



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“REVERSIÓN SEXUAL EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HORMONA MASCULINIZANTE 17 A-
METILTESTOSTERONA EN ALEVINES GINOGENÉTICOS.”**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR:

DIEGO ARMANDO TOCAÍN BOLAÑOS

DIRECTORA:

ING. ELEONORA MELISSA LAYANA BAJANA MSC

Ibarra - Ecuador

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

**“REVERSIÓN SEXUAL EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*)
MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HORMONA MASCULINIZANTE 17 A-
METILTESTOSTERONA EN ALEVINES GINOGENÉTICOS”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación
como requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Melissa Layana MSc

DIRECTORA



FIRMA

Lic. Ima Sánchez MSc

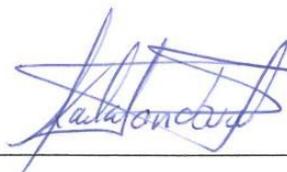
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Carla Sandoval MSc

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Marcelo Albuja MSc

MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100364706-0		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tocaín Bolaños Diego Armando		
DIRECCIÓN:	Brasil 9-54 y Puerto Rico		
EMAIL:	adiegotb@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062 602-197	TELÉFONO MÓVIL:	0992514985

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Reversión sexual en la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) mediante la aplicación de la hormona masculinizante 17 α -metiltestosterona en alevines ginogenéticos.
AUTOR (ES):	Tocaín Bolaños Diego Armando
FECHA: DD/MM/AAAA	28/11/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	ING. Eleonora Melissa Layana Bajana MSc

2. CONSTANCIAS

El autor Diego Armando Tocaín Bolaños manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019

EL AUTOR:

Diego Armando Tocaín Bolaños

ACEPTACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019



Firma

Diego Armando Tocaín Bolaños

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Tocaín Bolaños Diego Armando, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Layana', is written over a horizontal line.

Ing. Eleonora Melissa Layana Bajana MSc
DIRECTORA DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Diego Armando Tocaín Bolaños, con cédula de identidad Nro. 100364706-0, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **REVERSIÓN SEXUAL EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HORMONA MASCULINIZANTE 17 A-METILTESTOSTERONA EN ALEVINES GINOGENÉTICOS**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROPECUARIO** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019



Firma

Tocaín Bolaños Diego Armando

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019

Tocaín Bolaños Diego Armando: **“REVERSIÓN SEXUAL EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HORMONA MASCULINIZANTE 17 α -METILTESTOSTERONA EN ALEVINES GINOGENÉTICOS”** /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a Ibarra, a los 28 días del mes de noviembre de 2019, 65 páginas.

DIRECTORA: Ing. Eleonora Melissa Layana Bajana MSc

El objetivo principal de la presente investigación fue: Producir neomachos en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante la aplicación de la hormona masculinizante 17 α -metiltestosterona en alevines ginogenéticos. Entre los objetivos específicos se encuentran: 1- Realizar una caracterización física en función del peso y talla durante el tiempo de crecimiento de la trucha arcoíris una vez aplicada la hormona. 2- Evaluar los porcentajes de reversión sexual en la trucha arcoíris mediante la aplicación de la hormona 17 α - metiltestosterona para producción de neomachos.3 - Determinar la relación beneficio – costo de los tratamientos en estudio para la identificación de la rentabilidad de la hormona en la producción de neomachos.



Ing. Eleonora Melissa Layana Bajana MSc
Directora de Trabajo de Grado



Tocaín Bolaños Diego Armando

Autor

AGRADECIMIENTO

A mi padre, madre y hermano por todo el apoyo que me han brindado, en mi etapa estudiantil para superar este reto y seguir mis grandes sueños aunque parezcan locos sé que cada día que pasa estoy más cerca de ellos.

Al Ing. Alejandro De la Roche, gracias por apoyarme con sus grandes conocimientos los cuales fueron muy fundamentales en la presente investigación y recibirme con las puertas abiertas en el Centro de Investigaciones Acuícolas – CENIAC y a todo su personal por su apoyo en la investigación.

A la Universidad Técnica del Norte con su carrera de Ingeniería Agropecuaria, a todos los ingenieros que me ayudaron con sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional.

A los docentes que formaron parte de esta investigación, como la Ing. Lennys Berutti que creyó en esta investigación, a mi directora Ing. Melissa Layana que me motivo en este camino, y más que una guía es una amiga; a mis asesores como la MSc. Ima Sánchez, Ing. Carla Sandoval e Ing. Marcelo Albuja, quienes me ayudaron de una u otra manera a cumplir este reto. De igual manera agradezco a la coordinadora de la carrera Ing. Majito Romero por todo su apoyo y motivación para seguir con mi investigación.

A mis amig@s Ing. Stefy, MaBelén, Juan, Angélica, Sisa, Javier, Pancho que siempre han estado en esta etapa de vida, que es como una montaña rusa de subidas y bajadas que al final es emocionante e inolvidable. De igual manera a mis amig@s Vere, Luis, Pao y Margarita que se cruzaron en esta pasión de la acuicultura.

Diego Tocaín Bolaños

DEDICATORIA

A:

Mi tía Gladys quien puso toda su confianza y apoyo incondicional, durante mi formación académica.

Mis padres Luis y Genny los cuales son mis pilares para seguir con mis sueños, quienes que con su ejemplo y sabios consejos me han sabido guiar por el camino correcto, y gracias a su esfuerzo pude culminar mi carrera universitaria.

Mi hermano Hugo, mis abuelitos Pedro y Esmeralda y tíos que siempre ha tenido una palabra de aliento y nunca me dejaron decaer. Gracias por esa unión familiar.

Todos mis amig@s que estuvieron acompañándome en mi carrera universitaria y me supieron apoyar en cada momento.

Diego Tocaín Bolaños

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Hipótesis o preguntas directrices.....	4
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Importancia de la truchas arcoíris en Ecuador.....	5
2.2. Biología de la trucha.....	5
2.2.1. Característica de la trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).....	5
2.3. Ciclo de vida.....	7
2.4. Hábitat.....	8
2.5. Diferenciación sexual.....	8
2.6. Reproducción.....	9
2.7. Fecundación artificial.....	9
2.8. Determinación genética del sexo.....	10
2.9. Reversión hormonal de las características fenotípicas sexuales.....	11
2.10. La hormona 17 α –metiltestosterona.....	12
2.11. Mecanismo de acción de la hormona.....	12
2.12. Dosis hormonal.....	13
2.13. Relación beneficio – costo.....	14
2.14. Costos de producción de la trucha arcoíris.....	14
	x

2.15. Costos de venta de la trucha arcoíris en el Ecuador	15
2.16. Marco legal	15
CAPITULO III	
MARCO METODOLÓGICO	17
3.1. Descripción del área de estudio	17
3.1.1. Ubicación geográfica.....	17
3.1.2. Características climáticas	18
3.2. Materiales y Métodos	19
3.2.1. Materiales	19
3.2.2. Equipos.....	20
3.2.3. Insumos.....	20
3.3. Manejo del experimento	21
3.3.1. Factores en estudio	21
3.3.2. Tratamientos	21
3.3.3. Diseño experimental.....	22
3.3.4. Características del experimento.....	22
3.3.5. Análisis estadístico	24
3.3.6. Variables.....	25
3.3.7. Variables a evaluarse.....	25
3.4. Análisis de datos.....	26
3.5. Manejo específico del experimento.....	26
3.5.1. Diagnósis de la madurez sexual de reproductores.....	26
3.5.2. Desinfección de la sala de incubación.....	27
3.5.3. Transporte de reproductores	27
3.5.4. Desove	27
3.5.5. Irradiación de rayos ultravioleta al esperma.....	28
3.5.6. Fecundación artificial	29
3.5.7. Aplicación de choques térmicos en las ovas fecundadas	29
3.5.8. Incubación	30
3.5.9. Preparación de la hormona	31
3.5.10. Suministro de alimento	31
3.5.11. Toma de datos.....	32
3.5.12. Traslado de las truchas a la fase dos	33

3.5.13. Piscinas de alevinaje.	34
3.5.14. Limpieza y desinfección de la piscina de crianza	34
3.5.15. Construcción de jaulas	35
3.5.16. Sacrificio de peces	35
3.5.17. Identificación de gónadas	36
3.5.18. Relación beneficio – costo.....	36
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Peso de la trucha arcoíris en la fase 1	38
4.1.1. Peso de la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 1.....	39
4.2. Talla de la trucha arcoíris en la fase 1	41
4.2.1. Crecimiento de la trucha arcoíris comparado con el testigo en fase 1.	42
4.3. Peso de la trucha arcoíris de la fase 2.....	44
4.3.1. Peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.....	44
4.3.2. Ganancia de peso en la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 2.	45
4.4. Crecimiento en la trucha arcoíris de la alimentación y hormona en la fase 2.	47
4.4.1. Crecimiento en la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 2.	48
4.5. Reversión sexual de la trucha arcoíris.	50
4.6. Análisis económico	51
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 Conclusiones.....	55
5.2 Recomendaciones	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trucha arcoíris (<i>Orcorynchus mykiss</i>).	6
Figura 2. Ciclo biológico de trucha.	7
Figura 3. Ubicación geográfica del experimento en la fase 1.	17
Figura 4. Ubicación geográfica del experimento en la fase 2.	18
Figura 5. Desinfección de la incubadora.	27
Figura 6. Extracción de ovas de una hembra.	28
Figura 7. Extracción de semen de un macho.	28
Figura 8. Aplicación de rayos UV al semen.	28
Figura 9. Fecundación artificial método seco.	29
Figura 10. Choque térmico de las ovas fecundadas.	29
Figura 11. Incubación de las ovas.	30
Figura 12. Preparación de la hormona en el alimento.	31
Figura 13. Toma de datos de peso y talla.	33
Figura 14. Empaque de alevines para ser transportados.	33
Figura 15. Adaptación de alevines.	34
Figura 16. Limpieza y desinfección de la piscina de crianza.	34
Figura 17. Construcción de las jaulas.	35
Figura 18. Sacrificio de las truchas.	35
Figura 19. Efecto del aumento del peso de la trucha arcoíris con respecto a los días de evaluación en la fase 1.	39
Figura 20. Incremento de peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo.	40
Figura 21. Incremento de la talla en la trucha arcoíris en la fase 1.	42
Figura 22. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1.	43
Figura 23. Efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.	45
Figura 24. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.	48
Figura 25. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 2.	49

Figura 26. Gónadas de la trucha arcoíris a) Machos (Testículos de neomacho), b) Intersexo (testículos y ovarios), c) Hembra (ovarios).	50
--	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características principales para la diferenciación de sexos de trucha arcoíris.	9
Tabla 2. Factores en estudio de la reversión sexual de trucha arcoíris mediante hormonas.	21
Tabla 3. Tratamientos en estudio de la reversión sexual de la trucha arcoíris.	22
Tabla 4. Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase uno.	23
Tabla 5. Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase dos piscina de alevinaje.	23
Tabla 6. Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase dos piscina de producción.	24
Tabla 7. Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño de bloques completamente al azar en el estudio de reversión sexual de la trucha arcoíris en la primera fases.	24
Tabla 8. Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño de bloques completamente al azar en el estudio de reversión sexual de la trucha arcoíris en la segunda fase.	25
Tabla 9. Duración de la incubación según la temperatura media del agua.	30
Tabla 10. Dosis de alimentación de la trucha arcoíris.	32
Tabla 11. Esquema de la ADEVA del efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona.	38
Tabla 12. Esquema de la ADEVA del efecto del peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1.	40
Tabla 13. Esquema de la ADEVA del efecto de la talla de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 1.	41
Tabla 14. Esquema de la ADEVA del efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1.	43
Tabla 15. Esquema de la ADEVA del efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.	44

Tabla 16. Esquema de la ADEVA del efecto del peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 2.....	46
Tabla 17. Efecto del incremento de peso en la trucha arcoíris en la fase 2.....	46
Tabla 18. Esquema de la ADEVA del efecto de la talla en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.....	47
Tabla 19. Esquema de la ADEVA del efecto de la talla en comparación con el testigo en la fase 2.....	49
Tabla 20. Porcentaje de reversión sexual en la trucha arcoíris.....	50
Tabla 21. Costos para la producción de alevines sexados.....	52
Tabla 22. Depreciación de equipos	53
Tabla 23. Ingresos por ventas	53
Tabla 24. Incremento demográfico anual, de la venta de alevines.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Diseño de la distribución de las tinas en el laboratorio de biotecnología en el CENIAC.....	61
Anexo 2: Diseño de la distribución de las piscinas de alevinaje en Otavalo.....	61
Anexo 3: Diseño de la distribución de la piscina de crianza de la trucha en Otavalo.....	62
Anexo 4: Protocolo del alimento hormonado.....	62
Anexo 5: Información de la etiqueta del alimento balanceado.	63

REVERSIÓN SEXUAL EN LA TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA HORMONA MASCULINIZANTE 17 A- METILTESTOSTERONA EN ALEVINES GINOGENÉTICOS

Autor: Diego Armando Tocaín Bolaños

*Universidad Técnica del Norte

Correo: adiegotb@gmail.com

RESUMEN

En la producción de trucha arcoíris existe un dimorfismo sexual notable en tamaño, ganancia de peso y calidad de la carne, por lo cual es necesario obtener cardumes monosexos (hembras), ya que en la maduración sexual, los machos son más precoces, se inicia una pérdida de peso corporal, un deterioro en la calidad de la carne, además de ser más agresivos por lo cual provocan lesiones a las hembras y son más propensos a enfermedades por hongos. Para solucionar este problema existen varios métodos como, irradiación de rayos ultravioleta en el esperma, choques térmicos, y presión, las cuales producen alevines ginogenéticos y neomachos. La presente investigación se dividió en dos fases, la primera se llevó a cabo en la parroquia Quijos, cantón Papallacta provincia de Napo en el Centro de Investigación Acuícolas Papallacta, con la finalidad de producir neomachos de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante la aplicación de la hormona masculinizante 17 a-metiltestosterona en alevines ginogenéticos. La segunda fase fue el desarrollo de la trucha arcoíris en la Unidad Educativa Sarance de la parroquia Otavalo, cantón Otavalo provincia de Imbabura, ya que uno de los factores de crecimiento de la trucha es la temperatura del agua. El objetivo del estudio fue evaluar el porcentaje de reversión sexual en la trucha arcoíris con las diferentes dosis de hormona, obteniéndose un 86% de neomachos con el tratamiento D1H2 (60 días y 3mg/kg); la caracterización física en función del peso y talla durante el tiempo de crecimiento se observó que con el transcurso del tiempo si tiene una interacción entre días de evaluación y hormona en el tratamiento D1H1 (60 días y 1mg/kg) en el peso y el al talla en el tratamiento D1H2 (60 días y 3mg/kg), el análisis de relación beneficio – costo en la producción de alevines sexados se obtiene una ganancia de 0.41 USD.

Palabras clave: gónadas, intersexo, neomachos

SEX REVERSAL IN RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*) BY APPLYING THE MASCULINIZING HORMONE 17 α -METHYLTESTOSTERONE IN GYNOGENETICS FRY

Author: Diego Armando Tocaín Bolaños

*Universidad Técnica del Norte

email: adiegotb@gmail.com

ABSTRACT

In the production of rainbow trout there is a remarkable sexual dimorphism in size, weight gain and quality of the meat, so it is necessary to obtain monosex (female) cardumes, since in sexual maturation, males are more precocious, it begins a loss of body weight, a deterioration in the quality of the meat, in addition to being more aggressive for which they cause injuries to the females and are more prone to fungal diseases. To solve this problem there are several methods such as irradiation of ultraviolet rays in the sperm, thermal shock, and pressure, which produce ginogenetic fry and neomachos. The present investigation was divided into two phases, the first one was carried out in Quijos parish, Papallacta canton Napo province in the Papallacta Aquaculture Research Center, with the purpose of producing rainbow trout neomachos (*Oncorhynchus mykiss*) by application of the masculinizing hormone 17 α -methyltestosterone in gynogenetic fry. The second phase was the development of rainbow trout in the Sarance Educational Unit of the Otavalo parish, Otavalo canton, Imbabura province, since one of the trout's growth factors is water temperature. The objective of the study was to evaluate the percentage of sexual reversal in rainbow trout with the different hormone doses, obtaining 86% of neomachos with the D1H2 treatment (60 days and 3mg / kg); the physical characterization based on weight and height during the time of growth it was observed that over time if it has an interaction between evaluation days and hormone in the D1H1 treatment (60 days and 1mg / kg) in weight and weight size in the treatment D1H2 (60 days and 3mg / kg), the analysis of benefit-cost relationship in the production of sexed fry is obtained a gain of 0.41 USD.

Keywords: gonads, intersex, fake males.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La producción de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es una de las actividades piscícolas más importantes del mundo, tomando en cuenta que es una opción económica emergente en el Ecuador, la cual se ve enfocada en la producción a pequeña y mediana escala (Food and Agricultural Organization [FAO], 2016). Con respecto a la oferta mundial per cápita de pescado alcanzó a 20.5 kg/persona/año en 2017, por ende el consumo de pescado cada vez es más alto (FAO, 2018). Tomando en cuenta que la población mundial en las últimas décadas se ha incrementado considerablemente y que para el año 2030 se proyecta que la cifra bordee los 8500 millones de personas, por lo cual es necesario el aumento de alimento, esencialmente en la proteína (Organización de la Naciones Unidas [ONU], 2017).

