haber cumplido las 3 horas de inmersión se realizó el recambio de agua lentamente con el fin de no causar trastornos a los alevines producidos por los cambios bruscos de temperatura.

Se realizó una inmersión en la mañana y otra en la tarde. Todo este procedimiento se llevó a cabo en los días 10, 12 y 14 post eclosión, después de la última inmersión los alevines estuvieron en una densidad 8 larvas/l hasta el día 30.

Se utilizó el balanceado Giscis T 450 para la alimentación de los alevines, en la tabla 5 se muestran las tasas y frecuencias de alimentación durante la investigación. Para mantener una adecuada sanidad en las tinas se realizó un recambio de agua cada 7 días.

Tabla 5. Tasas y frecuencia de alimentación

Etapa	Rango de peso (g)	Cantidad de alimento (% biomasa)	Frecuencia de alimentación
Levante	1.0 – 10	8	6 veces al día. 3 en la mañana y 3 en la tarde.
	10.1 – 15	5	
	15.1 – 20	4.5	
	20.1 – 30	4	
Pre engorde	20 – 50	4	

Tabla 6. Cantidad de solución masculinizante requerida por tratamiento

Tratamiento	Dosis (mg/l)	Tina de reversión (l)	Concentración Etanol 0.1% (ml)	Dosis total (mg)	# inmersiones	# repeticiones	Total hormona (g)
0	0	8.33	8.33	0	6	4	0
1	0.5	8.33	8.33	4.17	6	4	0.09
2	1	8.33	8.33	8.33	6	4	0.20
3	1.5	8.33	8.33	12.49	6	4	0.30
4	2	8.33	8.33	16.66	6	4	0.40
5	2.5	8.33	8.33	20.83	6	4	0.50
6	60*	-	-	216	-	4	0.85
Total							2.34

* 60 mg/kg reversión sexual por vía oral

3.3.5.4. Medición de los parámetros productivos

Se midieron al final de la investigación en el día 30 post eclosión de los alevines los siguientes parámetros productivos que son biomasa inicial y biomasa final de cada tratamiento. La fórmula del cálculo de la biomasa se multiplica el número de peces por el peso promedio.

Para la conversión alimenticia (CA) se realizará la siguiente fórmula:

$$CA = \frac{\text{alimento consumido (g)}}{\text{ganancia de peso (g)}}$$

Para el parámetro de mortalidad (m) se realizará la siguiente fórmula:

$$m = \frac{\text{alevines muertos}}{\text{total de alevines}} \times 100$$

La toma de datos sobre este parámetro fue diariamente hasta el final de la investigación.

3.3.5.5. Determinación del sexo

Se realizó por el método histológico en los laboratorios de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en la facultad de Ingeniería Agropecuaria. La elección de dicha técnica propuesta por Menu et al (2005), se debe a que ofrece resultados más confiables al momento de determinar el número de machos, hembras y sexo no determinado.

Las larvas fueron extraídas de la tina en el día 31 post eclosión y se les realizó un corte ventral para dejar expuesto las gónadas que fueron extraídas y colocadas en un portaobjetos y fijados con azul de metileno al 3%, se colocó el cubreobjetos y se realizó un leve aplastamiento “squash” para ser observado en el microscopio.

Si se observa la presencia de oocitos con núcleos teñidos y citoplasma oscuro será catalogado como hembra, si se observa un tejido con aspecto grumoso será catalogado como macho y finalmente si se observan oocitos en presencia de tejido grumoso el pez será catalogado como sin sexo determinado.

3.3.5.6. Determinación del análisis económico

Se realizó una estimación y comparación de costos entre los tratamientos, la cual consistió en llenar un cuadro resumiendo todos los costos que implicó cada tratamiento, para determinar qué tratamiento es el más viable dependiendo del porcentaje de reversión sexual alcanzado y de su valor económico invertido. Debido a que se sacrificó el 100% de los alevines para su evaluación, no se obtuvieron ingresos por su respectiva venta.

4. RESULTADOS

4.1. Parámetros físicos

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos del agua durante la investigación.

Parámetros	Tratamientos						
	0	1	2	3	4	5	6
Oxígeno disuelto (mg/l)	6,29	6,67	6,31	6,89	6,25	6,32	6,73
Temperatura (°C)	22,06	22,75	22,38	22,42	22,58	22,1	22,39
pH	7,5	7,1	7,5	7,5	7,3	7,4	7,5

Los parámetros fisicoquímicos del agua fueron iguales en todos los tratamientos, el oxígeno disuelto estuvo en un promedio de 6,49 mg/l; la temperatura de 22,38 °C y el pH de 7,4 durante toda la investigación. Estas condiciones fueron adecuadas para el desarrollo normal del alevín, a excepción de la temperatura que se encontró en un valor relativamente bajo ya que el óptimo se encuentra entre 24 y 32°C.

