

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HORMONA 17 ALFA-  
METILTESTOSTERONA, EN LA INDUCCIÓN AL SEXO DE EMBRIONES DE  
TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp*)**

**JULIO CESAR ENRÍQUEZ JOJOA  
GABRIELA ELENA ORDOÑEZ ERAZO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA  
PASTO, COLOMBIA  
2010**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HORMONA 17 ALFA-  
METILTESTOSTERONA, EN LA INDUCCIÓN AL SEXO DE EMBRIONES DE  
TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp*)**

**JULIO CESAR ENRÍQUEZ JOJOA  
GABRIELA ELENA ORDOÑEZ ERAZO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero en Producción Acuícola**

**Presidente:  
WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ  
Ingeniero en Producción Acuícola**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN ACUÍCOLA  
PASTO, COLOMBIA  
2010**

**“Las ideas y conclusiones aportadas en la Tesis de Grado, son responsabilidad exclusiva de su autor”**

**Artículo 1<sup>ero</sup> del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1996, emanado del Honorable Consejo Superior de la Universidad de Nariño.**

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ.**  
Presidente

**JULBRINNER SALAS DELGADO.**  
Jurado delegado

**ALBA LUCY ORTEGA SALAS.**  
Jurado

San Juan de Pasto, junio de 2010

## **DEDICO A:**

En esencia a Dios por darme la vida y poner en mi camino esta preciosa área de la vida y especialmente a mi madre Luisa Jojoa y mi abuela Sixta, que con su empeño, sacrificio, confianza, amor y perseverancia permaneció siempre su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mi hijo Miguel Ángel, a mi sobrina María Camila, mis hermanos Yuri Elizabeth y Manuel Francisco, igualmente a Don José, un padre ejemplar, a mi primo y amigo Jesús Andrés, a un buen amigo John Jairo Rosero (Bon), a mi amiga y compañera de tesis; Gabriela quien con su trabajo y dedicación para la realización de este trabajo logramos los objetivos con el trabajo en equipo, a mis familiares y amigos que con su amistad y buena voluntad colocaron su mano para dar este paso en el gran camino de la vida.

Tarde o temprano se obtiene lo que con sacrificio se hace.

**JULIO CESAR ENRÍQUEZ JOJOA**

**DEDICO A:**

Dios por ser mi luz, mi guía y mi fe; a mi mamita la protagonista de mis conquistas, por estar siempre a mi lado, por enseñarme lo mejor, por brindarme su fuerza, su valor y todo su amor; a mis hermanos Lucelly, Elier, Liliana, Andrea y Maritza, quienes son mi punto de referencia, porque son sinónimo de valentía, inteligencia, generosidad, dulzura y comprensión; a mis sobrinos David Alejandro, Felipe Nicolas, Andrés Felipe y Daniela Valentina, ellos son la sonrisa eterna de mi boca y la alegría infinita de mi vida.

A una personita Leal que abrió las puertas de mi corazón; a mi cuñadito Fernando Fernández a quien admiro por su habilidad; a mi Natica una amiga que a pesar de los kilómetros, siempre está y por supuesto a Julio Cesar quien creyó en mi trabajo y compartió conmigo esfuerzo, dedicación y amistad.

**GABRIELA ELENA ORDOÑEZ ERAZO**

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

WILMER RENÉ SANGUINO ORTIZ	Ingeniero en Producción Acuícola. Director del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola
JULBRINNER SALAS DELGADO	Biólogo. Docente del Programa de Ingeniería en Producción Acuícola
ALBA LUCY ORTEGA SALAS	Ingeniera en Producción Acuícola
MARCO ANTONIO IMUEZ FIGUEROA	Zootecnista, Esp.
LUIS ALFONSO SOLARTE PORTILLA	Zootecnista. Secretario Académico de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Universidad de Nariño
CAMILO L. GUERRERO ROMERO	Ingeniero en Producción Acuícola
PIEDAD MEJÍA SANTACRUZ	Secretaria del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño
OSCAR MEJÍA SANTACRUZ	Auxiliar del Centro de Documentación Especializada del Departamento de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad de Nariño
LUIS HERVEY MUÑOZ DÍAZ	Dir. Fundación Agroindustrial para el Desarrollo Tecnológico. Granja Integral Buenos Aires
LEONEL TORRES CARDOZO	Operario, Granja Integral Buenos Aires
EVELYN ADRIANA VALLEJO VANEGAS	Ingeniera en Producción Acuícola
JULIAN ARMANDO MONTENEGRO	Ingeniero en Producción Acuícola