El Ecuador, es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo por los diferentes pisos climáticos que posee, lo cual permite el desarrollo de diferentes especies de interés agrícola, pecuario y acuícola, destacándose en los últimos tiempos el incremento del desarrollo acuícola, especialmente en lo que se refiere a la producción de truchas, cultivo que se ha intensificado y fortalecido en los últimos años (Banco Nacional de Fomento [BNF], 2016).

Es importante tomar en cuenta que en la producción de la trucha arcoíris, se puede encontrar grandes diferencias entre macho y hembra, ya que el dimorfismo sexual se observa en muchas especies acuáticas, en las épocas de reproducción los machos, por ejemplo, secretan enzimas que les dan un sabor amargo a la carne, en las hembras el problema es aún mayor debido a que existe una disminución del crecimiento y pierden el 30% de su peso corporal en el desarrollo gonadal; esto significa que las truchas no ocupan su energía metabólica en la producción de carne sino en la formación y maduración de sus gónadas, teniendo en cuenta que la maduración sexual en el macho es entre los 7 a 12 meses y en la hembra a los 24 meses (Pérez, Penman y Bromage, 1999), la cual ocurre frecuentemente a expensas del crecimiento somático, debido principalmente a una reducción en la tasa de crecimiento. Por otra parte, en los machos ocurre un deterioro en la calidad de su carne, además de ser más agresivos por lo cual provocan lesiones a las hembras y son más propensos a enfermedades por hongos (Arai, 2000).

Al respecto, la biotecnología proporciona ventajas en crecimiento y manejo debido al efecto de esterilidad producido por la poliploidía, a través de la manipulación cromosómica mediante choque térmico para obtener individuos triploides. La poliploidía consiste en el incremento del complemento cromosómico diploide normal causado por la presencia de tres o más juegos completos de cromosomas dentro de las células somáticas de un organismo (Pineda, 2003), lo cual origina también un incremento proporcional en el tamaño del genoma o ADN nuclear. La triploidía, es inducida en varias especies bloqueando la primera o segunda división meiótica a través de tratamientos (también llamados choques) físicos o químicos y por radiación de rayos ultravioleta (Piferrera et al., 2009). La ginogénesis, requiere de los dos padres, pero el espermatozoide es inactivo mediante tratamientos previos a la fertilización y se utiliza únicamente para iniciar el desarrollo del huevo, en consecuencia, no contribuye al genoma del embrión (Benavides, Gómez, Ramos y Macías, 2012).

Con lo anteriormente planteado, se hace necesario desarrollar tecnologías con el fin de optimizar la producción para el mercado. Una de ellas, es contar con poblaciones mono sexo es decir, solo hembras bajo un manejo hormonal. El tratamiento consiste en aplicar una hormona masculina para que los individuos genóticamente hembras se conviertan en machos funcionales (neomachos = producción de semen), que puedan ser utilizados como reproductores para cruzarlos con hembras normales, y producir una población de solo hembras (Mejía y Román, 2009).

Se han reportado para este fin, el uso de 31 esteroides diferentes, en los que se incluye la 17α -metiltestosterona, siendo esta la hormona más utilizada por su fácil obtención, gran estabilidad química, aunque no necesariamente es la más potente. Estas hormonas han sido utilizadas en 47 especies de peces de las familias Cichilidae, Cyprinodontidae, Anabantidae, Poecilidae, Salmonidae y Cyprinidae (Díaz y Niera, 2005).

La masculinización de las hembras permite obtener machos homogaméticos (XX), los cuales se comportan fenotípicamente como machos y genóticamente siguen siendo hembras. El semen de estos machos funcionales es utilizado para fertilizar ovas normales permitiendo que los descendientes de estos cruces sean 100% hembras, los cuales pueden consumirse sin restricciones y ser utilizados en programas de reproducción (Bastardo y Sara, 2003).

Diferentes estudios realizados, garantizan la efectividad de la hormona 17α – metiltestosterona con un 100% de neomachos en ovas ya sexadas (Bastardo y Sara, 2003), en otro estudio reportado en Colombia se obtuvo un resultado del 29% de animales neomachos, tomando en cuenta que no sexaron sus alevines (Mejía y Román, 2009), en la Universidad de Ankara probaron 3 tipos de hormonas como 17α -metiltestosterona, 11β -hidroxiandrostenediona, 17α -etiniltestosterona, y se obtuvo como resultado que la mejor hormona es la 17α -metiltestosterona con una reversión del 86.67% con la dosis de 3 mg / kg de 17α -metiltestosterona durante 60 días (Atar, Bekcan y Dogankaya, 2014).

1.2. Problema de investigación

En el Ecuador el sexaje en alevines es un área que tiene un desarrollo incipiente, por lo cual uno de los problemas de los piscicultores radica en la necesidad de obtener peces homogéneos en cuanto a mayor tamaño y peso corporal, además de que su manejo sea más fácil en las piscinas de cultivo. Cabe destacar que en muchos casos se sacrifican animales antes de la época de su maduración gonadal, ya que esta no solo afecta a la pérdida de peso corporal hasta el 30% en hembras y machos, en esta etapa no solo emplea su energía en la maduración de las gónadas, sino que también se afecta la calidad organoléptica en la carne, lo que es causada por la secreción de hormonas. En el caso de los machos, estos tienen una diferencia de tiempo de desarrollo corporal que es de 2 a 3 meses más en comparación con las hembras para llegar a su talla comercial. Adicionalmente, se evitan problemas de agresividad o competencia en la etapa reproductiva, lo cual también afecta a la salud de las truchas, por ende al obtener neomachos en una producción acuícola garantizará tener reservas de esperma ya sexado.

1.3. Justificación

Al obtener neomachos con truchas ginogenéticas permitirá almacenar un esperma sexado, por lo cual, al fecundar con este esperma, reducimos tiempo y facilidad para obtener lotes mono sexo es decir solo hembras, las cuales no ocupan sus reservas en la maduración gonadal sino en su crecimiento; se facilita el manejo en las instalaciones de cría intensiva, reduciendo el tiempo de crianza, además de obtener cardúmenes homogéneos. Teniendo además en cuenta que este estudio se lo realizó en el Centro de Investigaciones Acuícolas Papallacta (CENIAC) el cual es el mayor productor de alevines de trucha arcoíris del

Ecuador, el presente trabajo de investigación tendrá una relevancia directa para los truchicultores del país, ya que la obtención de hembras con las bondades anteriormente mencionadas podría tener una repercusión casi inmediata pudiendo además almacenar este semen sexado. Teniendo en cuenta que las truchas, de mayor tamaño en el mismo tiempo de crianza pueden generar mayores beneficios a los productores, por lo que evitar la maduración sexual es un objetivo prioritario para mejorar la producción en el país, incrementado además el almacenamiento de su semen sexado.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Producir neomachos en la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante la aplicación de la hormona masculinizante 17 α -metiltestosterona en alevines ginogenéticos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización física en función del peso y talla durante el tiempo de crecimiento de la trucha arcoíris una vez aplicada la hormona.
- Evaluar los porcentajes de reversión sexual en la trucha arcoíris mediante la aplicación de la hormona 17 α - metiltestosterona para producción de neomachos.
- Determinar la relación beneficio – costo de los tratamientos en estudio para la identificación de la rentabilidad de la hormona en la producción de neomachos.

1.5 Hipótesis o preguntas directrices

Hipotesis

Ho: Las diferentes dosis de hormona 17 α -metiltestosterona aplicadas en alevines ginogenéticos producen igual porcentaje de neomachos.

Ha: Al menos una dosis de hormona 17 α -metiltestosterona en alevines ginogenéticos produce diferente porcentaje de neomachos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Los fundamentos teóricos presentados a continuación tienen como propósito servir de soporte y proporcionar credibilidad a la presente investigación. Asimismo orientan la organización de datos y hechos significativos para descubrir las relaciones del problema con las teorías ya existentes. Para su desarrollo se dividió en dos componentes: marco conceptual y marco legal.

2.1.Importancia de la truchas arcoíris en Ecuador

La ubicación geográfica del Ecuador hace que la acuicultura sea una actividad permanente durante todo el año debido a que no se ve afectada por cambios repentinos de temperatura, esto junto con la calidad y disponibilidad de agua, calidad de suelo y condiciones climáticas nos permite tener una amplia gama de productos acuáticos de calidad (Mora, Uyaguari y Osorio, 2009). En el año 2016 la acuicultura y pesca en Ecuador representó el 31.1 % de las exportaciones no petroleras (PRO ECUADOR, 2017). Con el propósito de estimular el desarrollo del cultivo de trucha arcoíris, es importante investigar tecnologías apropiadas, para incentivar la creciente necesidad de mejorar el bienestar del sector dedicado al engorde y venta de esta especie, reduciendo y optimizando el tiempo de cosecha (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca [MAGAP], 2012).

2.2.Biología de la trucha

2.2.1. Característica de la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)

La trucha arcoíris, es un pez muy llamativo con colores que varían según su hábitat, edad y reproducción. Tiene forma de torpedo y generalmente es de color azul verdoso o amarillo verdoso, con una línea rosa en cada lado, vientre blanco y puntos negros en la parte dorsal y en las aletas (Figura 1). Son miembros de la familia del salmón y al igual que ellos, pueden alcanzar un buen tamaño. La media está en los 51-76 centímetros de longitud y unos 3.6 kilogramos de peso, pero pueden incluso llegar a medir 1.2 metros y pesar hasta 24 kilogramos (National Geographic, 2013).



Figura 1. Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

2.2.2. Clasificación taxonómica

La trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez de agua dulce de la familia *Salmonidae*, nativa de las costas del Pacífico en América del Norte. La clasificación taxonómica de la trucha arcoíris según Blanco (1995), es la siguiente:

REINO	: Animalia
PHYLUM	: Chordata
SUBPHYLUM	: Vertebrata
SUPERCLASE	: Pisces
CLASE	: Osteichthyes
SUBCLASE	: Actinopterygii
SUPERORDEN	: Teleostei
ORDEN	: Salmoniformes
SUBORDEN	: Salmonoidei
FAMILIA	: Salmonidae
SUBFAMILIA	: Salmoninae
GENERO	: <i>Oncorhynchus</i>
ESPECIE	: <i>mykiss</i>
NOMBRE COMÚN	: Trucha arcoíris

2.3. Ciclo de vida

El ciclo biológico de esta especie se puede observar en la Figura 2, y según Flores (2011) comprende las siguientes fases:

Ova. - Son los huevos fecundados que después de un promedio aproximado de 35 días de incubación, eclosionan para convertirse en larva.

Larval. - Al concluir el desarrollo embrionario, las ovas eclosionan y las larvas se alimentan de las reservas nutricionales contenidas en el saco vitelino durante aproximadamente 10 días dependiendo de la temperatura del agua. Una vez que estas reservas han sido agotadas y el saco vitelino ha sido absorbido, la larva se transforma en cría y asciende a la superficie; esta fase dura entre 14 y 20 días (Piper, 1983).

Alevín. - Son peces pequeños que miden entre 3 cm y 10 cm con un peso que oscila entre 1.5 y 20 g.

Juvenil. - Son peces que miden entre 10 cm y 15 cm cuyo peso es generalmente de 20 a 100 g.

Comercial. - Es la etapa especial, donde los peces han recibido el proceso de engorde para ser comercializados, estos miden entre 15 y 22 cm. El peso y tamaño depende del mercado.

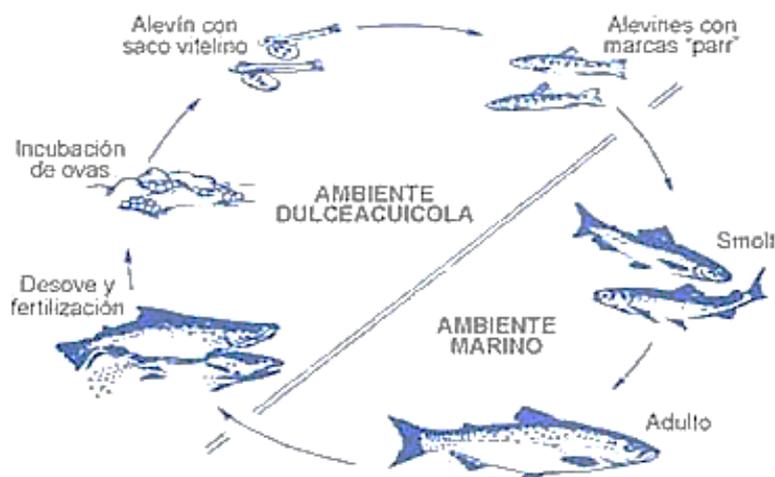


Figura 2. *Ciclo biológico de trucha.*
Fuente: Flores (2011)

2.4. Hábitat

La trucha arcoíris en su ambiente natural es capaz de ocupar muchos hábitats diferentes, que abarcan desde un ciclo de vida anádromo (que viven en el mar la mayor parte de su vida, pero viajan a agua dulce especialmente para desovar) (Paz, 2013). Las truchas son peces nativos de regiones elevadas y montañosas donde existen aguas frías y claras, siendo en general la Sierra Norte una región apropiada para el cultivo de este pez, lugar que cuenta con aguas cristalinas y bien oxigenadas (Lescano, 2016).

Según el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES, 2014) en cautiverio existen algunos tipos de crianza de truchas llamados ambientes convencionales, que tienen como característica principal la utilización como fuente de abastecimiento de agua y recursos hídricos loticos (ríos, arroyos y manantiales). Los sistemas de cautiverios utilizados en una unidad productiva varían según su diseño y construcción, que va a depender de la disponibilidad económica de los productores de truchas que dentro de ellas existen.

De acuerdo con la FAO (2014), es primordial tomar en cuenta los factores climáticos para el desarrollo de la trucha, la temperatura del agua, porque regula el crecimiento de los peces, ya que estos no tienen capacidad propia para regular su temperatura corporal. Si la temperatura es muy baja el crecimiento es lento, a temperaturas más altas el desarrollo es más rápido. Otro parámetro que es afectado por la temperatura es el oxígeno disuelto en el agua, pues a temperaturas altas, el oxígeno disuelto es menor que a temperaturas bajas. Se considera que la temperatura óptima para la crianza es de 15 °C.

2.5. Diferenciación sexual

La trucha arcoíris presenta dimorfismo sexual, esto significa que fácilmente se pueden observar marcadas diferencias morfológicas entre los machos y las hembras reproductoras, por ejemplo, los machos adultos presentan la cabeza más alargada que las hembras y la mandíbula prominente, mientras que las hembras conservan su mandíbula redondeada, como se observa en la Tabla 1 (Imaki, 2003).

Tabla 1.

Características principales para la diferenciación de sexos de trucha arcoíris.

	Macho	Hembra
Boca y mandíbula	Grande y puntiaguda	Pequeña y redondeada
Abdomen	Duro	Más blando por ovas
Poros genitales	No prominente	Prominente
Forma del cuerpo	Delgada	Redondeada

Fuente: Imaki (2003).

2.6. Reproducción

La reproducción es de tipo sexual, es decir intervienen hembra y macho. Una de las principales características que presentan es que sus órganos sexuales son indiferenciados los primeros períodos de vida, de manera que no es posible determinar microscópicamente si la glándula sexual de un ejemplar es testículo u ovario, este fenómeno es conocido como gonocorismo indiferenciado, el cual lo presentan las truchas en los primeros meses de vida. Luego de aproximadamente 4 meses, estos órganos adquieren la estructura histológica funcional típica (Dávila y Garcés, 2007).

Autores como Estay, Díaz, Valadares y Dazarola (1995), determinaron que la pubertad consiste en una serie de mecanismos fisiológicos que promueven la primera maduración gonadal, cuando son activados los procesos de gametogénesis y la producción de hormonas sexuales, que culminarán posteriormente con la maduración sexual. Este proceso implica la maduración de los gametos, la expresión de las características sexuales secundarias y el comportamiento reproductivo.

2.7. Fecundación artificial

La fecundación se produce externamente, las ovas y el semen son depositados en un recipiente plástico evitando el contacto con cualquier sustancia. Pasados unos minutos, se procede al lavado de las ovas eliminando excedentes de semen y ovas no fecundadas, seguidamente se realiza la hidratación con exposición mínima de agua dulce, se cuentan las

ovas y se colocan en los recipientes incubatorios, estas operaciones deben realizarse sin exposición al sol pues las ovas son muy sensibles (Shepherd y Bromage, 1999).