4.2. ADEVA del estudio de la reversión sexual en tilapias por inmersión utilizando 17 alfa metil testosterona

La variable de reversión obtuvo un p-valor de 0,01 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta que, usando la reversión sexual en tilapia por el método de inmersión con la hormona 17 α metil testosterona se logró una diferencia significativa. En cambio, en las variables productivas de mortalidad, biomasa final y conversión alimenticia el p-valor fue de 0,12; 0,44 y 0,84 respectivamente, demostrando que la aplicación de diferentes dosis de 17 α metil testosterona en el agua y en el alimento no afectó de manera significativa.

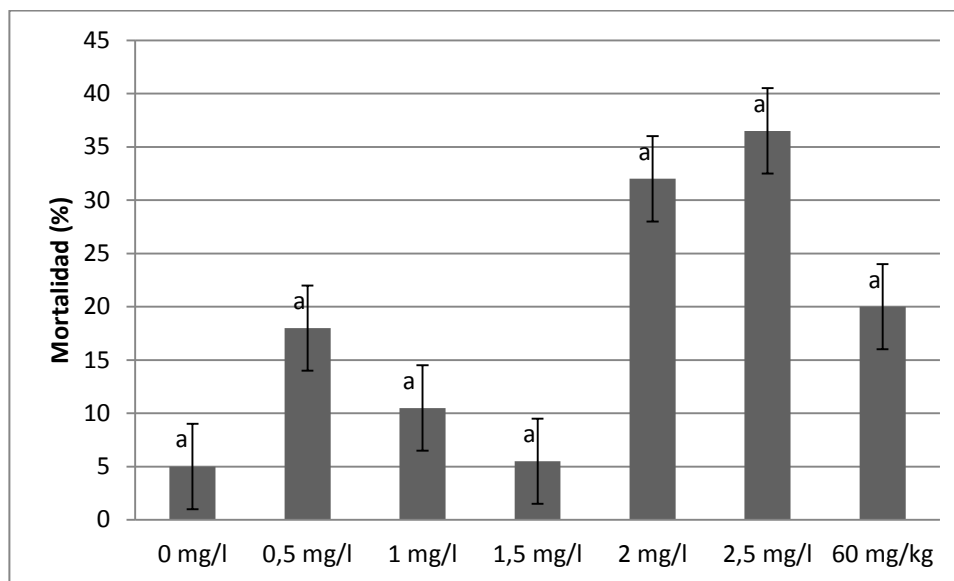
Tabla 8. Análisis de varianza para mortalidad, reversión, biomasa final y conversión alimenticia.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		Mortalidad (%)	Reversión (%)	biomasa final (g)	Conversión alimenticia
Tratamientos	6	9,85 ns	284,75 *	1127,32 ns	20,45 ns
Error experimental	21	5,11	76,99	1107,08	46,62
Total	27				
Coefficiente de variación		63,27	13,99	47,95	39,96
p-valor		0,1232	0,0115	0,4405	0,8447

* Significativo
ns No significativo

4.2.1. Mortalidad

Gráfico 1. Análisis de la mortalidad en alevines con las diferentes dosificaciones de la hormona 17 alfa metil testosterona por inmersión y a través del alimento.

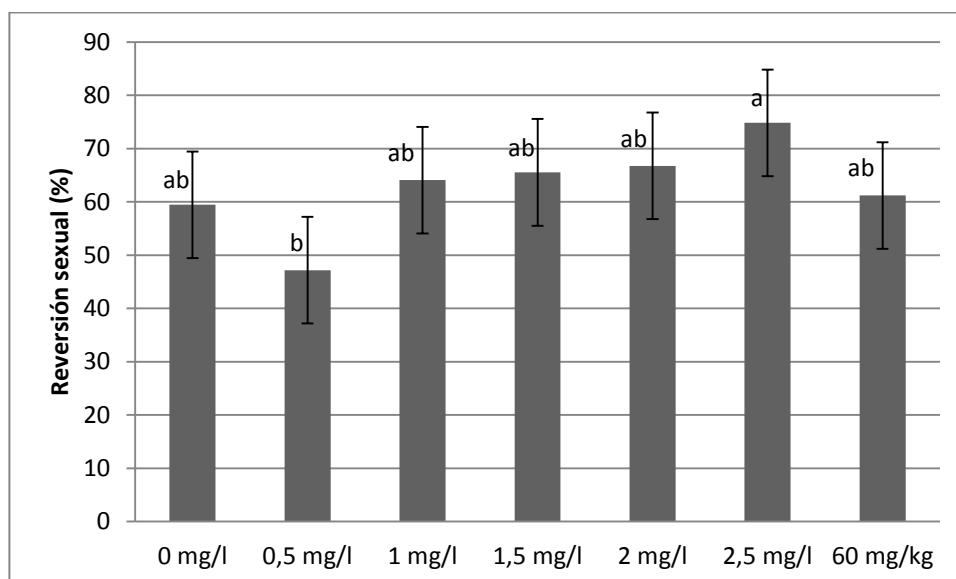


De los tratamientos que pertenecen a la inmersión con la hormona masculinizante, el T3 (1,5 mg/l) obtuvo el mejor índice de mortalidad, consiguiendo el menor porcentaje de 5,5 siendo muy similar con el tratamiento testigo el cual fue del 5%. Las dosificaciones