Al personal de la Granja Integral Buenos Aires, perteneciente a la Fundación Agroindustrial para el Desarrollo Tecnológico.

Y a todas las personas que en una u otra forma contribuyeron al desarrollo exitoso de esta investigación.

## CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	16
RESUMEN	18
ABSTRACT	20
INTRODUCCION	22
1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	24
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	25
3. OBJETIVOS	26
3.1 OBJETIVO GENERAL	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
4. MARCO TEÓRICO	27
4.1 BIOLOGIA DE LA TILAPIA ROJA <i>Oreochromis sp.</i>	27
4.1.1 Clasificación taxonómica de la tilapia roja	27
4.1.2 Generalidades de la especie	28
4.1.3 Desarrollo embrionario	29
4.1.4 Calidad de agua	31
4.1.5 Métodos de incubación	33
4.1.6 Larvicultura	34
4.1.7 Métodos de inducción al sexo	34
4.1.8 17 $\alpha$ - Metilttestosterona	36
5. DISEÑO METODOLOGICO	38
5.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO	38
5.2 MATERIAL BIOLÓGICO	39
5.3 INSTALACIONES	39
5.3.1 Estanques	40
5.3.2 Sala de incubación y larvicultura	41
5.3.3 Invernaderos	46
5.3.4 Materiales, equipos e insumos	46
5.4 PLAN DE MANEJO	49
5.4.1 Limpieza y desinfección de recipientes y acuarios	49
5.4.2 Sistema de recirculación	49
5.4.3 Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua	49
5.4.4 Recolección de huevos	49
5.4.5 Medición de los huevos	50
5.4.6 Conteo e incubación artificial de los huevos	50
5.4.7 Tratamiento con la hormona	51
5.4.8 Transporte de los huevos embrionados a incubación normal	52
5.4.9 Reabsorción del saco vitelino	52
5.4.10 Transporte de las larvas a las canaletas de investigación	53
5.4.11 Alimentación de las larvas	54
5.4.12 Determinación del sexo	55

5.5	TRATAMIENTOS	56
5.6	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
5.6.1	Formulación de hipótesis	58
5.6.2	Variables evaluadas	58
6.	PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
6.1	INDUCCION AL SEXO	61
6.2	Parámetros productivos	64
6.2.1	Análisis de varianza para determinar peso larval	65
6.2.2	Análisis de varianza para determinar talla promedio larvas	65
6.2.3	Análisis de varianza para determinar peso promedio alevinos	65
6.2.4	Análisis de varianza para determinar talla promedio alevinos	65
6.3	PORCENTAJE DE ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA LARVAL	66
6.3.1	Porcentaje de eclosión	66
6.3.2	Sobrevivencia	68
6.4	Calidad del agua	71
6.4.1.	Comportamiento de los parámetros promedios del agua en el estanque de reproducción	71
6.4.2	Comportamiento de parámetros promedios del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje	71
6.4.3	Caudal	74
6.5	RELACION BENEFICIO / COSTO	75
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
7.1	CONCLUSIONES	77
7.2	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	79
	ANEXOS	82