Durante la fecundación, los espermatozoides son activados por el agua, desarrollan movimientos y rodean al óvulo. Uno o varios espermatozoides pueden alcanzar el micrópilo, pero sólo uno será capaz de penetrarlo. Con motivo de la entrada del espermatozoide, el ovocito hasta entonces en fase de reposo biológico, detenido en la metafase de la segunda división meiótica, se activa, aproximadamente, en 30 segundos y la meiosis se reinicia. En el transcurso de 20-30 minutos se completa la meiosis. El resultado final es la existencia en el citoplasma de dos formaciones o agrupaciones cromosómicas procedentes del núcleo primitivo del óvulo, cada uno de ellos con un número haploide de cromosomas. De estas dos formaciones, una de ellas, el denominado segundo corpúsculo polar, es reabsorbido y desaparece, siendo el resultado final un ocito, llamado ahora óvulo, con un gran citoplasma y con una dotación cromosómica haploide. El pronúcleo portador del material cromosómico del macho, situado ya en el citoplasma ovular, alcanza el pronúcleo de la hembra y se fusionan, siendo el resultado final la formación de una célula, denominada ahora huevo, con un número de cromosomas $2n$ o diploide. Esta fusión recibe el nombre de cariogamia y se realiza inmediatamente, en comparación con otras especies. La mitad de este material cromosómico es aportado por el macho y la otra mitad por la hembra, son por tanto; individuos diploides. De los treinta cromosomas aportados por el ovocito, uno de ellos hace referencia al sexo y es siempre X, puesto que la hembra tiene un código genético que es siempre XX, es decir, dos cromosomas sexuales iguales. El cromosoma sexual aportado por el espermatozoide puede ser X o Y, ya que el código genético del macho es XY (Blanco, 1995).

2.8. Determinación genética del sexo

La determinación del sexo genético ocurre al momento de la fecundación. En algunas especies de peces, entre las que se cuentan algunos salmónidos, el sistema de determinación del sexo genético es del tipo XX/XY y la diferenciación de los cromosomas sexuales es suficientemente evolucionada ya que permite el reconocimiento de estos cromosomas al examinar el cariotipo de los individuos (Blanco, 1995).

Estas situaciones permiten utilizar mecanismos como la inducción artificial de partenogénesis para controlar el sexo genético en la progenie de un cruzamiento determinado. Las formas de partenogénesis son la ginogénesis y la androgénesis, ambas posibles de inducir experimentalmente. En la ginogénesis se producen individuos cuyo material genético procede sólo del progenitor hembra. Consiste en lograr el desarrollo del embrión activando ovocitos con espermatozoides inactivados genéticamente. La producción de ginogénicos requiere combinar la inactivación del semen con la diploidización del complemento cromosómico materno. Primero se induce el desarrollo haploide del huevo, previo tratamiento de los espermatozoides para eliminar su aporte genético, y luego, los huevos son sujetos a otro tratamiento, impidiendo la segunda división meiótica o la primera división mitótica, para duplicar su material genético (Díaz y Neira, 2005).

2.9. Reversión hormonal de las características fenotípicas sexuales

Existe una amplia gama de procedimientos para la reversión de sexo, tanto para producir masculinización como feminización. Pandian y Sheela (1995), hicieron una revisión de los procedimientos empleados para esta manipulación utilizando 31 esteroides diferentes, en 47 especies de peces entre ellas la familia Salmonidae.

Básicamente existen dos formas para la administración de las hormonas: por inmersión o por ingestión. La segunda es la más practicada, incorporando la hormona en la dieta normal, con la cual los peces son alimentados por un período dado. Las variables a considerar son la naturaleza de la hormona, concentración en la dieta, lapso de tiempo del suministro y el momento del inicio del tratamiento. Para producir lotes “todo macho” (masculinización) se emplea hormonas (andrógenos), tales como, testosterona, 11 ketotestosterona y androstenediona, de origen natural. Entre los sintéticos, el más usado es 17 α -metiltestosterona, la hormona se incluye en el alimento disuelto en etanol absoluto, que se evapora posteriormente. El rango de concentración se ha determinado por ensayo y error; pero la tendencia es a usar la menor concentración que permita tener un porcentaje apropiado de reversión. En la trucha arco iris, los mejores resultados se obtienen al iniciar el tratamiento con la primera alimentación. Con relación al tiempo de suministro, los mejores resultados se obtienen entre los 60 y 90 días. Tiempos superiores a 120 días producen porcentajes elevados

de esterilidad, lo que también se produce al aumentar la concentración de la hormona (Díaz y Niera, 2005).

En peces también es factible la feminización mediante el tratamiento hormonal con estrógenos, produciendo lotes todo hembra. Estos tratamientos son menos eficaces en revertir los machos a hembras y por lo tanto se necesitan dosis más elevadas para producir buenas tasas de reversión. Otra diferencia importante con la masculinización es que los tratamientos orales deben ser acompañados de inmersión en soluciones de estrógenos. El estrógeno más usado es el 17β estradiol, que es de fácil obtención y gran estabilidad química. Este es incluido en el alimento en una solución de etanol absoluto (Yamamoto, 1953).

Las hembras masculinizadas presentan testículos morfológicamente alterados, la mayoría de las veces sin ductos espermáticos. Es necesario sacrificar los animales para retirar las gónadas y extraer el semen. El que es recolectado directamente del testículo y presenta una reducción en la tasa de fertilización, podría ser por la presencia de gran cantidad de espermátides (Araujo, 2007).

2.10. La hormona 17α -metiltestosterona

Es un andrógeno sintético asociado al desarrollo y mantenimiento de las características sexuales secundarias, la inducción espermática y la diferenciación sexual. Además estimula el crecimiento del esqueleto, posee efecto miotrófico selectivamente, que da lugar a un aumento de la masa muscular en distintas especies y promueve el almacenamiento de nitrógeno que se refleja en un aumento del peso corporal (Botana, Landoni y Jiménez, 2002).

2.11. Mecanismo de acción de la hormona

La hormona entra por difusión pasiva en la célula diana, luego se une a un receptor proteico a quien induce un cambio en su conformación y, por último, se da la acción directa de este complejo hormona-receptor sobre el ADN, que determina la modulación de la expresión génica que puede llevar a la activación o la inhibición de determinados genes en la célula diana. La localización celular de los receptores de esta súper familia está sujeta a bastante controversia. En la trucha arcoíris (*O. mykiss*) la inmunorreactividad aparece confinada en

el núcleo celular cuando se utilizan anticuerpos contra el dominio de unión a la hormona (Lopez, Carvajal y Botero, 2007).

En peces teleósteos, la acción de esta hormona puede ser ejercida directamente sobre las gónadas o pueden ser el resultado de una acción indirecta sobre el hígado, la hipófisis y/o el cerebro, que poseen también receptores de esteroides. Así, como sucede en otros vertebrados, las hormonas esteroides ejercen una regulación mediante retroalimentación sobre el eje cerebro-hipófisis-gónada. Esta retroalimentación, tanto positiva como negativa, incide sobre la síntesis y secreción de gonadotrofinas y de GnRH (Lopez et al., 2007).

Cuando la hormona 17α metiltestosterona es administrada en dosis altas de alrededor de 25 mg/kg de la dieta, promueve la esterilización de las gónadas. En dónde se desea promover la esterilidad reproductiva, los autores recomiendan el uso de baños de inmersión, seguido por el suministro de la hormona en la dieta (Silveira, Tabata y Rigolino, 1995).

2.12. Dosis hormonal

Las investigaciones realizadas, garantizan la efectividad de la hormona 17α – metiltestosterona con un 100% de neomachos en ovas ya sexadas en una concentración de 3mg/kg de alimento (Bastardo y Sara, 2003), en otro estudio reportado en Colombia se obtuvo un resultado del 29% de animales neomachos, tomando en cuenta que no sexaron sus alevines con una concentración de 3mg/kg de alimento (Mejía y Román, 2009), en la Universidad de Ankara probaron 3 tipos de hormonas dentro de las que estaba la 17α -metiltestosterona, siendo la que mejores resultados tuvo con una reversión del 86,67% con la dosis de 3 mg/kg de alimento durante 60 días, comparado con 11β -hidroxiandrostenediona que obtuvo el 73.33% de reversión con una dosis de 60mg/kg de alimento durante 40 días, finalmente evaluaron a la 17α -etinitestosterona, que obtuvo el 73.33% de reversión con una dosis de 30mg/kg de alimento durante 20 días (Ataret et al., 2014). Tomando en cuenta que la hormona 17α -metiltestosterona, la más comercial en el mercado por su bajo costo y fácil acceso ya que estas es la principal hormona en sexaje de tilapias (Atar et al., 2014).

2.13. Relación beneficio – costo

Que es costo beneficio, es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión pretende determinar la conveniencia del proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costos y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto este método se aplica en obras sociales proyectos colectivos o individuales empresas privadas planes de negocios etcétera prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y económicas. La relación costo-beneficio es un término financiero que describe la comparación de la cantidad de dinero conseguido mediante la producción de un objetivo frente a los costos incurridos durante el proceso de producción muy relacionadas, pero ligeramente diferentes, están las técnicas formales que incluyen análisis costo-eficacia y análisis de la eficacia del beneficio (Maldonado, 2018).

La aplicación como herramienta de evaluación persigue como objetivo maximizar el bienestar social, promoviendo la asignación eficiente de los recursos. En el Benéfico / Costo se deben mostrar los flujos de beneficios y costos con los supuestos y evidencia empírica detrás de estas cifras para validarlo. Asimismo, es necesario utilizar una tasa de descuento apropiada al tipo de proyecto, el período de tiempo, los precios reales del año base, además de incluir los costos de inversión, de remplazo, valor residual, costos de operación e ingresos (FAO, 2014).

2.14. Costos de producción de la trucha arcoíris

En la producción de la trucha arcoíris, el costo total de 1 kg de trucha a la canal es de USD 4,37 desglosado en: costo de producción USD 4,29 y costo de comercialización \$0,08 en un tiempo de 7 meses de edad de la trucha arcoíris en un peso de 250g (Gonzalo, 2016).

La demanda de consumo de pescado en Imbabura se lo realizo con el número de habitantes de la provincia de Imbabura de 398244 personas por el pre capital mundial del consumo de pescado que es 20.5kg/persona/año, por lo cual la demanda seria 8164002 kg de pescado al año (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], (2010).

2.15. Costos de venta de la trucha arcoíris en el Ecuador

En la provincia de Imbabura la producción de la trucha, tiene un total de 287 criaderos reportados en el país que ocupan un área de 19846 m² en piscinas o estanques (MAGAP, 2016). El precio de venta es \$4.6 / kg resultando demasiado bajo, esto se debe a que los intermediarios fijan el precio, siendo estos lo que mayor ganancia obtienen ya que el PVP es de \$5.5 (Lescano, 2016).

El precio en el mercado local de truchas entera es de USD 1.92 los 250 g. y USD 3.64 los 450 g. de filete de trucha fresca, sin piel, en abril del 2008. Para el mercado internacional los precios oscilan dependientes de la presentación y estos son: trucha fresca (USD 1.29/Kg); Trucha enlatada (USD 1.9/Kg); Trucha entera congelada (USD 2.74/Kg) (Mora, Uyaguari, y Osorio, 2009).

2.16. Marco legal

➤ Constitución de la República del Ecuador

La investigación se fundamentó en la Constitución Política de la República del Ecuador (2008), donde la comunidad andina de naciones “Normas para el registro, control, comercialización y uso de productos veterinarios”, se garantiza la protección de los ecosistemas y se establece los derechos de los ciudadanos de poder vivir en un ambiente ecológicamente saludable, a disfrutar de espacios con equilibrio ambiental y socialmente sostenible, respetando los ciclos vitales y los derechos de la naturaleza, encargado del área que lo ampara en el Art. 416.

El registro de instructivo para el control post registro de productos veterinarios, en la resolución (Resolución No. DAJ-2014DA-0201.0026) se debe, tomar en cuenta que el uso de la hormona debe ser utilizada bajo la supervisión de un profesional especializado, el cual debe dar trazabilidad del uso de la hormona.

➤ Organismo Nacional de Sanidad Pesquera - SANIPES

Según el (Organismo Nacional de Sanidad Pesquera [SANIPES], 2017), donde el uso de la hormona se necesita ejemplares con menos de 12 mm de longitud total y un peso promedio entre 0.001 a 0.050 gramos, suministrando alimento hormonado de efecto androgénico. De los cuales se debe tener un registro de los animales sometidos a reversión sexual, fecha de inicio y término del proceso. También tomando en cuenta que cuando se emplee 17-alfa metiltestosterona, para la preparación de un kilo de alimento, se tomará como referencia el siguiente procedimiento: diluir la hormona en alcohol etílico mayor al 90% de pureza, esparcir la solución de forma homogénea sobre el alimento balanceado a utilizar, dejar secar el alimento, protegiéndolo del sol.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación se realizó en dos fases, la primera se realizó en el Centro de Investigación Acuícolas Papallacta, propiedad del Ministerio de Acuicultura y Pesca (MAP), ubicado en la parroquia de Papallacta en el cantón Quijos provincia del Napo hasta su etapa juvenil, la etapa dos se realizó en la Unidad Educativa Sarance del cantón Otavalo de la provincia de Imbabura ad donde se trasladaron los juveniles para terminar su maduración sexual.

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

La ubicación de la fase 1 se llevó acabo en Papallacta como se observa en la Figura 3, con su respectiva información geográfica (Imaki, 2003).

Provincia: Napo
Cantón: Quijos
Parroquia: Papallacta
Lugar: Centro de investigación acuícolas Papallacta (CENIAC)
Altitud: 3300 m.s.n.m.
Latitud: 00° 21' 56, 7" Sur
Longitud: 78° 08' 56,7" Oeste

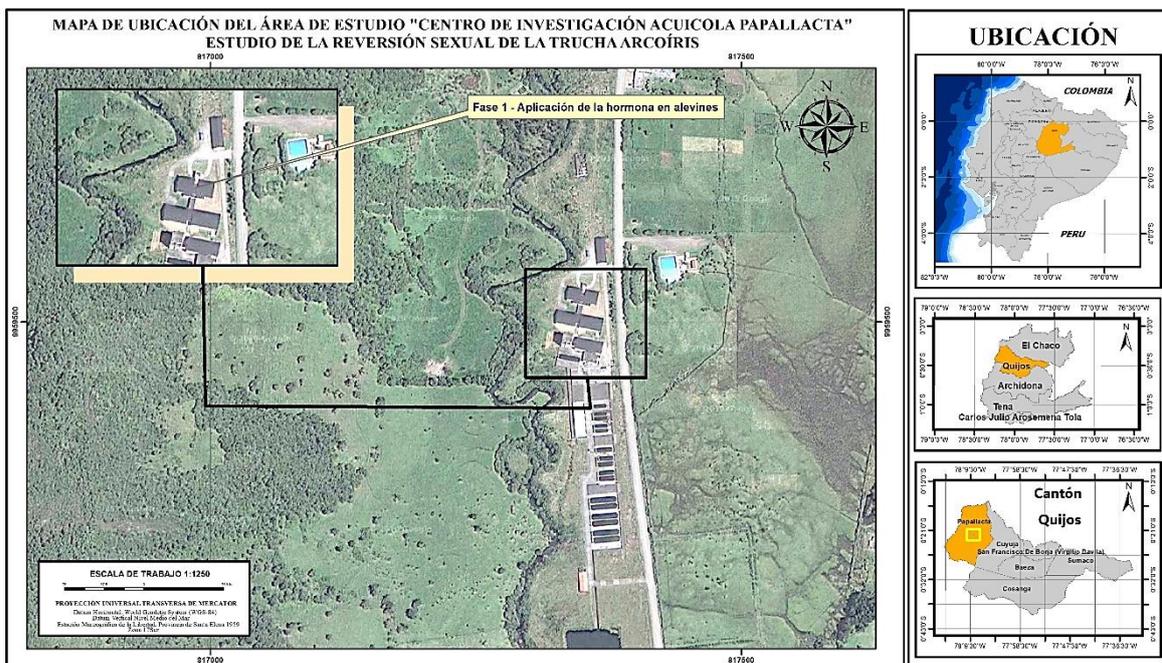


Figura 3. Ubicación geográfica del experimento en la fase 1.

La ubicación de la fase 2 se llevó a cabo en Otavalo como se observa en la Figura 4, con su respectiva información geográfica (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI] 2016).

Provincia: Imbabura
 Cantón: Otavalo
 Parroquia: Otavalo
 Lugar: Unidad educativa Sarance
 Altitud: 2550 m.s.n.m.
 Latitud: 00° 14' 37,2" Sur
 Longitud: 78° 15' 00,4" Oeste

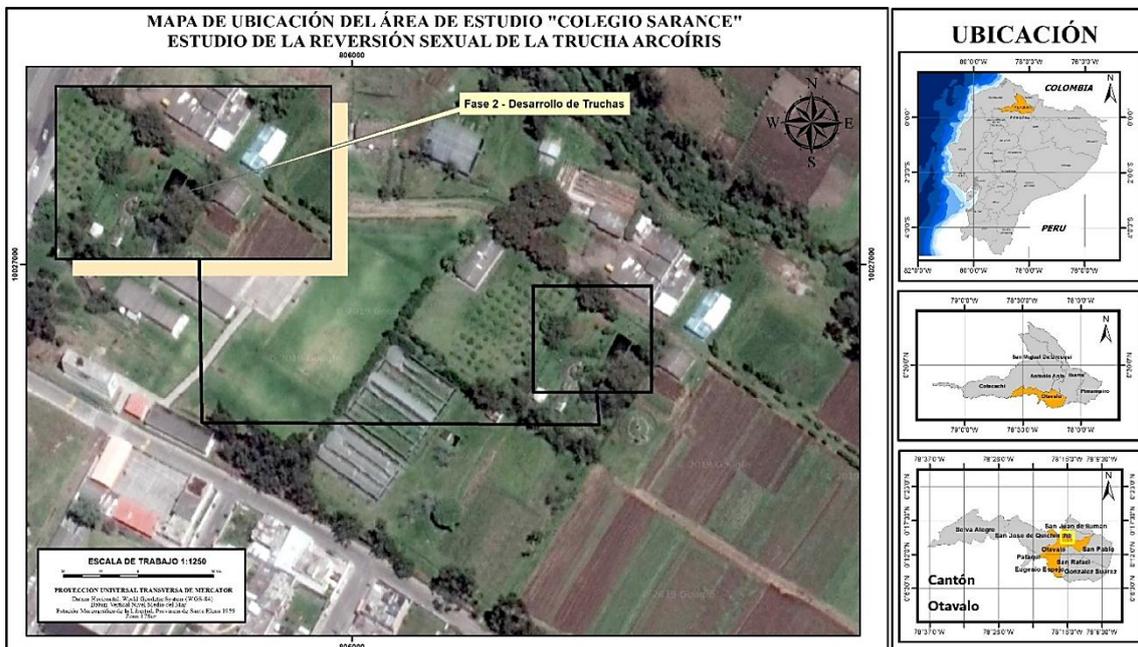


Figura 4. Ubicación geográfica del experimento en la fase 2.