de 2 mg/l (T4) y 2,5 mg/l (T5) fueron las más desfavorables, alcanzando altos porcentajes de 32 y 36,5 respectivamente. El T6 (60 mg/kg) que fue de reversión sexual por el método de vía oral, consiguió una mortalidad de 20%, que comparándose con el T1 (0,5 mg/l) sólo lo superó con un 2%.

4.2.2. Reversión sexual

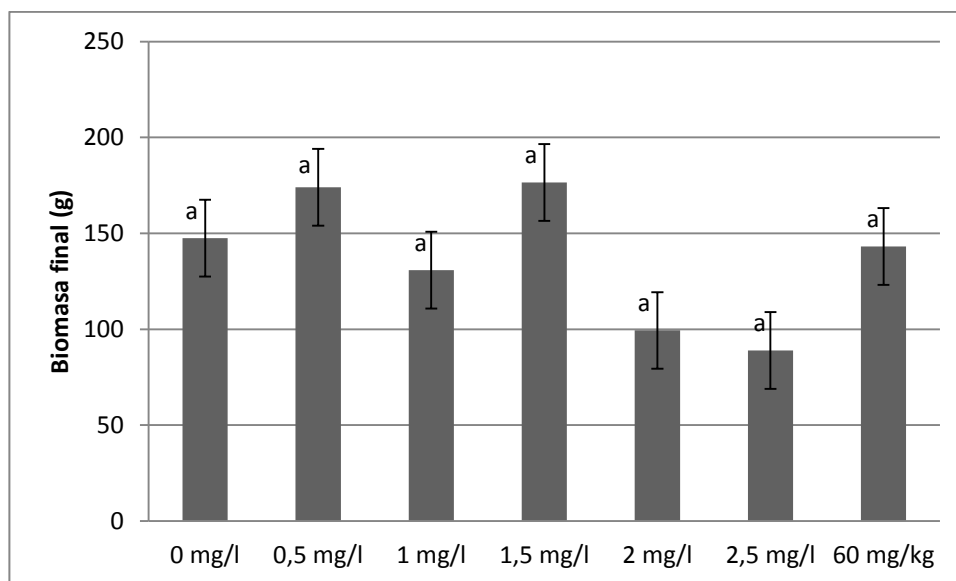
Gráfico 2. Comportamiento de la reversión sexual por inmersión y a través del alimento en alevines de tilapia sometido a diferentes dosificaciones de la hormona 17 alfa metil testosterona.



El mejor tratamiento fue el T5 (2,5 mg/l) con un porcentaje de reversión de 74,82. Seguidamente se obtuvieron los siguientes porcentajes: 59,44 (T0); 64,06 (T2); 65,53 (T4) y 66,75 (T4) los cuales fueron estadísticamente iguales, incluyéndose el tratamiento 6 con un porcentaje de 61,2 donde la hormona a diferencia de los tratamientos anteriores fue disuelta en el alimento balanceado con dosis de 60 mg/kg. El tratamiento con el menor efecto de masculinización fue el T1 (0,5 mg/l) con un porcentaje de 47,17, ya que fue ésta la menor dosificación de la investigación.