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Características de la maduración sexual de la tilapia	29
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos adecuados para el cultivo de tilapia roja ( <i>Oreochromis sp</i> )	32
Tabla 3. Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada El Bejucal	40
Tabla 4. Descripción de los tratamientos	56
Tabla 5. Resultados de alevinos inducidos con la hormona 17 alfa–metiltestosterona, mediante inmersión de embriones de tilapia roja ( <i>Oreochromis sp</i> )	61
Tabla 6. Reportes obtenidos por diferentes autores en la inducción sexual con el método de inmersión	63
Tabla 7. Registro de talla y peso promedio de larvas y alevinos	64
Tabla 8. Parámetros productivos (peso, longitud total)	66
Tabla 9. Porcentaje de Supervivencia	68
Tabla 10. Supervivencia para los tratamientos de inducción sexual	70
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje	72
Tabla 12. Beneficio costo para los métodos de inmersión e inclusión de la hormona en el alimento	75

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ejemplar de Tilapia roja ( <i>Oreochromis sp</i> )	27
Figura 2. Desarrollo del huevo fertilizado	30
Figura 3. Desarrollo del embrión y la larva	31
Figura 4. Estructura química de la 17 alfa-metiltestosterona	37
Figura 5. Localización de la granja experimental Buenos Aires	38
Figura 6. Embriones de tilapia roja ( <i>Oreochromis sp</i> )	39
Figura 7. Hapas para reproductores	40
Figura 8. (Izq.) Tanque de almacenamiento. (Der.) Sistema de filtración	41
Figura 9. Montaje del área de inmersión	42
Figura 10. Vista en planta del sistema de inmersión	43
Figura 11. Perfil del sistema de inmersión	44
Figura 12. Incubadoras tipo Mc Donald	45
Figura 13. Bandejas reabsorción del saco vitelino	45
Figura 14. (Izq.) Invernadero. (Der.) Piletas	46
Figura 15. Materiales y equipos	48
Figura 16. Desinfección de materiales	49
Figura 17. Obtención de embriones de tilapia roja	50
Figura 18. Medición de huevos embrionados de tilapia roja	50
Figura 19. Conteo volumétrico de los embriones	51
Figura 20. Pesaje de la hormona 17 alfa metil-testosterona	51
Figura 21. (Izq.) Medición de etanol. (Der.) Dilución de la hormona en etanol	52
Figura 22. Incubación artificial de embriones de tilapia roja	52
Figura 23. Larvas en bandejas de reabsorción del saco vitelino	53
Figura 24. (Izq.) Pesaje de las larvas. (Der.) Medición de larvas	53
Figura 25. (Izq.) Empaque de larvas. (Der.) Aclimatación	54
Figura 26. Unidades experimentales	54
Figura 27. (Izq.) Alimento comercial en polvo 45% de proteína (Der.) Proceso de alimentación	55
Figura 28. (Izq.) Registro de longitud. (Der.) Registro de peso	55
Figura 29. (Izq.) Corte ventral para extracción de gónadas. (Der.) Tinción de gónadas con azul de metileno	56
Figura 30. (Izq.) Diferencia entre gónadas de hembra y macho de alevinos de tilapia roja (Der.)	56
Figura 31. Porcentaje de eclosión de los tratamientos	67
Figura 32. Comportamiento de la eclosion de huevos durante el ensayo	67
Figura 33. Porcentaje de sobrevivencia en la fase de incubación, larvicultura y alevinaje	69

Figura 34.	Comportamiento de la mortalidad durante la investigación	70
Figura 35.	Comportamiento de los parámetros promedios del agua en el estanque de reproducción	71
Figura 36.	Comportamiento de la temperatura en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje	72
Figura 37.	Comportamiento del oxígeno en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje	73
Figura 38.	Comportamiento del pH en las fases de incubación, Larvicultura y alevinaje	74
Figura 39.	Comportamiento del caudal en las fases de incubación, Larvicultura y alevinaje	74
Figura 40.	Relación beneficio-costo para el método de inmersión Y el método de inclusión de la hormona en el alimento	76

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Materiales utilizados en el ensayo	46
Cuadro 2. Equipos utilizados en el ensayo	47
Cuadro 3. Insumos utilizados en el ensayo	47