3.1.2. Características climáticas

Los factores climáticos de cada fase son distintos cual es muy importante para el estudio de acuerdo con Imaki (2003), en Papallacta son:

Temperatura baja: 4°C
 Temperatura media: 9.4°C
 Temperatura máxima: 24°C
 Precipitación media anual: 4000 a 5000 mm / año
 Humedad relativa: 89%.

En el caso de Otavalo los factores climáticos como la temperatura baja, media, máximas y la precipitación media anual igual que la humedad relativa son distintos por lo cual son fueron muy importante para el estudio en el desarrollo de la trucha de acuerdo con (INAMHI, 2016), en Otavalo son:

Temperatura baja:	5°C
Temperatura media:	16°C
Temperatura máxima:	25°C
Precipitación media anual:	877,0 a 615,9 mm / año
Humedad relativa:	60%.

3.2. Materiales y Métodos

Para el estudio de la reversión sexual en la trucha arcoíris se utilizaron materiales, equipos, e insumos, los cuales se encuentran descritos a continuación:

3.2.1. Materiales

- Agua
- Tinajas de 100 litros
- Bandejas
- Canastillas de incubadora con tapa
- Cedazos
- Libreta de campo
- Malla de 5mm
- Malla de 3mm
- Mangueras
- Marcadores
- Material de etiquetado
- Piedras difusora de oxígeno
- Red de arrastre
- Cajas Petri
- Peras de succión
- Pinzas

- Pipetas
- Soporte de extracción de ovas
- Tanques de oxígeno
- Tina de transportación de reproductores
- Tubos, codos, tapas PVC de 2 pulgadas
- Zaran al 80%
- Envases de 1kg
- Fundas plásticas
- Cernideros

3.2.2. Equipos

- Balanza electrónica de 5kg
- Balanza analítica SRM 114341402
- Balanza electrónica de 300g
- Baño maría modelo YCW-010
- Lámpara luz ultravioleta Spectroline ENF-260C
- Removedor magnético sr 300
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Computadora
- Montacargas
- Termómetro

3.2.3. Insumos

- Hormona 17 α -metiltestosterona GENETECH
- Alcohol etanol 99.5%
- Balanceado de truchas N° 0,1, línea BIOMIX
- Balanceado de trucha N° 2,3,4,5 línea PISIS
- Desinfectante OSVAN (80 % cloruro de benzalconio)
- Eugenol (83.6% esencia de clavo de olor)
- Ovas y esperma de truchas arcoíris de 2 a 3 años de maduración

3.3. Manejo del experimento

La investigación es experimental porque conllevó a un enfoque científico de un conjunto de variables, para lo cual se realizó con el apoyo del Ministerio de Acuacultura y Pesca y la Unidad Educativa Sarance en las dos fases del estudio.

- **Primera fase:** Recolección de ovas y esperma, manejo de equipos, alevines y aplicación de la hormona en el laboratorio de biotecnología del Centro de Investigación Acuícola Papallacta.
- **Segunda fase:** Crianza de la trucha arcoíris hasta la presencia de gonadas en las piscinas de producción en la Unidad Educativa Sarance.

3.3.1. Factores en estudio

El factor en estudio, es la determinación de la cantidad de hormona 17 α -metiltestosterona administrada en dos periodos de tiempo, para producir neomachos los cuales se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2 .

Factores en estudio de la reversión sexual de trucha arcoíris mediante hormonas.

Factor en estudio	
Factor A: Dosis de hormona aplicada en el alimento.	Factor D: Días de suministración de la hormona.
H0= 0 mg/kg de alimento	D0= 0 días
H1= 1 mg/kg de alimento	D1= 60 días
H2= 3 mg/kg de alimento	D2= 90 días
H3= 5 mg/kg de alimento	

3.3.2. Tratamientos

Los tratamientos a evaluar están relacionados entre las dosis de hormona en un periodo determinado de tiempo que constan en la Tabla 3.

Tabla 3.

Tratamientos en estudio de la reversión sexual de la trucha arcoíris.

TRATAMIENTO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T1	H1xD1	Hormona a 1 mg/kg de alimento a 60 días
T2	H1xD2	Hormona a 1 mg/kg de alimento a 90 días
T3	H2xD1	Hormona a 3 mg/kg de alimento a 60 días
T4	H2xD2	Hormona a 3 mg/kg de alimento a 90 días
T5	H3xD1	Hormona a 5 mg/kg de alimento a 60 días
T6	H3xD2	Hormona a 5 mg/kg de alimento a 90 días
T7	H0xD0	Hormona a 0 mg/kg de alimento a 0 días

3.3.3. Diseño experimental

Se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), en la primera fase que fue distribuida en tinas individuales, cada uno de sus tratamientos y repeticiones con las diferentes dosis de la hormona, son 21 tinas cada una de las cuales tendrá un tratamiento con un total de 21 unidades experimentales.

En la fase dos se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), para ellos se dividieron las dos piscinas de alevinaje en 24 jaulas, donde se colocaron los tratamientos correspondientes al azar con un total de 21 unidades experimentales.

3.3.4. Características del experimento

Las características del estudio de la reversión sexual de la trucha arcoíris, estuvo conformado por 7 tratamientos con 3 repeticiones con un total de 21 unidades experimentales los cuales están distribuidos en las Tablas 4, 5 y 6.

La unidad experimental de la fase uno (Tabla 4), estuvo conformada por 35 alevines por tratamiento con un total de 735 alevines, tomado en cuenta que se trabajó en el laboratorio de biotecnología del CENIAC, el cual estuvo distribuido en 21 tinas, con medidas de 0.45m (ancho) x 0.65m (largo) y x 0.40m (profundidad), con caminos de 0.50 m y 1.5 de dos pisos, con capacidad total de 28 tinas y una área total del experimento de 16.5m², la distribución de las tinas se puede observar en el Anexo 1.

Tabla 4.

Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase uno.

Descripción	Unidad
Bloques	3
Número de tratamientos	7
Número de repeticiones	3
Número unidades experimentales	21
Área total experimental	16.5 m ²
Número de larvas	100 / tratamiento

La unidad experimental de la fase dos (Tabla 5), estuvo conformada por 33 juveniles de 140 días por tratamiento con un total de 693 juveniles, en la área de producción de truchas de la Unidad Educativa Sarance las piscinas de alevinaje cuentan con medidas de 7 m (ancho) x 2.5 m (largo) y x 1 m (profundidad), una área total del experimento de la fase dos de las piscinas de alevinaje es de 17.5m², la distribución de las jaulas en las piscinas de alevinaje se puede observar en el Anexo 2.

Tabla 5.

Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase dos piscina de alevinaje.

Descripción	Unidad
Bloques	3
Número de tratamientos	7
Número de repeticiones	3
Número unidades experimentales	21
Área total experimental	17.5 m ²
Número de juveniles	33 / tratamiento

La unidad experimental de la fase dos en la Tabla 6, estuvo conformada por 28 adultos de 230 días por tratamiento con un total de 588 adulto, en la área de producción de truchas de la Unidad Educativa Sarance la piscina de producción cuenta con medidas de 6.5 m (ancho) x 12.5 m (largo) y x 1.50m (profundidad), una área total del experimento de la fase dos es de 81.5m², la distribución de las jaulas en las piscinas de crianza se puede apreciar en el Anexo 3.

Tabla 6.

Características del experimento de la reversión sexual de la trucha arcoíris en la fase dos piscina de producción.

Descripción	Unidad
Bloques	3
Número de tratamientos	7
Número de repeticiones	3
Número unidades experimentales	21
Área total experimental	81.25 m ²
Número de juveniles	28 / tratamiento

3.3.5. Análisis estadístico

El estudio en reversión sexual de la trucha arcoíris se lo realizó con el Diseño por Bloques Completamente al Azar en la primera fase, la cual esta descrita en la ADEVA de la Tabla 7, y en la segunda fase se realizó en un diseño Completamente al Azar descrita en la ADEVA de la Tabla 8.

Tabla 7.

Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño de bloques completamente al azar en el estudio de reversión sexual de la trucha arcoíris en las dos fases.

Fuentes de variación		Grados de Libertad
Bloque	(B – 1)	2
Dosis	(m-1)	2
Bloque x Dosis	(B-1)(m-1)	4
Tiempos	(d-1)	1
Tiempo x Bloque	(d-1)(B-1)	2
Dosis x Tiempo	(d-1)(m-1)	2
Error experimental	(B-1)(m-1)(d-1)	4
Total		21

Tabla 8.

Análisis de varianza (ADEVA) de un diseño de completamente al azar en el estudio de reversión sexual de la trucha arcoíris en las dos fases.

Fuentes de variación		Grados de Libertad
Tratamiento	(t-1)	6
Repetición	(R-1)	2
Error experimental	(t-1)(R-1)	12
Total		21

3.3.6. Variables

Variable independiente: las diferentes dosis de hormona.

Variable dependiente: el porcentaje de reversión sexual de la trucha arcoíris.

3.3.7. Variables a evaluarse

El estudio en reversión sexual de la trucha arcoíris se lo evaluó mediante las siguientes variables:

➤ **Peso del animal**

Para evaluar el peso de los animales se tomó una muestra al azar de 10 animales, que fueron pesados en una balanza digital, cada 15 días en la primera fase del estudio, luego se lo realizó cada 30 días por que la manipulación de los animales produjo un estrés lo cual aumento la mortalidad, para ver el incremento del animal se lo peso en gramos, la cual se aplica la siguiente ecuación (Bastardo y Sara, 2003).

$$\text{Peso del animal} = \text{Peso final} - \text{peso inicial}$$

➤ **Talla del animal**

Para evaluar la talla de los animales se tomó la misma muestra al azar de 10 animales y se midió la longitud del animal en una hoja milimetrada desde la cabeza hasta la cola, esto se

lo realizó a partir desde el primer día que se aplica la hormona cada 15 días en la primera fase del estudio y luego se lo realizó cada 30 días en la segunda fase del estudio por los motivos antes mencionados, para ver el incremento de talla se lo midió en centímetros (Piper, 1983).

$$\text{Longitud del animal} = \text{Tamaño final} - \text{Tamaño inicial}$$

➤ Visualización de gónadas

Para la visualización de gónadas se tomó todos los peces por cada tratamiento, se los sacrifico con un corte en la vena caudal, luego se presionó el abdomen para ver si secretan semen, después se realizó un corte desde el orificio urinal hasta las branquias, lo cual permitió observar la presencia de testículos, ovarios o ambas, se puede utilizar una lupa como apoyo para poder observar los ovarios, ya que estos son más difíciles de identificar.

3.4. Análisis de datos

El análisis funcional se realizó mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa de Fisher al 5% a las variables, lo cual resultó tener diferencia significativa a nivel del 5%.

3.5. Manejo específico del experimento

Para el desarrollo de este experimento se contempla a realizar las siguientes actividades, las cuales son fundamentales para el estudio de la reversión sexual de la trucha arcoíris:

3.5.1. Diagnósis de la madurez sexual de reproductores

En el centro de investigación acuícola Papallacta - CENIAC los estanques D5, D1 constan de truchas adultas de 2 años en adelante, en estos estanques se procedió a verificar el estado de madurez sexual de las truchas hembras presionando suavemente el abdomen para comprobar la existencia de ovas maduras. Los machos adultos por lo general se mantienen en estado maduro durante toda la época (Imaki, 2003).

3.5.2. Desinfección de la sala de incubación

En la sala de incubación se realizó la limpieza de la incubadora y las tapas, de la suciedad adherida para evitar algún tipo de contaminación, se emplea un desinfectante no tóxico como es el OSVAN cuyo principio activo es el cloruro de benzalconio el cual fue diluido en 20 litros de agua la cantidad e 5ml de OSVAN (Figura 5). También se limpia los pisos, recipientes plásticos y pipetas.



Figura 5. Desinfección de la incubadora.

3.5.3. Transporte de reproductores

Los ejemplares seleccionados fueron separados de los estanques y llevados hacia la sala de desove con la ayuda de un montacargas. Se transportaron en tinas plásticas con suficiente cantidad de agua. Cuidadosamente se depositaron las truchas adultas en la piscina adjunta a la sala de desove, para la extracción de ovas y semen los cuales fueron desovados según como se los iba necesitando.

3.5.4. Desove

Para efectuar el desove previamente se anestesiaron con 10ml de eugenol en 100 litros de agua en una tina donde se sumergieron las truchas, en las hembras primero se tomó por la parte caudal de la trucha secando con una toalla limpia y dando prioridad a la región ventral. Enseguida se colocó sobre el soporte de extracción de ovas manteniendo su cuerpo en

posición inclinada arqueando el tronco hacia atrás, se eliminaron los excrementos para evitar cualquier contaminación que afecte a los gametos y se masajeo suavemente el abdomen con movimientos repetitivos de arriba hacia abajo. De esta forma las ovas caen y se depositaron en una malla recolectora, éste procedimiento es conocido como método unipersonal (Figura 6) (Imaki, 2003). Para los reproductores machos el procedimiento es similar ya que para obtener el semen se presionó suavemente el abdomen y de manera repetitiva, el material seminal se recogió en cajas petri (Figura 7).



Figura 6. Extracción de ovas de una hembra.



Figura 7. Extracción de semen de un macho.

3.5.5. Irradiación de rayos ultravioleta al esperma

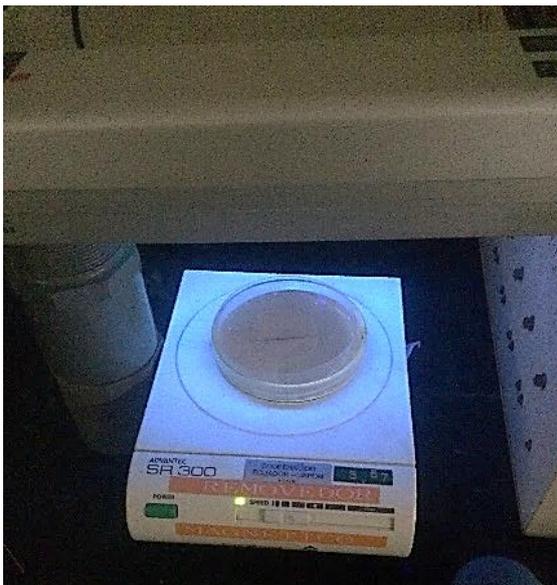


Figura 8. Aplicación de rayos UV al semen.

El semen fue colocado en cajas petri en un volumen de 2ml con la ayuda de una jeringuilla, esto se encontraba en una base de hielo de 0.5cm en continua agitación con el fin de que la muestra reciba una irradiación uniforme (Figura 8). Se aplicó la irradiación de rayos ultravioleta colocando la lámpara UV a una altura de 10cm, con una longitud de onda de 254nm y un tiempo de 270 segundos (Parra, 2014).

3.5.6. Fecundación artificial



Para la fecundación artificial se empleó el método seco cuya unidad experimental estuvo representada por 540 gramos de ovas (Blanco, 1995).

Previamente se colocó en un recipiente plástico y se roció los 2ml de semen irradiado mezclándolo uniformemente. El proceso de fecundación se inicia al poner en contacto los gametos con el agua (Figura 9). Al cabo de 5 minutos se cambió el agua repetidamente para eliminar los desechos (Shepherd y Bromage, 1999).

Figura 9. Fecundación artificial método seco.

3.5.7. Aplicación de choques térmicos en las ovas fecundadas

Las ovas fecundadas se sometieron a la aplicación de los choques térmicos por baño termostático usando un equipo de baño maría (modelo YCW-010). Los choques térmicos se aplicaron por inmersión de las ovas a baño maría, mantenidas a temperaturas y tiempos ya definidos de temperatura de 28°C, 10 minutos de duración y 10 minutos postfertilización es decir tiempo de espera de fecundación (Figura 10) (Muñoz, 2007).



Figura 10. Choque térmico de las ovas fecundadas.