4.2.3. Biomasa final

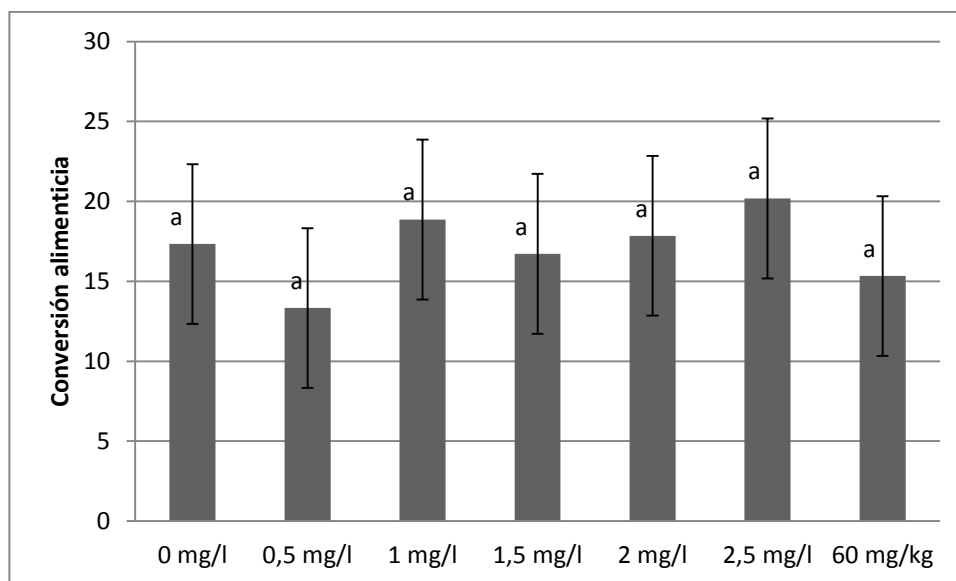
Gráfico 3. Análisis de la biomasa final de los alevines de tilapia obtenida en 100 días de edad en los diferentes tratamientos de inclusión de la hormona masculinizante por inmersión y por vía oral.



La mayor biomasa conseguida pertenece a los tratamientos por inmersión T1 y T3, debido a que éstos presentaron menor porcentaje de mortalidad y obtuvieron un peso total de 174 y 177 g respectivamente, superando al tratamiento de reversión por vía oral que fue de 143 g. Los tratamientos con menor biomasa acumulada corresponde a las dosificaciones más elevadas del andrógeno, T4 (2 mg/l) con 99 g y T5 (2,5 mg/l) con 89 g. Los pesos que se presentaron en 100 días de investigación fueron muy bajos en todos los tratamientos, debido a que la densidad que se empleó fue muy elevada, ya que el objetivo a conseguir carecía de importancia en el mejoramiento del crecimiento y engorde de la tilapia, sino exclusivamente a la eficiencia de la inmersión de la hormona en la reversión sexual.

4.2.4. Conversión alimenticia

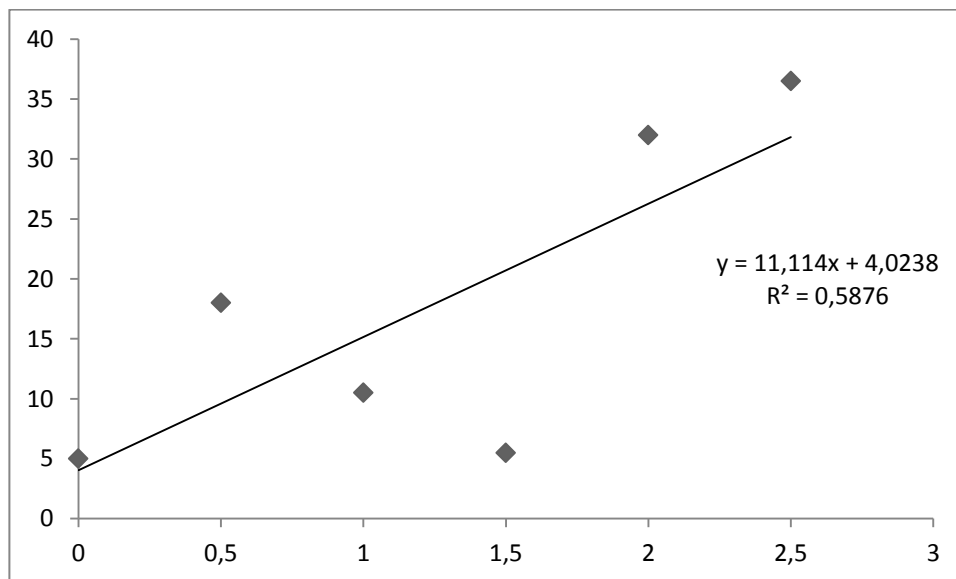
Gráfico 4. Comportamiento de la conversión alimenticia de alevines de tilapia como resultado de la aplicación de diferentes dosis de la hormona 17 alfa metil testosterona por inmersión y a través del alimento.



Se estimó que el total de alimento consumido por los alevines en 100 días de edad fue de 25 g, debido a que las raciones diarias de balanceado fueron iguales durante toda la investigación y la difícil determinación de la cantidad de alimento desperdiciado que se retiraba en la limpieza de fondo de las tinas de reversión. El análisis indicó que la inclusión de la hormona masculinizante en el agua, no interfiere de forma significativa en ninguna de las dosificaciones evaluadas: T0 (17,33); T1 (13,33); T2 (18,86); T3 (16,72); T4 (17,85) y T5 (20,18), sucediendo de igual manera para el tratamiento de reversión por vía oral T6 (15,33).