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1. Prueba de Brand Snedecor para la variable porcentaje de machos	83
ANEXO 2. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable porcentaje de machos obtenidos	83
ANEXO 3. Análisis de Varianza para la variable peso promedio de larvas según tratamiento	84
ANEXO 4. Comparaciones múltiples para la variable peso promedio de larvas según Tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	84
ANEXO 5. Análisis de Varianza para la variable talla promedio larvas según Tratamiento	85
ANEXO 6. Análisis de Varianza para la variable peso promedio De alevinos según tratamiento	85
ANEXO 7. Comparaciones múltiples para la variable peso promedio de alevinos según tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	85
ANEXO 8. Análisis de Varianza para la variable talla promedio de alevinos según tratamiento	85
ANEXO 9. Comparaciones múltiples para la variable talla promedio de alevinos según tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey	86
ANEXO 10. Prueba de Brand Snedecor para la variable porcentaje de eclosión	86
ANEXO 11. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable porcentaje de eclosión	87
ANEXO 12. Número de larvas eclosionadas por día	88
ANEXO 13. Prueba de Bran Snedecor para sobrevivencia durante la investigación	88
ANEXO 14. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable sobrevivencia	90
ANEXO 15. Mortalidad durante la investigación	91
ANEXO 16. Comportamiento de los parámetros promedios del agua en el estanque de reproducción	92
ANEXO 17. Comportamiento de parámetros promedios del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje	93
ANEXO 18. Registro de caudales durante la investigación	94
ANEXO 19. Precio de venta de los alevinos según el peso	94
ANEXO 20. Costos de los tratamientos con el método de inmersión	95
ANEXO 21. Relación beneficio costo en el método de inmersión	95
ANEXO 22. Costos de los tratamientos con el método de inclusión de la hormona en el alimento	96
ANEXO 23. Relación beneficio costo en el método de inclusión de la hormona en el alimento	96

## GLOSARIO

**ALEVINO:** crías de peces después de reabsorber su saco vitelínico y comenzar a alimentarse.

**BANDEJAS DE REABSORCION:** recipientes de plástico, en los cuales se colocan las larvas recién eclosionadas y en donde acabarán de reabsorber su saco vitelino.

**BATERIA:** sistema en el que se encuentran varias unidades de cultivo o en su caso unidades experimentales para la incubación y reabsorción del saco vitelino.

**ECOLOSIÓN:** momento en el cual la larva abandona el huevo o corión en el que se desarrolló, rompiendo éste y saliendo hacia el medio exterior.

**EMBRIÓN:** etapa inicial de desarrollo de las crías de peces, mientras se encuentran en el huevo.

**HAPAS:** unidades productivas elaboradas en malla fina, que pueden ser suspendidas en el agua para el cultivo de los peces o manejar alevines de tilapia durante la etapa de su reversión sexual.

**HORMONA 17 ALFA-METILTESTOSTERONA:** derivado de la testosterona que es una hormona androgénica, el cual conserva su acción masculinizante.

**INCUBACIÓN BUCAL:** tipo de incubación que corresponde a un comportamiento de cuidado de las crías, por parte de uno de los progenitores. Consiste en el acarreo de los huevos dentro de la boca, hasta el momento de la eclosión o incluso mucho tiempo después.

**INCUBACIÓN ARTIFICIAL:** término utilizado para describir la incubación de los huevos de los peces por métodos artificiales, como las incubadoras.

**INCUBADORA Mc DONALD:** recipiente cilíndrico con base redondeada, de flujo descendente, donde se colocan a incubar los huevos de tilapia roja, con condiciones ambientales que pueden ser regulados a niveles óptimos para su desarrollo y crecimiento.

**INDUCCIÓN SEXUAL:** proceso que consiste en adicionar o suministrar una hormona a los peces para obtener un género específico macho ó hembra, dependiendo de la especie a trabajar.

**INMERSIÓN:** introducción de algo en un líquido.

**LARVA:** primer estado juvenil de los peces o estadio embrionario libre, capaz de vivir de manera independiente.

**SACO VITELINO:** bolsa parecida a la placenta, llena de vitelo o reserva proteica del que se alimentan los embriones de los peces, durante la primera etapa de su desarrollo, ya que su aparato digestivo no se encuentra totalmente desarrollado para ingerir alimento exógeno.