3.5.8. Incubación



Las ovas sometidas a los diferentes protocolos de irradiación ultravioleta y choque térmico fueron llevadas a la incubadora, inmediatamente con la ayuda de un cedazo hasta las canastillas de incubación previamente identificada, para ser depositadas suavemente evitando los movimientos bruscos y sobre todo sin presencia de la luz, puesto que en esta etapa las ovas son muy sensibles a estos factores (Figura 11), también se realizó una limpieza diaria de las ovas muertas desde el tercer día de fecundación. La incubación se realizó a temperaturas entre 8-10°C, tomando en cuenta el tiempo de incubación para lo cual es necesario saber la acumulación de temperatura, para obtener los días aproximados de la eclosión de los alevines (Tabla 9) (Imaki, 2003).

Figura 11. Incubación de las ovas.

Tabla 9.

Duración de la incubación según la temperatura media del agua.

Temperatura °C	Ovas en estado embrionario		Eclosión	
°C	Días	Acumulación de temperatura °C	Días	Acumulación de temperatura °C
6	30	180	60	360
7	25	175	50	350
8	21	168	42	336
9	18	162	36	324
10	16	160	32	320
11	14	154	28	319
12	13	156	26	312
13	12	156	24	312

Fuente: Imaki (2003).

3.5.9. Preparación de la hormona

Según Bastardo y Sara (2003) para la preparación del alimento hormonado se inició pesando 3kg de alimento balanceado de la marca Biomix inicial su presentación es en polvo en fundas de 5kg, los cuales fueron colocados en 3 bandejas con 1kg de alimento, se pesó la hormona en una balanza analítica (SRM 114341402) en cantidades de 1, 3 y 5 miligramos, los cuales fueron disueltos en 57 ml de alcohol etílico al 99.5%, estos fueron colocados en el alimento de cada bandeja con su respectiva etiqueta (Figura 12), los cuales fueron integrados con movimientos envolvente en todo el alimento, después se cubrió con papel periódico y se dejó que se evapore todo el alcohol a la intemperie durante toda la noche en un lugar oscuro, al día siguiente se colocó en fundas selladas y en un recipiente totalmente oscuro, los cuales fueron colocados en la refrigeradora para evitar la desintegración de la hormona este procedimiento se lo realizo cada 21 días, el protocolo se lo observa en el Anexo 4.



Figura 12. Preparación de la hormona en el alimento.

3.5.10. Suministro de alimento

El alimento previamente mezclado con la hormona se suministró desde el primer día que el alevín absorbe su saco vitelino e inicia alimentarse, por lo cual se alimentó a los alevines en el transcurso de 60 días consecutivos y hasta los 90 días, con los diferentes tratamientos.

Los alevines se alimentaron cada 60 minutos durante 9 horas diariamente, la cual se tomó en cuanto la tabla de alimentación ya requerida del Centro de Investigación Acuícolas Papallacta (Tabla 10). Concluido este período de alimentación se les suministro su dieta de balanceado comercial hasta el final del experimento (12 meses) (Bastardo y Sara, 2003).

Tabla 10.

Dosis de alimentación de la trucha arcoíris

	PESO	TALLA	% PROTEINA	ALIMENTO	RACIÓN DIARIA (% DE LA BIOMASA)								NÚMERO DE VECES
	PROMEDIO Gramos	cm.			10 °C	11 °C	12 °C	13 °C	14 °C	15 °C	16 °C		
1	0.05 -0.15	1.0 -1.7	50%	N° 0 - N° 1	4.9%	5.2%	6.0%	6.4%	6.8%	7.5%	7.8%	8 a 12	
2	0.16 – 0.30	1.7 – 2.8	50%	N° 1	3.5%	3.8%	5.5%	5.1%	6.3%	7.0%	7.2%	6 a 8	
3	0.31-1.50	2.8 – 5.0	50%	N° 2	3.2%	3.5%	5.0%	4.8%	5.8%	6.7%	6.6%	6 a 8	
4	1.51 – 4.50	5.0 – 7.3	50%	N° 2	2.8%	3.2%	4.5%	4.5%	5.3%	6.4%	5.3%	4 a 6	
5	4.51 – 8.00	7.3 – 8.9	50%	N° 3	2.3%	2.9%	4.0%	4.2%	5.8%	6.1%	4.2%	4	
6	8.01 – 15.0	9.0 – 11.0	50%	N° 4	2.0%	2.6%	3.5%	3.9%	5.3%	5.8%	4.0%	4	
7	15.01 -30.00	11.1-14.0	50%	2.0 – 2.5 mm	1.8%	2.3%	3.0%	3.6%	4.8%	5.5%	3.3%	4	
8	30.01 – 80.0	14.1-17.0	50%	2.0 – 2.5 mm	1.6%	2.0%	2.5%	3.3%	4.3%	5.1%	2.9%	3 a 4	
9	80.1 – 120.0	17.1- 21.5	42 - 44%	3.0 mm	1.4%	1.7%	2.0%	3.0%	3.8%	4.8%	2.3%	3 a 4	
10	121.0 – 200.0	21.6- 28.1	40 - 42%	4.0 – 5.0 mm	1.2%	1.4%	1.5%	2.7%	3.3%	4.2%	1.9%	3	
11	201.0 – 300.0	28.2- 35.3	40 - 42%	4.0 – 5.0 mm	1.1%	1.3%	1.3%	2.4%	2.8%	3.5%	1.9%	3	
				(Fig.)									
12	301.0 – 500.0	35.4- 38.3	40 - 42%	4.0 - 5.0 mm	1.0%	1.1%	1.1%	2.1%	2.3%	3.0%	1.9%	2	
				(Fig.)									
13	mayor a 500.0	mayor a 38,3	40 - 42%	> 6.0 mm Fig.	0.9%	1.0%	1.1%	1.8%	1.8%	2.5%	1.9%	2	

Fuente: CENIAC, 2006.

Ya teniendo los datos de la biomasa del peso de los animales se sacó un promedio el cual permitió calcular la cantidad de alimento en función de la temperatura del agua, con la ayuda de la tabla de alimento, el cual permitió el desperdicio del alimento y las raciones diarias en la trucha arcoíris (Centro de Investigación Acuícolas Papallacta, 2006). La información sobre el alimento balanceado se encuentra en el Anexo 5.

3.5.11. Toma de datos

La toma de datos se la realizó desde el primer día que se dio de alimentar con la hormona, luego se tomó el peso y talla cada 15 días, hasta los 120 días de ahí se tomaron los datos cada 30 días hasta los 270 días, para ello se tomaba todos los peces y se los pesaba sin agua para obtener la biomasa total por tratamiento luego se cogían 10 peces completamente al

azar para pesarlos y medirlos estos eran colocados en una caja petri con una base de una hoja milimetrada para tomar sus medidas (Figura 13).



Figura 13. Toma de datos de peso y talla.

3.5.12. Traslado de las truchas a la fase dos



Las truchas después de haber concluido los días de la aplicación de la hormona en el Centro de Investigación Acuícola Papallacta se las traslado a la Unidad Educativa Sarance del cantón Otavalo de la provincia de Imbabura, para continuar con su desarrollo. Para el traslado se tomaron 2 fundas plásticas gruesas de 22 cm x 48 cm donde fueron colocados los juveniles, de cada tratamiento en 25 litros de agua y son llenados con oxígeno, finalmente sellados y etiquetados correctamente (Figura 14), cabe recalcar que a los alevines se les suspendió el alimento 24 horas antes para limpiar su sistema digestivo (Imaki, 2003).

Figura 14. Empaque de alevines para ser transportados.

3.5.13. Piscinas de alevinaje.

Para el desarrollo de las truchas fueron trasladadas, luego de ser alimentadas con la hormona en el laboratorio, las cuales fueron llevadas a las piscinas de crianza, previamente divididas con malla plástica de 3mm en 24 jaulas, de la Unidad Educativa Sarance, las fundas fueron colocadas en los estanques sin abrirlas (Figura 15), para su climatización a la temperatura del agua, de esta manera los animales evitan el estrés por el cambio brusco de temperatura, y se las cría de forma convencional con balanceado comercial con sus respectivas raciones en un tiempo de 6 meses aproximadamente, Las cuales fueron distribuidas en un diseño completamente al azar.



Figura 15. Adaptación de alevines.

3.5.14. Limpieza y desinfección de la piscina de crianza



Figura 16. Limpieza y desinfección de la piscina de crianza.

Las piscinas de crianza de trucha arcoíris de la Unidad Educativa Sarance fueron sometidas a una ardua limpieza y desinfección con la ayuda de estudiantes del mismo establecimiento educativo (Figura 16), esta actividad conllevó a retirar maleza, después se realizó una lavada de las piscinas y se colocó cal para su desinfección y se dejó al sol por 15 días.

3.5.15. Construcción de jaulas

Las jaulas se construyeron con zaranda al 80% y carrizo por 1m^3 , esto se realizó para los 21 tratamientos los cuales fueron sujetos y nivelados con tabloncitos sujetos en el piso con alambre galvanizado y clavos de acero con el fin de mantener una misma altura de agua en todas las jaulas. Según Sánchez (2014), se colocó en el centro de la piscina un sistema de oxigenación tipo flauta con el fin de tener una oxigenación homogénea en toda la piscina (Figura 17).



Figura 17. Construcción de las jaulas.

3.5.16. Sacrificio de peces



A los 270 días desde que absorbieron su saco vitelino las truchas, se procedió a sacrificarlos mediante el corte en la cuarta arteria branquial y luego fueron depositados en una tina con agua para su desangrado total (Figura 18), sin ensuciar las vísceras con sangre.

Una vez que se desangraron completamente se los peso y se midieron su talla final.

Figura 18. Sacrificio de las truchas.

3.5.17. Identificación de gónadas

Después del sacrificio de las truchas se realizó un corte longitudinal desde el orificio urogenital hasta la cabeza abriendo el animal para observar las gónadas masculinas, femeninas o ambas. Los testículos son pares, siendo frecuentemente órganos sinuosos que a veces se extienden a lo largo de toda la cavidad abdominal. Los ovarios también están a lo largo de toda la cavidad abdominal por su maduración sexual en este estudio los ovarios son muy pequeños por lo cual toco identificarlos con la ayuda de una lupa y práctica.

3.5.18. Relación beneficio – costo

En esta investigación, se efectuó un análisis económico, donde se realizó el cálculo de la utilidad neta. Para el análisis beneficio costo se siguió la metodología donde se obtuvo información recopilada del libro de campo, determinando costos de producción y utilidad bruta el cual que se logra por los ingresos obtenidos, y si el resultado es mayor a 1 se consideró como una ganancia y si su resultado presento un valor inferior a 1 se generaron pérdidas (FAO, 2014).

Para desarrollar un análisis costo-beneficio de la venta de alevines sexado es muy importante tener en cuentas los siguientes pasos (Maldonado, 2018):

- Determinar y definir los objetivos. Un análisis costo beneficio debe incluir los objetivos del proyecto y la información básica para que el revisor pueda entender la información, aunque no esté muy familiarizado con la industria.
- Recolectar la mayor cantidad de datos detallados de los costos.
- Estimar los costos involucrados y determinar un costo total.
- Identificar y estimar el valor de los beneficios.
- Averiguar la cantidad total del dinero conseguido por la inversión y el costo total incurrido durante el desarrollo de los alevines.
- Dividir el beneficio total por el costo total.
- Realizar un análisis de sensibilidad para asegurar que los resultados sean factibles.

Para esto se toma en cuenta todos los gastos que conllevó el estudio para obtener neomachos, desde la preparación de equipos, ovas, hormona y mano de obra. Teniendo en cuenta que la producción de las gónadas inducidas en los neomachos produce un volumen espermático de 2ml a 4ml por animal este se lo puede almacenar en pajuelas de 0.5ml con el fin de almacenar y fecundar un promedio de 800 ovas, para obtener lotes mono sexos es decir solo hembras (Ortiz, 2015).

Para determinar la relación beneficio – costo se utiliza la siguiente ecuación.

$$\textit{Beneficio/Costo} = \frac{\textit{Sumatoria de los ingresos}}{\textit{Sumatoria de los egresos}}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de aplicar la metodología planteada se procedió a realizar la evaluación mediante un análisis de varianza, obteniendo los siguientes resultados en la investigación.

4.1. Peso de la trucha arcoíris en la fase 1

Para la toma de datos en el peso se realizó desde los 0 días de alimentación de la hormona hasta los 90 días, teniendo en cuenta que el tratamiento D1 (60 días), fue alimentado con la hormona hasta los 60 días, luego fue alimentado hasta los 90 días con alimento comercial, obteniendo en el análisis estadístico un efecto en los días de evaluación ($F= 1387.27$; $gl= 6,1216$; $p=<0.0001$), independientemente de la hormona y los días de alimentación para la variable del efecto de peso en etapa de alimentación y hormona como se observa en la Tabla 11.

En la Figura 19 la prueba de media LSD Fisher mostró que de 0 y 15 días las truchas presentaron un peso similar con una media de 0.11g; en cambio a los 30 días se obtuvo un incremento del 61%. Sin embargo a los 45 días se presenta una media de 0.28g la cual se observó que a los 60 días tuvo un incremento del 0.65% respecto a los 45 días. A los 75 días se obtuvo una media de 0,57g y a los 90 días la ganancia de peso fue del 75% al anterior registro de datos independientemente de la dosis de la hormona teniendo en cuenta que la cantidad de alimento fue calculada cada 15 días con los datos tomados.

Tabla 11.

Esquema de la ADEVA del efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1216	1387.27	<0.0001
DA*	1	1216	0.71	0.3985
Hormona	2	1216	0.97	0.3804
Días de evaluación : DA*	6	1216	0.61	0.7215
Días de evaluación : Hormona	12	1216	0.6x8	0.7698
DA*: Hormona	2	1216	0.50	0.6049
Días de evaluación : DA* : Hormona	12	1216	0.41	0.9605

*Días de alimentación

El incremento de peso de las truchas arcoíris se tomó en intervalos de 15 días, a 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días después de la eclosión de las larvas, teniendo en cuenta que el peso inicial fue de 0.10 g y el final de 0,76 g, como se observa en la Figura 19.

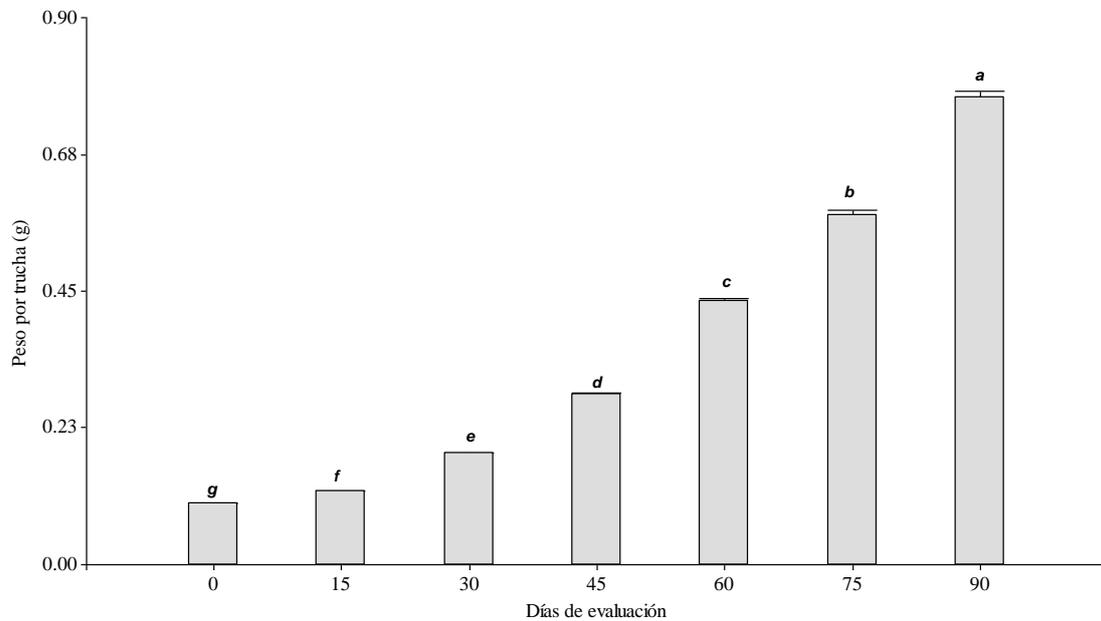


Figura 19. Efecto del aumento del peso de la trucha arcoíris con respecto a los días de evaluación en la fase 1.

El incremento promedio de peso de la trucha arcoíris en la primera fase es de 0.35 g, el cual está dentro del estándar en el peso que es de 0.31 a 1.50 g en el mismo periodo de tiempo según la FAO (2014), tomando en cuenta la relación de la temperatura del agua ya que estos peces son poiquilotermos, el cual es fundamental en su crecimiento.

4.1.1. Peso de la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 1

El peso de la trucha arcoíris con respecto al testigo, en los primeros 90 días de evaluación del estudio de la fase 1, el análisis estadístico mostró que existe un efecto entre los tratamientos ($F=2.18$; $gl= 6,1419$; $p=0.0337$) (Tabla 12). Como se puede observar en la Figura 20 la prueba de media LSD Fisher mostró que el tratamiento de 0 días 0 mg es mayor con 2.7% de ganancia de peso comparado con los tratamientos 60 días 1mg y 5mg que son similares, respecto a los tratamientos de 90 días 1mg, 3mg y 5mg que son menores su diferencia es de 2.9% de ganancia de peso y en comparación del menor con respecto al mayor tratamiento en ganancia de peso es del 8.1% de incremento de peso.