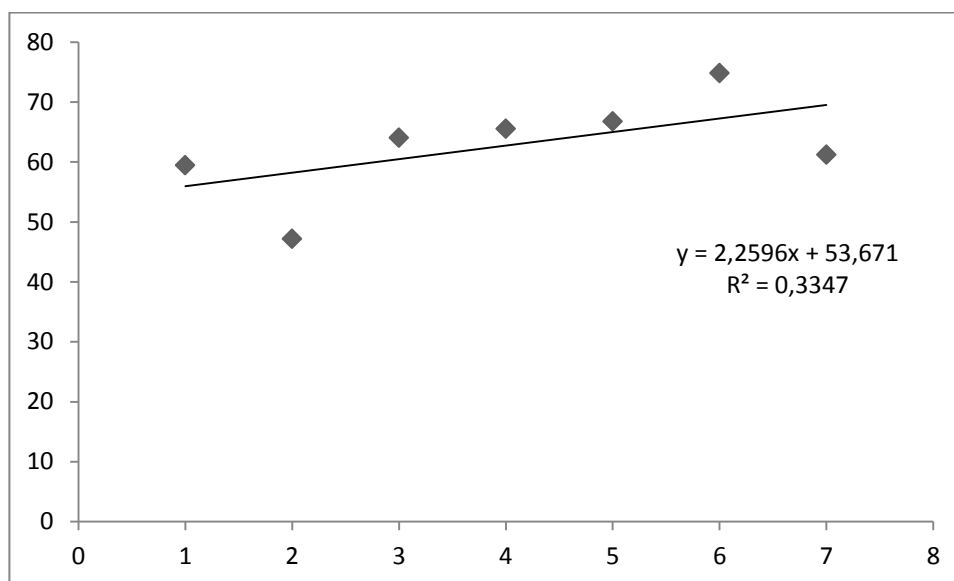
4.2.5. Análisis de correlación de las diferentes dosis de 17 alfa metil testosterona para la mortalidad y reversión sexual

Gráfico 5. Contraste lineal del porcentaje de la mortalidad en alevines de tilapia.



Sólo en el contraste lineal se obtuvo un p-valor de 0,018 indicando que, a mayor dosis de hormona masculinizante en el agua, mayor es el porcentaje de mortalidad. Además el valor de R² manifestó que el 41% de la mortalidad no dependió de la inclusión de la hormona en el agua, sino que se debió a factores que se hallaron fuera del control de la investigación.

Gráfico 6. Contraste lineal del porcentaje de la reversión sexual en alevines de tilapia.



Sólo para el contraste lineal se obtuvo un p-valor de 0,0025 manifestando que, mientras se aumentaba la dosis de la hormona en el agua, el incremento del número de alevines machos en las tinajas de reversión sexual fue afectado positivamente. El valor de R^2 presentó que sólo el 37% de la reversión sexual no se encontraba dentro de las condiciones controladas, debiéndose a factores externos a la investigación.

Para las demás variables que fueron biomasa final y conversión alimenticia no se encontraron valores significativos de p-valor $< 0,05$ en los contrastes lineales, interpretándose que los incrementos de la dosificación de la hormona en el agua no afectaron de forma significativa la biomasa final y la conversión alimenticia de los alevines.

4.3. Análisis económico

Tabla 9. Estimación y comparación de costos entre los tratamientos y el porcentaje de reversión sexual alcanzado.

Descripción	Tratamientos						
	0	1	2	3	4	5	6
Recursos humanos	74,28	74,28	74,28	74,28	74,28	74,28	74,28
Recursos físicos	183,21	184,29	185,61	186,81	188,01	189,21	203,73
Servicios básicos	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21	7,21
Imprevistos	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14
Total	266,84	267,92	269,24	270,44	271,64	272,84	287,36
% Reversión sexual	59	47	64	66	67	75	61

Los costos de la tabla 8 solo corresponden al primer mes de vida del alevín, ya que dentro de ese tiempo los tratamientos hormonales fueron aplicados. Los tratamientos T2 hasta el T4 tuvieron costos y porcentajes de reversión similares. El tratamiento 0 obtuvo el menor costo de \$ 266,84 notoriamente por la ausencia de la hormona, pero su reversión sexual de 59% no es favorable, al igual que el tratamiento 1 que con una inversión de \$ 267,92 sólo se alcanzó el 47% de reversión sexual.

El tratamiento más costoso fue el T6 con \$ 287,36 debido a su metodología de reversión a través del alimento, el cual demandó de una mayor cantidad del andrógeno y de etanol, pero su porcentaje de reversión no fue el más alto, logrando solo el 61%.

En comparación con el T6, el T5 fue el más rentable, debido a que resultó ser más económico obteniendo un costo total de \$ 272,84 y su porcentaje de reversión fue el más alto de 75%. Siendo éste el más adecuado para la aplicación del pequeño y mediano productor, ya que con menos inversión, mayor es el aprovechamiento de la hormona para la reversión sexual de los alevines.