**SEXAJE:** método para determinar el sexo de un animal.

## RESUMEN

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de la hormona 17 alfa-metiltestosterona en diferentes dosis, en la inducción al sexo de embriones de tilapia roja (*Oreochromis sp*) y obtener una mayor proporción de machos de alevinos de esta especie, permitiendo de esta manera reducir los costos de producción y las problemáticas que se presentan en las fases de levante y ceba. Para este estudio se utilizaron 18 hembras de 350 g y 6 machos de 400 g; para obtener aproximadamente una producción de 12000 embriones.

El ensayo se llevó a cabo en la Granja Integral Buenos Aires, ubicada en el Municipio de Campo Alegre, departamento del Huila, a 22 kilómetros de la ciudad de Neiva, durante un periodo de cuatro meses.

Para esta investigación se utilizó un diseño experimental completamente al azar, conformado por 4 tratamientos con 3 réplicas cada uno de la siguiente manera: T1: Sin hormona, T2: 600 µg/L de hormona, T3: 1200 µg/L de hormona y T4: 1800 µg/L de hormona. El tiempo de inmersión de los embriones en las mencionadas soluciones fue para cada tratamiento de 48 horas. Se estudiaron las variables de porcentaje de inducción al sexo, porcentaje de eclosión, incremento de peso y talla, sobrevivencia y se determinó un análisis parcial de costos en cada tratamiento. Para determinar si existen diferencias significativas en las variables establecidas, se realizó un análisis de varianza y posteriormente una prueba de Tukey, para aquellas que fueron diferentes y determinar cuál es el mejor tratamiento. El periodo de estudio abarca desde la incubación hasta que los alevinos tuvieron una talla aproximada de 6,0 cm, momento en el cual se hizo el respectivo sexaje mediante observaciones macroscópicas y microscópicas. De igual manera, se registraron diariamente los parámetros fisicoquímicos tales como: temperatura, oxígeno y pH del agua.

Realizando la prueba de Brand Snedecor se comprobó que hay diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al porcentaje de machos obtenidos. Mediante el contraste para la diferencia entre dos proporciones se determinó que el mejor, es el tratamiento T4 que corresponde a 1800 µg/L de hormona 17 alfa-metiltestosterona; que reporta un incremento de un 62% en el porcentaje de machos obtenidos a diferencia de los tratamientos T2 y T3 que incrementa en un 55% y 38% respectivamente; respecto al tratamiento T1 el cual se manejo sin inclusión de hormona en el agua que reporta un 59% hembras y 41% machos.

Se realizó un análisis de varianza para las variables productivas: peso y talla, encontrándose para la variable peso promedio de larvas que existen diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de Tukey afirma que los mejores tratamientos para esta variable es T2  $0,0137 \pm 0,000055$  y T3  $0,0138g \pm 0,000055$  respectivamente. La variable talla promedio de larvas

reporta que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, reportándose los siguientes datos: T1  $0,975\text{cm} \pm 0,0024608$ ; T2  $0,978\text{cm} \pm 0,0024608$ ; T3  $0,986\text{cm} \pm 0,0024608$  y T4  $0,980\text{cm} \pm 0,0024608$ . Para la variable peso promedio de alevinos se muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos; la prueba de Tukey reporta que el mejor tratamiento para esta variable es el T2 con un valor promedio de  $11,820 \pm 0,1131$  g. Para la variable talla promedio de los alevinos se muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos; a través de la prueba de Tukey se comprobó que el mejor tratamiento para esta variable es el T2 que reporta un valor de  $7,078 \pm 0,0539$  cm.

Los resultados obtenidos en el porcentaje de eclosión para los tratamientos fueron: T1 95,17%, el T2 93,4%, el T3 95,63% y el T4 92,8%. La prueba de Brand Snedecor, reportó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, con el contraste para la diferencia entre dos proporciones se puede afirmar que los tratamientos T1 y T3 son los mejores.