Tabla 12.

Esquema de la ADEVA del efecto del peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1419	1666.76	<0.0001
Tratamientos	6	1419	2.18	0.0337
Días de evaluación : Tratamientos	36	1419	0.90	0.6428

Como se puede observar en la figura 20 de barras el testigo es mayor con una media de 0.37g y el menor es de 0.34g.

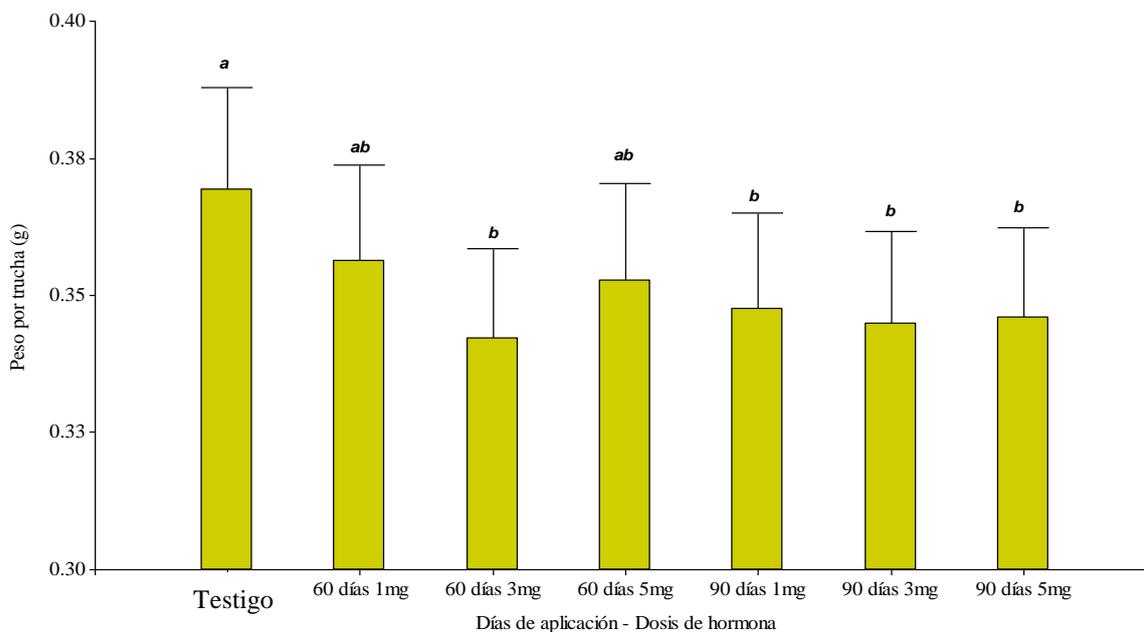


Figura 20. Incremento de peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo.

Según el estudio de Mejía y Román (2009) el tratamiento no hormonado es el que mejor incremento de peso tuvo con una media aritmética de 21.59 al tratamiento hormonado con una media de 17.35 en un tiempo de 5 meses.

En el presente estudio se evaluó la primera fase hasta los 90 días de suministro de la hormona, por lo cual no se vio efecto en el incremento de peso por la hormona, pero en el testigo fue mayor para los demás tratamientos.

4.2. Talla de la trucha arcoíris en la fase 1

El análisis estadístico mostro que existió un efecto de los días de evaluación ($F= 2259.97$; $gl= 6,1216$; $p=<0.0001$), independientemente de la hormona y los días de alimentación para la variable del efecto de talla en etapa de alimentación y hormona como se observa en la Tabla 13. Como resultado de la Figura 21 la prueba de media LSD Fisher mostró que el incremento de talla de las truchas con las diferentes dosis de hormona en los primeros 90 días, existe un crecimiento paulatino con el transcurso de los días, a los 0 días de evaluación la media es de 1.99cm de alevín, respecto a la segunda toma de datos que fue a los 15 días su incremento es de un 19.8% de incremento de talla con una medias de 2.48cm, el crecimiento hasta los 90 días fue 3.93cm con una media de un 8.8% cada 15 días.

Tabla 13.

Esquema de la ADEVA del efecto de la talla de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 1

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1216	2259.97	<0.0001
DA*	1	1216	0.58	0.4480
Hormona	2	1216	0.23	0.7935
Días de evaluación : DA*	6	1216	0.16	0.9861
Días de evaluación : Hormona	12	1216	0.39	0.9669
DA* : Hormona	2	1216	0.79	0.4557
Días de evaluación : DA* : Hormona	12	1216	0.45	0.9428

*Días de alimentación

La Figura 21 muestra que el crecimiento es ascendente cada quince días y se observa que la hormona no tiene ningún efecto con el incremento de tamaño en la trucha arcoíris en la primera fase.

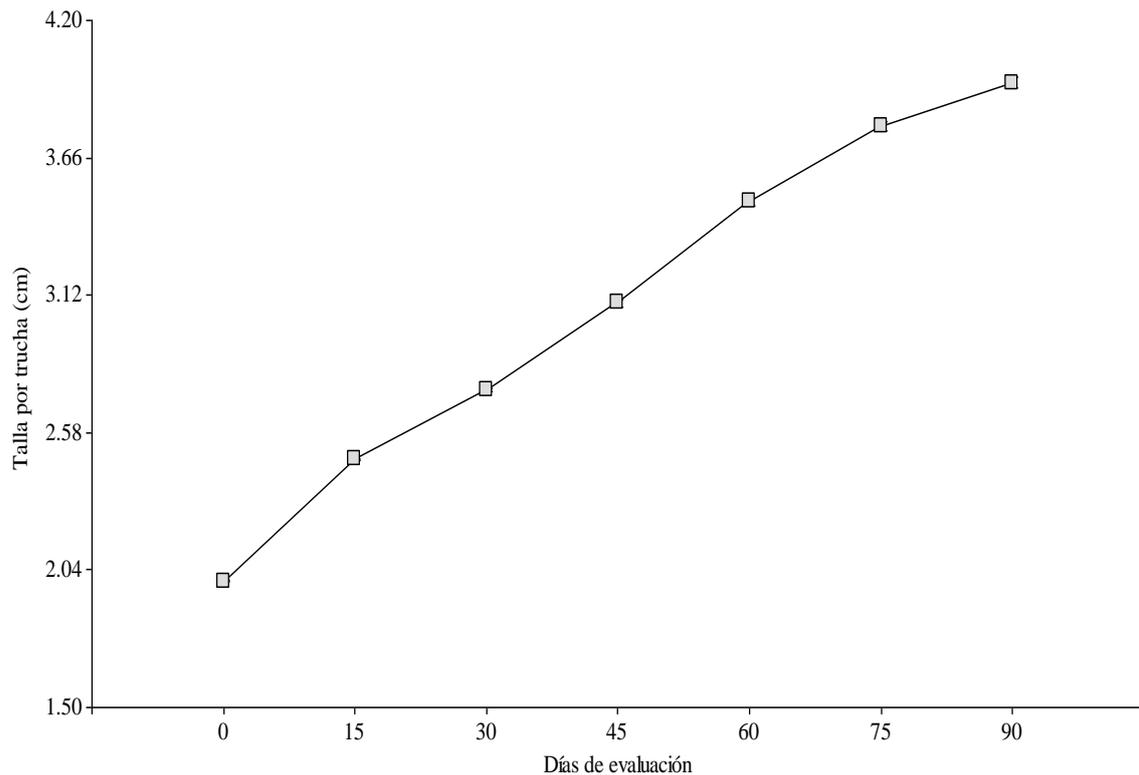


Figura 21 Incremento de la talla en la trucha arcoíris en la fase 1.

El incremento promedio de tamaño de la trucha arcoíris en la primera fase es de 3.1 cm el cual estuvo dentro del estándar de talla que es de 2.8 cm a 5cm según la FAO (2014), tomando en cuenta la relación de la temperatura del agua ya que estos peces son poiquiloterms, el cual es fundamental en su crecimiento.

4.2.1. Crecimiento de la trucha arcoíris comparado con el testigo en fase 1.

En comparación del incremento de tamaño de la trucha arcoíris con respecto al testigo, el análisis estadístico (Tabla 15) mostró que en los días de evaluación existe un efecto ($F=6945.27$; $gl= 6,1419$; $p=<0.0001$). Como se puede observar en la Figura 22 la prueba de media LSD Fisher mostró que el tratamiento de testigo es mayor con 1.28% a los tratamientos 90 días 5mg y 60 días 1mg que son similares, respecto a los tratamientos 60 días 3mg y 5mg que son menores su diferencia es de 1.60% y del menor con respecto al mayor tratamiento es de 1.92% de incremento de tamaño.

Tabla 14.

Esquema de la ADEVA del efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1419	6945.27	<0.0001
Tratamiento	6	1419	1.81	0.0942
Días de evaluación : Tratamiento	36	1419	1.38	0.0673

En la Figura 22 se muestra el crecimiento de los alevines en el transcurso de los primeros 90 días de evaluación con respecto a los diferentes tratamientos, en lo que no existió una interacción entre días de evaluación y tratamiento.

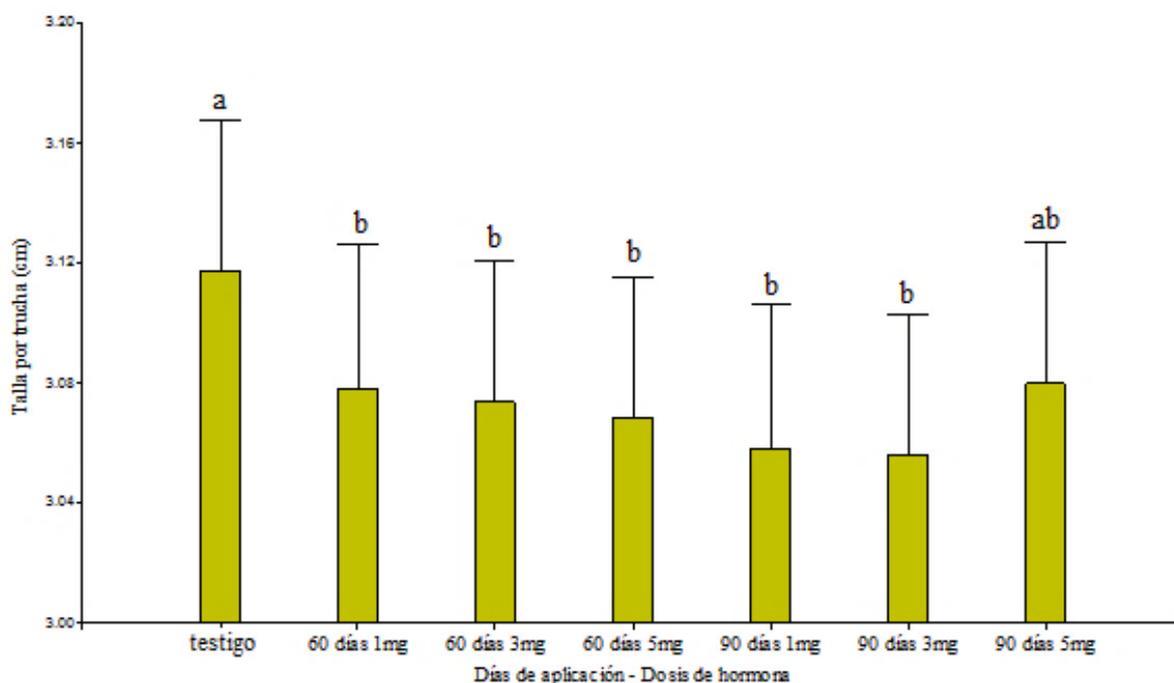


Figura 22. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 1.

Comparando los resultados de Bastardo y Sara (2003), en la reversión sexual en trucha arcoíris (*O. mykiss*), bajo la utilización de 17 a-metiltestosterona en el alimento, obtuvieron una talla promedio del grupo control que fue mayor que el experimental, con una media aritmética de 125.96 vs 121.77, teniendo en cuenta que el ensayo solo duro 4 meses, y la comparación con este estudio se ve reflejado en la primera fase de 90 días.

4.3. Peso de la trucha arcoíris de la fase 2

Los datos en la fase 2 fueron tomados, a los 15 días y después solo se tomaron datos cada 30 días por motivo que entre más grande la trucha es más susceptible al estrés lo cual aumentaba la mortalidad.

4.3.1. Peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2

El análisis estadístico en el aumento de peso de la trucha mostró que existe interacción entre días de evaluación, días de alimentación y hormona ($F=2.09$; $gl= 12,1167$; $p=0.0151$), como se muestra en la Tabla 15. La prueba de media LSD Fisher mostró un incremento de pesos en los diferentes tratamientos, los cuales se diferenciaron a los 210 días donde se observó que el tratamiento de 60 días y 1mg, es el que mayor incremento de peso, el cual se mantuvo hasta los 270 días de evaluación que finalizó el estudio.

Tabla 15.

Esquema de la ADEVA del efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1167	1267.48	<0.0001
DA*	1	1167	3.5E-04	0.9850
Hormona	2	1167	0.46	0.6286
Días de evaluación : DA*	6	1167	0.58	0.7443
Días de evaluación : Hormona	12	1167	0.80	0.6560
DA*: Hormona	2	1167	3.33	0.0362
Días de evaluación : DA* : Hormona	12	1167	2.09	0.0151

*Días de alimentación

El incremento de peso de las truchas arcoíris en la fase 2, se debe tomar en cuenta, que en esta fase todos los tratamientos son alimentados con balanceado comercial en las mismas condiciones para todos, los cuales fueron evaluados desde la primera semana que fueron trasladados a la fase 2, los cuales contaban con las misma temperatura y condiciones de agua en los 105 días hasta los 270 días de evaluación.

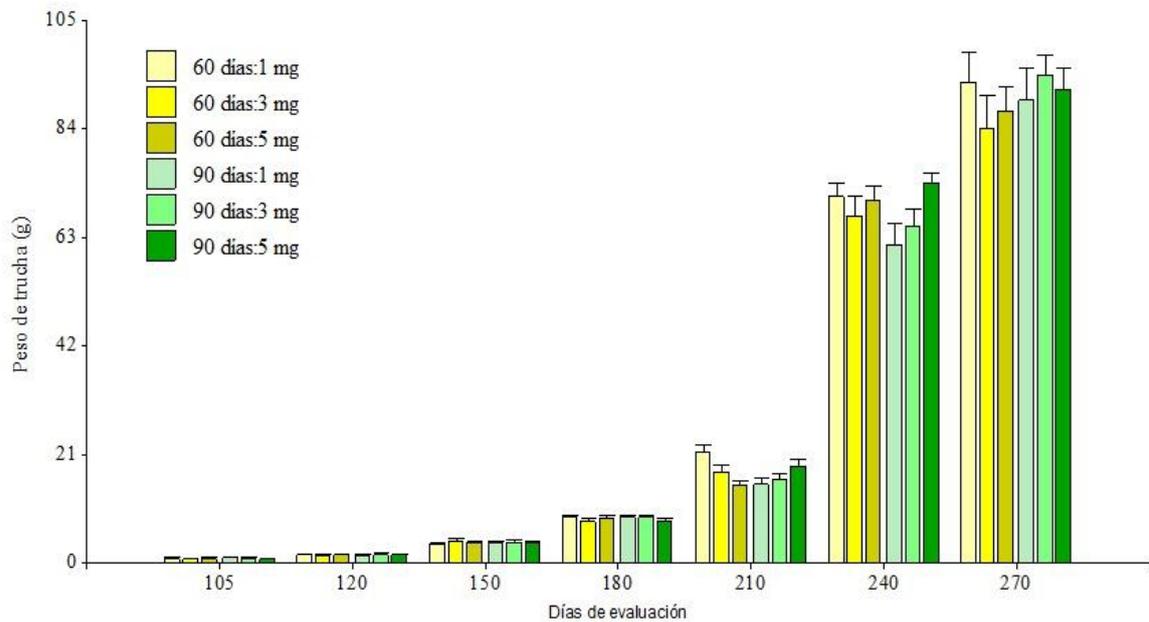


Figura 23. Efecto de peso de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.

Dentro de los diferentes tratamientos del presente estudio, el de mayor ganancia de peso, es el de menor concentración de hormona de 60 días y 1mg, tomando en cuenta el estudio de Kavumpurath y Pandian (1994) a mayor dosificación hormonal es menor la longitud y ancho del cuerpo, los cuales fueron probados con la misma hormona masculinizante vía oral en diferentes especies los cuales también produce la esterilidad de los animales.

4.3.2. Ganancia de peso en la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 2.

El incremento de peso de la trucha arcoíris con respecto al testigo, muestra que el análisis estadístico (Tabla 16) existió un efecto entre los tratamientos ($F=2.12$; $gl= 6,1364$ $p=0.0480$). Con el transcurso del tiempo se puede observar que la hormona si influyó en el incremento de peso con un 3.5% de ganancia de peso en el tratamiento 60 días y 1 mg con respecto al testigo (Tabla 17).

Tabla 16.

Esquema de la ADEVA del efecto del peso de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 2.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1364	1529.23	<0.0001
Tratamientos	6	1364	2.12	0.0480
Días de evaluación : Tratamientos	36	1364	1.29	0.1208

Como se puede observar en la Tabla 17 el tratamiento de 60 días y 1mg es el que mayor ganancia de peso con una media de 28.67g y el tratamiento de menor incremento de peso es el de 90 días y 1mg menor con una media de 25.96g.