5. DISCUSIÓN

5.1. Mortalidad

La mayor mortalidad en todos los tratamientos fue alcanzada en las primeras semanas de vida del alevín. Dentro de los tratamientos con porcentajes de mortalidad más elevados correspondieron a la metodología de reversión por inmersión y fueron el T4 (2 mg/l) con 32% y el T5 (2,5 mg/l) con 37%, pero dichos valores son aceptados en el primer mes de crecimiento y desarrollo de los alevines en una producción acuícola.

El factor que más influyó en la mortalidad fue el estrés provocado por la limpieza de fondo que se realizaba todos los días en las tinas de los tratamientos, ya que el pequeño tamaño de los alevines los hace muy vulnerable a los posibles golpes y a la manipulación.

Además se notó la presencia de la enfermedad Saprolegniasis en las tinas de reversión en el día 10 de edad de los alevines, ya que los síntomas presentados concuerdan visualmente con la investigación de Panchai et al (2015), se observó la infestación de hifas en la cabeza, la aleta dorsal y el pedúnculo caudal.

5.2. Reversión sexual

La diferencia significativa indicó que la creciente dosificación de la hormona 17α metil testosterona incluida en el agua, si interfirió de manera positiva con el porcentaje de reversión sexual de los alevines. El mejor tratamiento fue el T5 (2,5 mg/l) alcanzando un valor de reversión del 75%. En la figura 2 se muestra la evaluación histológica de las gónadas sexuales de los alevines a los 100 días de edad.

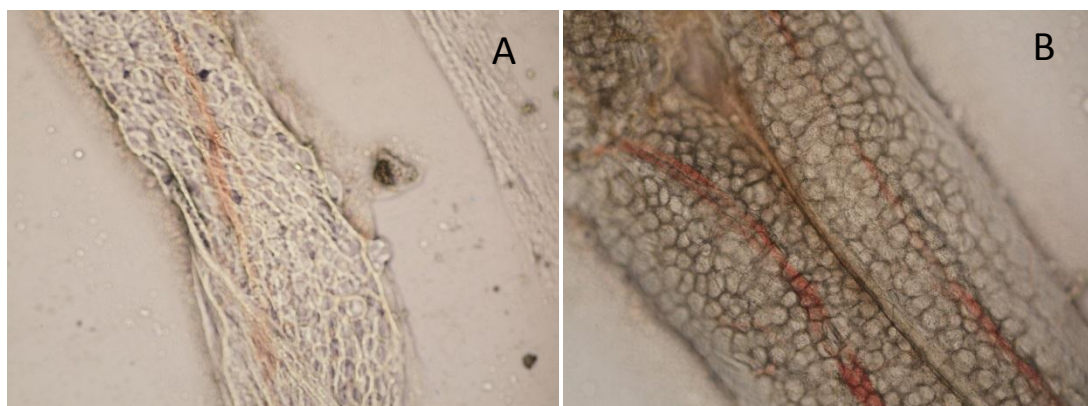


Figura 2. Gónada sexual femenina de alevín de tilapia a los 100 días de edad, oocitos con núcleos teñidos (flechas) (40 X). B: Gónada sexual masculina de alevín de tilapia a los 100 días de edad, tejido con aspecto grumoso (40X).

En la investigación de Miranda et al (2008) obtuvo un resultado de 85% de reversión sexual con dos inmersiones de cuatro horas cada una de 17α metil testosterona, a una dosis de 1,8 mg/l en los días 10 y 14 post eclosión de los alevines, a su vez, utilizando la misma hormona e iguales dosis, número de inmersiones y días post eclosión de alevines (López et al, 2007), obtuvo una reversión sexual de 92%.

Existió una marcada diferencia entre los porcentajes de reversión sexual alcanzados entre ésta investigación con las mencionadas anteriormente, esto puede deberse a que se utilizó agua potable para el abastecimiento diario de las tinas de reversión, por lo que se presume que los químicos y reactivos que se aplican en las plantas de tratamiento para evitar el desgaste de las tuberías y la eliminación de microorganismos (ISA, 2015), hayan inhibido de alguna manera la acción de la hormona en la inducción del sexo del alevín.

Debido a que la metodología de reversión sexual por inmersión requiere generalmente de una instalación muy equipada de acuarios, se pueden utilizar otras hormonas masculinizantes como en la evaluación de Gale et al (1996), con inmersiones de tres horas cada una en los días 10 y 13 post eclosión con 17α metil di hidrox testosterona a una dosis de 0,5 mg/l alcanzó un porcentaje de reversión del 100% en una de sus réplicas y Arias (1995) utilizó 90 mg/kg de Mesterolona obteniendo una reversión a través del alimento de 90%, superando al T6 (60 mg/kg) con un 29%, por lo que la

mayor dosificación de Mesterolona podría ser mejor utilizada para la producción de alevines monosexo en acuarios (Marcillo y Landívar, 2008).