Tabla 17.

Efecto del incremento de peso en la trucha arcoíris en la fase 2.

Tratamiento	Medias	Error estándar del experimento	
60 días1 mg	28.67	0.89	A
90 días5 mg	28.36	0.88	AB
testigo	27.67	0.87	AB
90 días3 mg	27.39	0.86	AB
60 días5 mg	26.85	0.88	AB
60 días3 mg	26.28	0.93	AB
90 días1 mg	25.96	0.87	B

El estudio mostró que existió un efecto en el incremento de peso, teniendo en cuenta que la hormona promueve el almacenamiento de nitrógeno que se refleja en un aumento de proteína en el músculo, el cual aumenta el peso corporal, señalado por Botana et al., (2002).

Teniendo en cuenta que la efectividad de la hormona masculinizante 17 a- metiltestosterona impide que sea metabolizada y degradada rápidamente en el hígado del pez, por lo cual el efecto se dio a partir de los 210 días, y no en un periodo antes, también se debe tomar en cuenta que desde los 180 días aproximadamente inicia el desarrollo de los juveniles, con el cual concuerda con el presente estudio, el cual se vio reflejado en el tratamiento de 1mg a 60 días de administración (Lizárraga, 2008).

4.4. Crecimiento en la trucha arcoiris de la alimentación y hormona en la fase 2.

El incremento de peso de la trucha arcoiris, mostró en el análisis estadístico que si existió una interacción entre días de alimento y hormona ($F=0.79$; $gl= 2,1167$; $p=0.0076$) como se observa en la Tabla 18. En la Figura 24 con la prueba de media LSD Fisher mostró que existe una interacción entre días de alimento y hormona, la mejor dosis de hormona fue la de 60 días 3 mg con una media de talla de 10.38 cm, siendo mayor para los tratamientos 90 días 3mg y 60 días 1mg que estos son similares con una diferencia de 0.1% de incremento de tamaño, con respecto a 90 días y 5mg que es de 1.4% de tamaño y el de menor crecimiento fue el de 60 días 5mg con una diferencia del 5.9% de la talla de la trucha.

Tabla 18.

Esquema de la ADEVA del efecto de la talla en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1167	2259.97	<0.0001
DA*	1	1167	0.58	0.8580
Hormona	2	1167	0.23	0.9044
Días de evaluación : DA*	6	1167	0.16	0.1481
Días de evaluación : Hormona	12	1167	0.39	0.9406
DA* : Hormona	2	1167	0.79	0.0076
Días de evaluación : DA* : Hormona	12	1167	1.97	0.0237

*Días de alimentación

La Figura 24 muestra que existió una interacción entre días de alimentación y dosis de hormona, con una media de 10.38 cm en el de mayor incremento de talla.

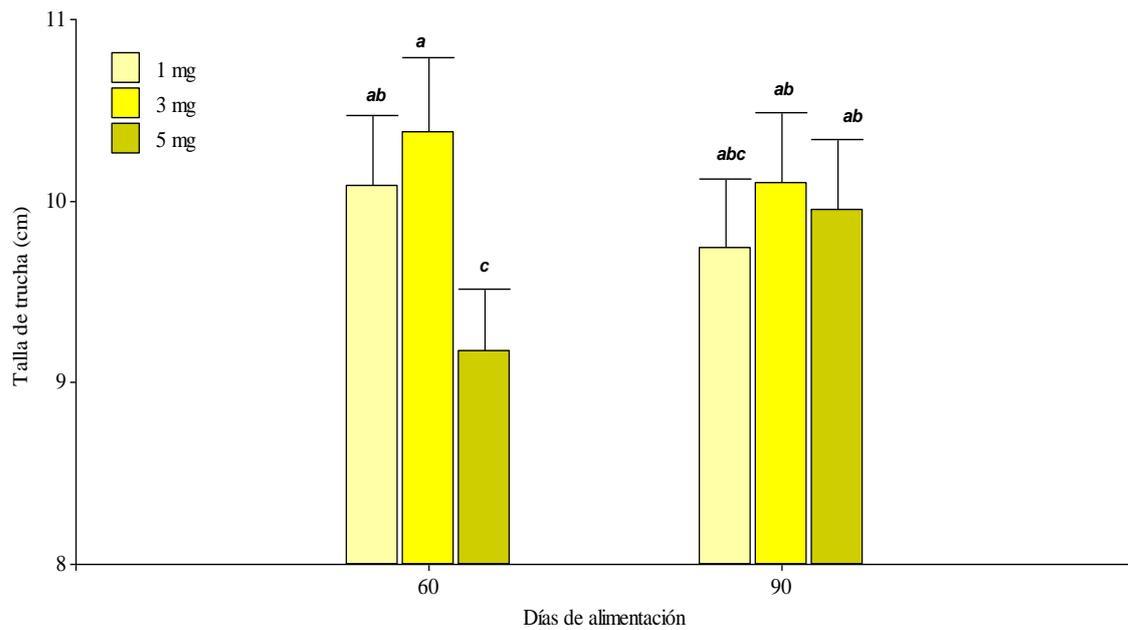


Figura 24. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en etapa de alimentación y hormona en la fase 2.

Según Atar et al., (2014), en los parámetros de diferencia de crecimiento influyen la dosis de hormona, ya que si es mayor a 25mg/kg de alimento y mayor a 120 días de suministro de hormona, las truchas quedan estériles y no desarrolla en su crecimiento.

También Kavumpurath y Pandian (1994) confirma que a mayor dosificación hormonal es menor la longitud y ancho del cuerpo.

4.4.1. Crecimiento en la trucha arcoíris comparado con el testigo en la fase 2.

En comparación del crecimiento de la trucha arcoíris con respecto al testigo, el análisis estadístico mostró que en los tratamientos si existió un efecto en relación con el crecimiento ($F=3.54$; $gl= 6,1364$; $p=0.0018$), como se puede observar en la Tabla 20. En la Figura 25 se muestra la prueba de media LSD Fisher comparado con el testigo, el tratamiento hormonado de 60 días y 3mg es el que mayor talla tuvo con una media de 10.38cm, seguido del testigo con una diferencia del 2.2%.

Tabla 19.

Esquema de la ADEVA del efecto de la talla en comparación con el testigo en la fase 2.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Grados de libertad del error	Valor F	Valor P
Días de evaluación	6	1364	6945.27	<0.0001
Tratamiento	6	1364	3.54	0.0018
Días de evaluación : Tratamiento	36	1364	1.00	0.4699

En la figura 25 muestra el efecto que tiene el crecimiento de los alevines en el transcurso de los primeros 90 días de evaluación con respecto a los diferentes tratamientos, que no existieron una interacción entre días de evaluación y tratamiento.

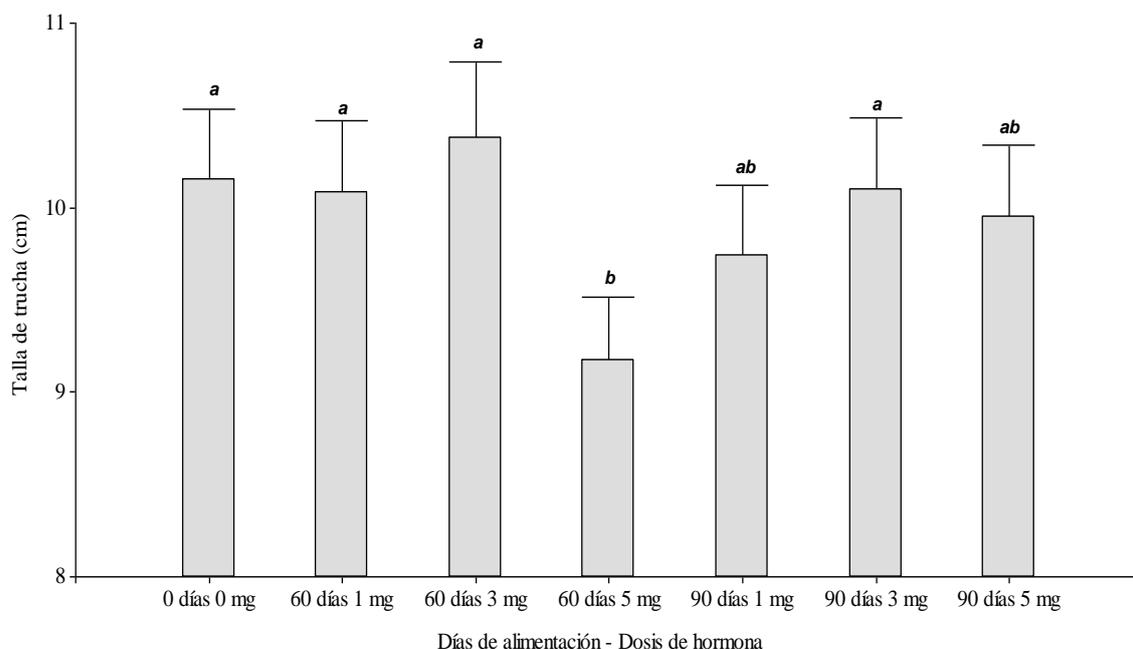


Figura 25. Efecto de la talla de la trucha arcoíris en comparación con el testigo en la fase 2.

De acuerdo a Botana et al., (2002) la hormona sintética es asociada al desarrollo y además estimula el crecimiento del esqueleto, posee un efecto miotrófico selectivamente, que da lugar a un aumento de la masa muscular en distintas especies como la trucha arcoíris.

El cual fue confirmado con el presente estudio con el tratamiento de 3mg a 60 días de suministro de la hormona con el mayor tamaño de talla dentro del estudio.

4.5. Reversión sexual de la trucha arcoíris.

Para la determinación de la reversión sexual en la trucha arcoíris se observó la presencia de gónadas, en todos los animales de estudio por cada tratamiento, los cuales fueron calculados en porcentajes de hembras, machos e intersexo. En la Tabla 20 se puede observar que el tratamiento H2D1 3mg de hormona a 60 días de aplicación es el que mayor porcentaje de gónadas masculinas presento con un 86% y un 14% de intersexo es decir la presencia de ovarios y testículos. Y en el testigo se obtuvo una mayor presencia de hembras con ovarios, ya que no fueron alimentadas con la hormona masculinizante como podemos diferenciar en la Figura 26.

Tabla 20.

Porcentaje de reversión sexual en la trucha arcoíris.

Tratamientos / Reversión	H0 D0	H1 D1	H2 D1	H3 D1	H1 D2	H2 D2	H3 D2	Total
Hembras	76%	13%	0%	0%	4%	0%	0%	13%
Machos	24%	48%	86%	83%	52%	85%	84%	66%
Intersexo	0%	39%	14%	17%	44%	15%	16%	21%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

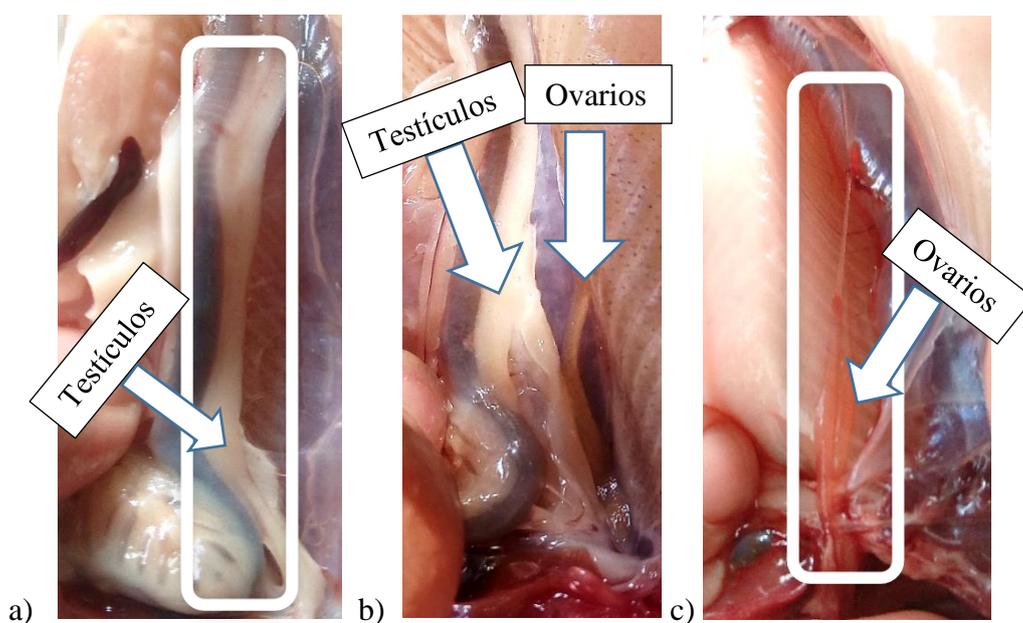


Figura 26. Gónadas de la trucha arcoíris a) Machos (Testículos de neomacho), b) Intersexo (testículos y ovarios), c) Hembra (ovarios).

En Colombia se obtuvo un resultado del 29% de animales neomachos, tomando en cuenta que no sexaron sus alevines con una concentración de 3mg/ kg de alimento (Mejía y Román, 2009). En Chile, con una dosis de 3 mg/ kg de alimento, obtuvieron aproximadamente un 100 % de neomachos a partir de hembras genotípicas (Díaz y Neira, 2005). Sin embargo, con estas dosis se reporta la necesidad de sacrificar los ejemplares debido a que origina el cierre de conductos seminales en las hembras masculinizadas, y en el momento de la maduración el semen no encuentra salida por lo que es necesario extraer los testículos para poder realizar las actividades de reproducción.

La Universidad de Ankara en Turquía probaron tres tipos de hormonas dentro de las que estaba la 17α -metiltestosterona, siendo la que mejores resultados tuvo con una reversión del 86,67% con la dosis de 3 mg/kg de alimento durante 60 días (Atar et al., 2014).

La efectividad de esta hormona según Lizárraga (2008), menciona que la efectividad de este esteroide se debe a la presencia del grupo metilo en el carbono 17, que impide que el compuesto sea metabolizado y degradado rápidamente en el hígado del pez. Podría considerarse entonces, que parte de la baja efectividad del tratamiento para masculinizar puede deberse al metabolismo hepático de la sustancia.

4.6. Análisis económico

Para el estudio en la reversión sexual de la trucha arcoíris, en la relación beneficio costo por tratamientos no fue factible por motivo que solo se realizó la visualización de la presencia de gónadas inducidas en la trucha arcoíris.

Por lo cual se analizó los costos para la producción de la venta de alevines sexados, para obtener los ingresos por ventas, mediante el indicador financiero de relación beneficio/costo.

Para lo cual se tomó en cuenta los rubros de insumos, mano de obra, balanceado, materiales de campo, arriendo de instalaciones y servicios básicos, para la producción de 30 mil alevines sexados.

Tabla 21
Costos para la producción de alevines sexados.

RUBRO	PRESENTACION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (USD)	COSTO TOTAL (USD)
1. Insumos				
1.1. – Ovas	Millar	30	16	480
1.2. - Semen sexado	MI	21	8	168
Subtotal				648
2. Mano de Obra				
2.1.- Trabajador	Mes	3	197	591
Subtotal				591
3. Balanceados				
3.1.- Inicial	Kg	5	2.5	12.5
Subtotal				12.35
4. Materiales de campo				
4.1.- Pipetas y peras	Unidad	2	3.5	7
4.2.- Cepillo	Unidad	1	1.5	1.5
4,3,- Limpiones	Unidad	2	0.5	1
4.4.- Termómetro	Unidad	1	5	5
4.5.- Cajas petri	Unidad	2	1.5	3
4.6.- Tina	Unidad	1	10	10
4.7.- Escoba	Unidad	1	1.5	1.5
Subtotal				29
5. Arriendo de instalaciones				
5.1.- Incubadora y estanques	Mes	3	100	300
Subtotal				300
6. Servicios básicos				
6.1.- Luz, agua, teléfono, e internet	Mes	3	20	60
SUBTOTOTAL				1640.5
IMPREVISTOS (10%)				164.05
TOTAL				1804.55

La Tabla 21 nos muestra cual sería el costo para la producción de alevines sexados en un periodo de 3 mes con mano de obra de medio tiempo, la cual es necesaria para el mantenimiento de incubación de ovas.

Tabla 22.

Depreciación de equipos

DEPRECIACIÓN DE EQUIPOS	COSTO TOTAL (USD)
Oxigenador	80
Bomba de agua	120
Tanque de oxígeno	195
Otros	10
TOTAL	405
Vida útil	10 años
Depreciación materiales (año)	40.5
Depreciación materiales (ciclo)	10.13

La Tabla 22 muestra la depreciación de equipos se lo realizo por ciclo de producción de alevines con un valor de 10.13 USD.

El costo de producción por alevín sexado es de 0.07 USD en un tiempo de 3 meses aproximadamente.

Tabla 23.

Ingresos por ventas

INGRESOS POR VENTAS	COSTO TOTAL (USD)
Número de alevines (inicial)	30000
(-) 15% Mortalidad	4500
Número de alevines (final)	25500
Ingreso por venta ciclo (USD)	2550.00

La venta de alevines sexados en Ecuador por la empresa Acuimagg es de 0.10 USD por alevín el cual se tomó como referencia para la venta de los alevines, con un total de ventas de 2550\$ con una mortalidad del 15 como se aprecia en la Tabla 23.