5.3. Biomasa final y conversión alimenticia

Cada tratamiento inició con una biomasa de 6 g, después de 100 días la biomasa final fue de 137 g y el peso vivo promedio del alevín alcanzó un valor de 1,7 g. En una producción de tilapias se espera que el alevín tenga un peso vivo de 120 g a los 100 días de edad. Así mismo, la conversión alimenticia promedio conseguida en la investigación fue de 17 en todos los tratamientos, siendo satisfactoria la conversión alimenticia de 1,5 en las piscinas de engorde.

Esta situación de la biomasa final y la conversión alimenticia se debió a que la densidad utilizada para la investigación fue de 8 000 alevines/ m³ recomendada por Arteaga (2012), para la cría de tilapia en tanques en el primer mes de edad, pero se requirió que los alevines permanezcan durante más tiempo con el objetivo de que desarrollen más las gónadas sexuales y facilitar la evaluación histológica.

Otro posible factor que aconteció a lo mencionado anteriormente, fue la competencia por alimento, debido a que los alevines no fueron transferidos a tinas más grandes después de los 30 días de edad, por lo que su adecuado desarrollo resulto afectado.

5.4. Análisis económico

Comparando los costos finales entre los tratamientos, se obtuvo que la técnica de reversión sexual por inmersión fue más rentable que la de reversión por vía oral a través del alimento, corroborando así con los estudios de López et al (2007) y Miranda et al (2008). Aunque el porcentaje de masculinización no es tan eficiente como el método tradicional, representa una buena alternativa para el mediano productor de tilapia, ya que la técnica de reversión por inmersión demanda de menores cantidades de hormona, mano de obra y tiempo de ejecución.

6. CONCLUSIONES

- La masculinización obtenida con la metodología de reversión sexual por inmersión resulto ser más eficiente, ya que la inducción del alevín no depende de la cantidad de alimento consumido, contrario a lo que sucede en una reversión por vía oral a través del alimento, sino solo a la concentración de la hormona en el agua, implicando una mejor asimilación del andrógeno por parte de los alevines tratados.
- La técnica de evaluación histológica es muy exacta para determinar el sexo del alevín a temprana edad, por lo que el tamaño de la muestra debe ser altamente representativa con el menor número de ejemplares posible, a fin de no causar pérdidas económicas considerables por el sacrificio de los alevines.
- La técnica de reversión por inmersión resultaría ser más amigable con el ambiente, ya que 2,5 mg/l de hormona masculinizante en el agua es mucho más bajo que 60 mg/kg utilizados en la técnica tradicional, por lo que se generan menores cantidades de residuos en el agua.
- Con la utilización de la técnica de inmersión en el proceso de reversión sexual se obtiene una mejor rentabilidad, porque su costo de producción es menor, justificando así su reemplazo de ésta técnica por la de reversión sexual por alimento.

7. RECOMENDACIONES

- Para el proceso de reversión sexual por inmersión se requiere tener una adecuada instalación de aireación, para asegurar la correcta mezcla de la hormona en el agua y así evitar que el porcentaje de masculinización se vea comprometida.
- Constar de un plan riguroso para el manejo de densidades y así lograr un adecuado crecimiento y desarrollo del alevín al momento de la cosecha.

- Equiparse de un sistema de filtrado de agua para evitar el ingreso de microorganismos y zoosporas causantes de enfermedades que aumenten los valores de mortalidad.
- Realizar cuidadosamente la limpieza de fondo y el recambio de agua para no causar estrés en los alevines.

8. BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, C. (2015). Comparación del crecimiento de machos y hembras de la tilapia *Oreochromis niloticus* cultivadas en jaulas. *Uniciencia* no. 29 (1):1-15.
- Arias, HA. (1995). Determinación de la eficiencia de la hormona Mesterolona (ME) como tratamiento de reversión química del sexo frente a la metiltestosterona (MT) para la tilapia híbrida roja (*Oreochromis mossambicus*). Guayaquil- Ecuador: Tesis de grado 99p.
- Arteaga, L. (2012). Cría de la tilapia en tanques. Recuperado el 24 de noviembre de 2016, de <http://criadetilapiaentanques.blogspot.ru>
- Botero, M., Pineda, J., & Gallego, N. (2011). Inmersión de ovas de tilapia roja (*Oreochromis spp.*) en diferentes estadíos de fertilización en una solución de 17 alfa-metiltestosterona y la proporción fenotípica del sexo. *Colombiana de Ciencias Pecuarias* no. 24 (1): 38 - 47.
- Castillo, L. (2011). Una evolución de 29 años, de la incertidumbre al éxito. Cali, Colombia. 5p.
- Castillo, L. (2006). Una evolución de 29 años, de la incertidumbre al éxito. *Alevinos del Valle* no. 6-66: 9
- CNA (Cámara Nacional de Acuicultura). (2015). Exportaciones de Tilapia Ecuatoriana a EEUU - Diciembre 2014. Recuperado el 15 de enero del 2016, de <http://www.cna-ecuador.com/estadisticas-cna/tilapia/1645-estadisticastilapia-diciembre-2014>
- Delgadillo, S. (2006). Proceso de hormonización de crías de tilapia: análisis y alternativas. Recuperado el 20 de marzo del 2016, de https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA7/Memorias/soledad_delgadillo.doc
- Enciso Lizarraga, SR. (2008). Inducción a la Inversión Sexual de la Cabrilla Arenera (*Paralabrax maculatofasciatus*) Mediante la Administración Oral de la Hormona 17 alfa metil testosterona. Tesis de maestría en ciencias en manejo de RRHH. La Paz-México. CICIMAR. 44 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2003). Resumen Informativo sobre la pesca por países: La República del Ecuador. Recuperado el 12 de septiembre del 2015, de <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/ecu/profile.htm>
- Gale, W., Fitzpatrick, M., & Schreck, C. (1996). Masculinization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through immersion in 17 α -methyltestosterone or 17 α -methyl-dihydrotestosterone. CRSP.Thirteenth.Annual.Technical.Report.96-100.
- Hurtado, N. (2005). Inversión sexual en tilapias. Recuperado el 27 de marzo del 2016., de http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf
- ISA (Ingeniería y Servicios Ambientales). (2015). Plantas Compactas Tipo Paquete Para el Tratamiento del Agua. Recuperado el 20 de Noviembre del 2016, de http://isa.ec/images/documentos/plantas_agua_potable/Para%20Tratamiento%20de%20Agua%20Potable.pdf
- Jimenez, M., & Arredondo, J. (2000). Manual Técnico Para la Reversión Sexual de Tilapia. Iztapalapa - México. 35p.
- López, C., Carvajal, D., & Botero, M. (2007). Masculinización de Tilapia Roja (*Oreochromis spp*) por Inmersión Utilizando 17 alfa-metiltestosterona. Colombiana de Ciencias Pecuarias no. 20: 318 - 326.
- López, F. (2002). Seminario "Cultivo Industrial de Tilapia". Quito-Ecuador. Primera edición 72p.
- Marcillo, E., & Landívar, J. (2008). "Tecnología de producción de alevines monosexo de tilapia" (diapositiva). Guayaquil- Ecuador.
- Menu, B., Peruzzi, S., Vergnet, A., Odile, M., & Chatain, B. (2005). A shortcut method for sexing juvenile European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. Aquaculture Research no. 36(1): 41 - 44.

- Ministerio de la Producción. (2004). Cultivo de tilapia. Dirección nacional de acuicultura. Lima- Perú. 5p.
- Miranda Cerritos, J.L., Cerros Rodríguez, R.A., & 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. San Vicente- San Salvador. Tesis Ing. Agrónomo. 87 p.
- Panchai, k., Hanjavanit, C., Rujinanont, N., Wada, S., Kurata, O., & Hatai, K. (2015). Experimental pathogenicity of *Achlya* species from cultured Nile tilapia to Nile tilapia fry in Thailand. *AAAL Bioflux*. 8 (1): 70-81.
- Pérez, S., & García, M. (2000). Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe. La Habana- Cuba. 85p.
- Pineda, H., Zuluaga, C., & Vertel, D. (2012). Evaluación de la morfometría y del hábito alimenticio en tilapia roja *Oreochromis sp.* y tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* var. Chitralada bajo diferentes condiciones de manejo en dos grajas piscícolas del occidente antioqueño. *Revista politécnica* no. 14 (1): 97 – 98
- Saavedra, M. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Recuperado el 26 de noviembre del 2016, de <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- SIPSA (Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario), (2014). El cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en estanques de tierra, fuentes de proteína animal de excelente calidad. *Boletín mensual* no. 21(1): 2.
- Vidal, J., Contreras, W., Álvarez, C., Hernández, A., & Hernández, U. (2008). Técnicas de Reversión Sexual Aplicadas en Acuicultura. *Kuxulkab´*. 15 (27): 49 - 54.
- Vela, R., García, M., Pardo, M., Jiménez, P., & López, A. (2009). Testosterona, función endotelial, salud cardiovascular y androgenodeficiencia del varón añoso. *Arch. Esp.* 62 (3): 173 – 178

Wassermann, G., & Bertolla, L. (2003). Sex reversal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) by androgen immersion. *Aquaculture Research* no. 34 (1): 65 - 71.