Para la relación beneficio – costo se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Beneficio/Costo} = \frac{\text{Sumatoria de los ingresos}}{\text{Sumatoria de los egresos}}$$

$$\text{Beneficio/Costo} = \frac{2550}{1814.68}$$

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = 1.41$$

La relación beneficio – costo nos indica que por cada dólar que invierte se obtiene 0.41 USD de ganancia. Tomando en cuenta que se puede obtener 4 ciclos de producción de alevines al año lo cual es rentable.

El incremento demográfico anual, de la venta de alevines se maneja con una inflación de precios del 5% por ciclo (Tabla 24).

Tabla 24

Incremento demográfico anual, de la venta de alevines

INCREMENTO DEMOGRÁFICO ANUAL, DE LA VENTA DE ALEVINES SEXADOS

	Cantidad	Valor/ Uni.USD	Total USD									
Alevines	25500	0.10	2550.00	25500	0.11	2677.50	25500	0.11	2811.38	25500	0.12	2951.94
	CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3			CICLO 4		
Ingresos			\$2.550			\$2.678			\$2.811			\$2.952

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se obtuvo un mayor porcentaje de reversión sexual con la aplicación de la hormona 17 α - metiltestosterona en el tratamiento de 3mg/kg a 60 días es el que mayor porcentaje de reversión sexual con un 86% de neomachos.
- La aplicación de 3mg y 5mg de hormona en un kilogramo de alimento y suministrada hasta los 60 días y 90 días produjo un mayor efecto masculizante en la trucha arcoíris, sin la presencia de gónadas femeninas, en cambio con la menor dosis de hormona de (1mg/kg) se llevó a obtener un porcentajes de hembras de 13 y 4 % en los periodos de 60 y 90 días respectivamente.
- Con el suministro de la hormona masculizante en la trucha arcoíris, se observó que hay un efecto en su incremento de peso con el 3.5% en el tratamiento de 60 días y 1 mg, y en tamaño con el 2.2% es mayor el tratamiento de 60 días y 3mg comparado con el testigo.
- No se realizó la diferenciación de costos entre los diferentes tratamientos, por motivo que en el presente estudio solo se realizó la visualización de las gónadas por lo tanto no se evaluó el volumen seminal de los animales para la relación beneficio – costo.
- La relación beneficio – costo en la producción de alevines sexados es rentable comparado con la empresa Acuimagg en el Ecuador con una ganancia de 0.41 por cada dólar invertido, tomando en cuenta que al año tenemos 4 ciclos de producción de la trucha arcoíris.

5.2 Recomendaciones

- El suministro de la hormona debería ser calculada al consumo de la truchas a tratar para evitar el desperdicio de la hormona porque es muy susceptible a la luz y su fácil degradación.
- Es necesario manejar el experimento en un mismo lugar durante todo el estudio, ya que se ve afectado en el estrés de los alevines al momento de trasladarlos y aumenta la mortalidad hasta los 3 días de adaptación.
- Las jaulas deben ir incrementando su tamaño de acuerdo como se vaya requiriendo para facilitar el manejo al momento de la toma de datos, también tener en cuenta que la trucha es muy delicada a las condiciones de agua especialmente a la oxigenación, por ende el flujo del caudal debe estar permanente.
- La producción de semen sexado en la trucha arcoíris, es factible para ser almacenado en pajuelas, lo cual permite prologar una producción de alevines sexados.
- Se debería concluir la relación de beneficio – costo para determinar la rentabilidad de la aplicación de la hormona.
- El seguimiento del estudio es fundamental la maduración sexual de la trucha arcoíris para obtener una alta calidad seminal y el porcentaje de producción de cardumen mono sexado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arai, K. (2000). Chromosome manipulation in aquaculture: Recent progress and perspective. *Suisanzoshoku*, 48 (2) 1-9 .
- Araujo, R. (2007). Criopreservación de semen de machos XX de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*). *Acuag*, 3 (2), 12- 54.
- Atar, Hasan Huseyin & Bekcan, S. y Dogankaya, Levent. (2009). Effects of different hormones on sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss Walbaum*) and production of all-female populations. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 10 (23), 1509-1514.
- Banco Nacional de Fomento. (2016). *Promueve la piscicultura de trucha arcoíris en el Ecuador* <http://www.bnf.gov.py/>. Obtenido de <https://www.bnf.gov.py/25933-banco-nacional-de-fomento-de-ecuador-promueve-la-piscicultura-de-trucha-arcoiris-como-actividad-que-genera-desarrollo-productivo.pdf>
- Bastardo, H., y Sara, S. (2003). *Masculinización de la trucha arco iris, Oncorhynchus mykiss, para obtener descendencia todas hembras en un criadero venezolano*. Mérida: Centro Investigaciones Agrícolas del estado Mérida.
- Benavides, J. S., Gómez, N. H., Ramos, A. A., y Macías, J. N. (2012). *La ginogénesis como una alternativa de producción de alevinos de truchas solo hembras en el altiplano nariñense* (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Blanco, M. (1995). *La trucha: cría industrial*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Botana, L., Landoni, F., y Jiménez, T. (2002). *Farmacología y terapéutica veterinaria*. Madrid: McGraw-Hill-interamericana.
- Centro de Investigaciones Acuícolas Papallacta. (2006). *Primer censo de criaderos piscícolas "Trucha Arco Iris"*. Papallacta: Centro de Investigaciones Acuícolas Papallacta CENIAC .
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro oficial N° 449 del 20- octubre-2008. Montecristi.
- Dávila, A., y Garcés, J. (2007). *Optimización de tres protocolos de extracción de ADN en las especies Oncorhynchus mykiss y Astroblepus ubidiai y su cuantificación con técnicas moleculares para la acuicultura* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolqui, Ecuador.

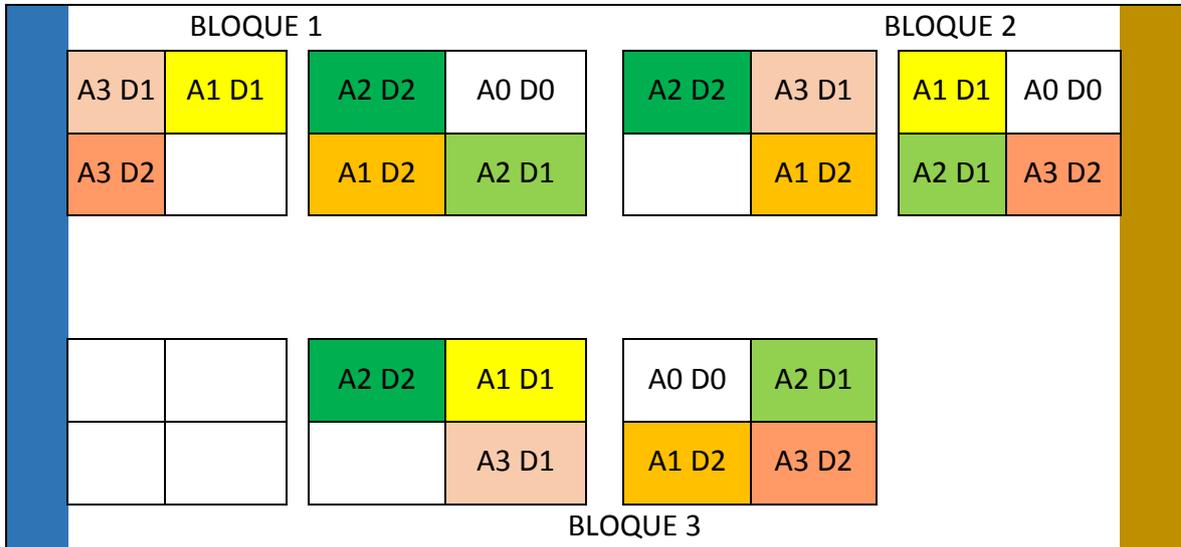
- Díaz, N., y Niera, R. (2005). *Biología aplicada a la acuicultura I. Biotecnologías clásicas aplicadas a la reproducción de especies cultivadas*. Chile: Ciencia de Investigación Agropecuaria .
- Estay, F., Díaz, N., Valadares, L., y Dazarola, G. (1995). *Manejo reproductivo de salmonidos*. Chile: Serie Publicaciones para la Acuicultura.
- Flores, M. (2011). *Crianza de truchas*. Peru: Agronovida, Editor Obtenido de http://agronovida.blogspot.com/2011/04/crianza-de-trucha-oncorhynchus-mykiss_21.html
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. FONDEPES. (23 de Octubre de 2014). Manual de crianza de truchas en ambientes convencionales. Obtenido de http://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/manual_trucha.pdf
- Food and Agricultural Organization. (2014). Manual práctico para el cultivo de la trucha arcoiris. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-bc354s.pdf>
- Food and Agricultural Organization. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016*. ROMA: José Graziano.
- Food and Agricultural Organization. (2018). *Global Aquaculture Production*. FIGIS Fisheries statistics aquaculture. Obtenido de <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/es>
- Imaki, A. (2003). *Manual de manejo y crianza de trucha arcoiris*. Quito: GD.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). Boletín Climatológico Semestral . *Boletín de vigilancia climática del Ecuador*, 1-26.
- Kavumpurath, S., y Pandian, T. (1994). Masculinization of fighting fish betta splendens Regan, using synthetic or natural androgens. *Aquaculture research*, 25 (4), 373 – 381.
- Lescano, G. (2016). *Análisis económico de la producción y comercialización de trucha en la granja piscícola Valle Hermoso en el caserío artezón provincia de Tungurahua* (Tesis de pregrado). Univesidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Lizárraga Enciso, S. L. (2008). Inducción a la inversión sexual de la cabrilla arenera *Paralabrax maculatofasciatus* mediante la administración oral de la hormona 17 α -metiltestosterona (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional, Santa Rita, México.
- Lopez, C., Carvajal, D., y Botero, M. (2007). Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por inmersión utilizando 17 α -metiltestosterona. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 4 (2), 12-34.

- Maldonado, J. Á. (2018). Gestión de proyectos. Honduras: MCC.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2012). Proyecto de MAGAP fortalece la producción de alevines de Trucha. Obtenido de <http://www.agricultura.gob.ec/proyecto-de-magap-fortalece-la-produccion-de-alevines-de-trucha/>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). Registro de productores acuícolas de Imbabura. Ecuador: Ibarra
- Mejía, P., y Román, A. (2009). *Porcentajes de reversión sexual en trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) para la obtención de neomachos mediante la aplicación de la hormona masculinizante 17 α -metil testosterona por el método de ingestión (larvas) e inmersión (ovas y larvas)* (Tesis de pregrado). Universidad Ces, Medellín, Colombia.
- Mora, V., Uyaguari, M., y Osorio, V. (2009). *Situación actual de las especies introducidas en el Ecuador con fines acuícolas*. Guayaquil: Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar-ESPOL.
- Muñoz, D. (2007). *Inducir triploidía mediante la estandarización del choque térmico en trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- National Geographic (2013). Trucha arcoíris. Obtenido de <http://www.nationalgeographic.es>: <http://www.nationalgeographic.es/animales/trucha-arcoiris>
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). Población | Naciones Unidas. *Población*. Obtenido de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Ortiz, J. (2015). *Producción dulce acuícola en el Ecuador I*. Ecuador: Sangolquí.
- Pandian, T., y Sheela, S. (1995). Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture*, 2 (5), 1-38.
- Parra, A. (2014). *Obtención de lotes monosexos de trucha arco iris mediante procesos ginogénéticos, validados con indicadores moleculares de diferenciación sexual en el alto andino ecuatoriano* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armandas, Sangolquí, Ecuador.
- Paz, D. (2013). Evaluación, optimización y mejoramiento de la producción de Trucha Arcoiris en el centro ambiental piscícola de Guairapungo-Corponariño (Tesis de pregrado). Universidad de Nariño. Colombia

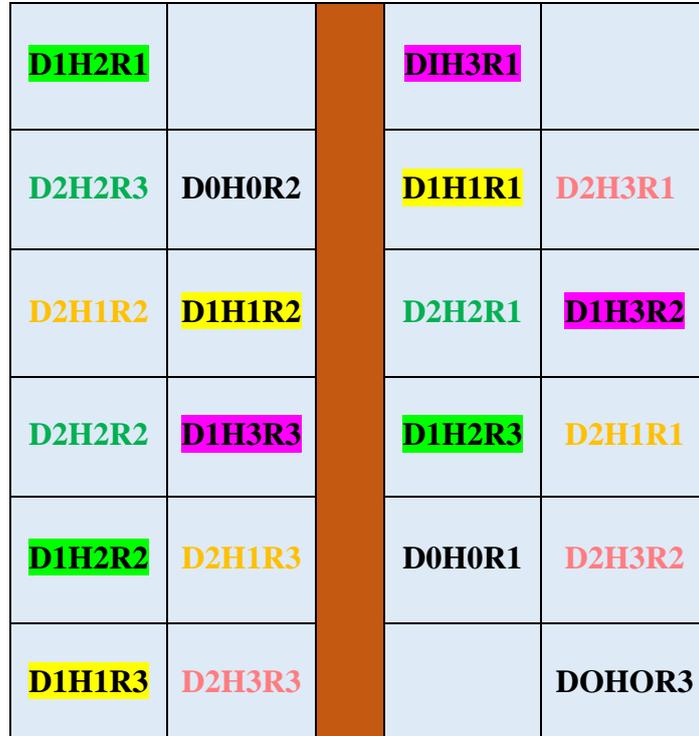
- Pérez, C., Penman, D., y Bromage, N. (1999). Parámetros morfométricos de interés comercial en trucha Arcoíris triploide, *Oncorhynchus mykiss*. *AcuaTIC*, 1(2), 1-20.
- Piferrera, F., Beaumontb, A., Falguière, J.-C., Flajšhans, M., Haffray, P., y Colombo, L. (2009). Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 3(23), 9- 24.
- Pineda, S. H. (2003). *Triploidía en trucha arcoiris (Oncorhynchus mykiss)* (Vol. 17). Medellín: Ciencias Pecuarias.
- Piper, R. I. (1983). *Fish hatchery management*. Washington: Fish and Wildlife Service.
- PRO ECUADOR. (2017). *Boletín Mensual de Comercio Exterior*. Quito.
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera. (2017). Sistema de Control Interno en el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera. Obtenido de https://www.sanipes.gob.pe/archivos/03_RES_57.pdf
- Sánchez, I. (2014). Evaluación de un sistema de recirculación de agua para levante de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mikyss*). Córdoba
- Shepherd, J., y Bromage, N. (1999). *Piscicultura Intensiva*. España: Acribia.
- Silveira, M. D., Tabata, Y. A., y Rigolino, M. G. (1995). *Análises macro e microscópica de gônadas de Oncorhynchus mykiss esterilizadas ou masculinizadas pela 17alfa-metiltestosterona*. São Paulo: Boletim do Instituto de Pesca.
- Yamamoto, T. (1953). Artificially induced sex reversal in genotypic males of the medaka (*Oryzias latipes*). *Journal of Experimental Zoology*, 3 (2), 1-15.

ANEXOS

Anexo 1: Diseño de la distribución de las tinas en el laboratorio de biotecnología en el CENIAC.



Anexo 2: Diseño de la distribución de las piscinas de alevinaje en Otavalo.



Anexo 3: Diseño de la distribución de la piscina de crianza de la trucha en Otavalo.

					21 D2H3R3
1 D2H1R3					20 D1H1R1
2 D2H2R3					19 D2H2R2
3 D0H0R3					18 D2H3R1
4 D1H3R2					17 D0H0R2
5 D1H2R3					16 D2H1R2
6 D2H3R2					15 D1H3R3
7 D2H1R1					14 D1H1R3
8 D1H2R2					13 D1H2R1
9 D1H3R1	10 D1H1R2	11 D2H2R1	12 D0H0R1		

Anexo 4: Protocolo del alimento hormonado

- La hormona se la obtuvo en el centro de investigación acuícola Papallacta alrededor de unos 9 mg cada vez que fue necesario.
- Se utilizó dosis de 1, 3, 5 mg de 17 α - metiltestosterona previamente disuelta en 57 ml de alcohol etílico al 99.5%, por cada kilogramo de alimento.
- Se pesó un kilogramo de alimento comercial (polvo) utilizando una balanza digital.
- Se preparó el alimento conforme se iba requiriendo.
- El alimento se colocó en una bandeja y se mezcló minuciosamente con movimientos envolventes con la mezcla alcohol hormona.
- La mezcla obtenida se colocó en una bandeja formando una capa delgada, la que se dejó secar toda la noche completamente en oscuridad.
- Concluido el proceso de secado se colocó en fundas abre fácil en un envase con tapa y se guardó en el refrigerador.
- Este protocolo se lo realizará cada 3 semanas para evitar la deintegración de la hormona ya que es muy susceptible a la luz (Bastardo y Sara, 2003).

Anexo 5: Información de la etiqueta del alimento balanceado.

ALIMENTO Biomix N° 0 – 1 polvo.- Proteína min. 50% Grasa min. 10% Fibra máx. 1%
Ingredientes: Harina de pescado, aceites marinos, harinas vegetales, pre mezclas vitamínicas y minerales, antioxidantes, antimicóticos.