Al evaluar la sobrevivencia se toman en cuenta los datos reportados durante los 61 días que duró la investigación. Los resultados obtenidos en sobrevivencia fueron: para T1 76,6%, T2 75,2%, T3 77,8% y T4 75%; observando que el mejor tratamiento es T3. Se realizó una prueba de Brand Snedecor con la cual se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Realizando el contraste para la diferencia entre dos proporciones; se comprobó que el mejor tratamiento es el T3.

Realizando un monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua se pudo observar que éstos, se encuentran dentro de los rangos óptimos de producción.

Con base a los resultados obtenidos; la relación costo-beneficio resulta positiva para el tratamiento T2 con el índice de 3,15 pesos recibidos por cada peso invertido.

Comparando dos métodos de inducción sexual los cuales son el de inmersión y el de inclusión de la hormona en el alimento, se obtuvo que los mejores tratamientos para el índice beneficio costo corresponden al T2, resaltando que existe una diferencia de 0,19 para esta variable aportando la mejor rentabilidad para el primer método descrito.

## ABSTRACT

The purpose of this investigation was to evaluate the effect of the hormone 17 alfa-metiltestosterona in different dose, in the induction to the sex of embryos of red (*Oreochromis sp*) tilapia and to obtain a bigger proportion of males of alevinos of this species, allowing this way to reduce the costs of production and the problems that show up in the phases of weighing and it feeds. For this study you 18 females of 350 g and 6 males of 400 g were used; to obtain a production of 12000 embryos approximately.

The test was carried out in the Integral Farm Buenos Aires, located in the Municipality of Cheerful Field, department of Huila, to 22 kilometers of the city of Neiva, during a period of four months.

For this investigation an experimental design was used totally at random, conformed by 4 treatments with 3 you reply each one in the following way: T1: Without hormone, T2: 600µg/L hormone, T3: 1200µg/L hormone and T4: 1800µg/L hormone. The time of immersion of the embryos in those mentioned solutions was for each treatment of 48 hours. The variables of induction percentage were studied to the sex, percentage of appearance, increment of weight and it carves, survival and a partial analysis of costs was determined in each treatment. To determine if significant differences exist in the established variables, he/she was carried out a variance analysis and later on a test of Tukey for those that were different and to determine which the best treatment is. The period of study embraces from the incubation until the alevinos had an approximate size of 6,0 cm, moment in which the respective sexaje macroscopic and microscopic mediating observations was made. In a same way they registered the physiochemical such parameters daily as: temperature, oxygen and pH of the water.

Carrying out the test of Brand Snedecor was proven that there are significant differences among the treatments with regard to the percentage of obtained males. By means of the contrast for the difference proportions were determined between two that the best, is the treatment T4 that corresponds 1800 µ hormone g/L 17 alfa-metiltestosterona; that reports an increment of 62% in the percentage of males obtained contrary to the treatments T2 and T3 that it increases respectively in 55% and 38%; regarding the treatment T1 the one which you handling without hormone inclusion in the water that reports 59% females and 41% males.

When carrying out the variance analysis for the productive variables: I weigh and it carves, being for the variable weight average of larvae that significant differences exist among the treatments; the test of Tukey affirms that the best treatments for this variable are T2  $0,0137 \pm 0,000055$  and T3  $0,0138g \pm 0,000055$  respectively. The variable carves average of larvae it reports that

significant differences don't exist among the treatments, the following information being brought: T1 0,975cm  $\pm$  0,0024608; T2 0,978cm  $\pm$  0,0024608; T3 0,986cm 0,0024608  $\pm$  and T4 0,980cm  $\pm$  0,0024608. For the variable weight alevinos average it is shown that significant differences exist among the treatments; the test of Tukey reports that the best treatment for this variable is T2 with a value average of 11,820  $\pm$  0,1131 g. For the variable it carves average of the alevinos it is shown that significant differences exist among the treatments; through the test of Tukey he/she was proven that the best treatment for this variable is T2 that reports a value of 7,078  $\pm$  0,0539 cm.

The results obtained in the percentage of appearance for the treatments were: T1 95,17%, T2 93,4%, T3 95,63% and T4 92,8%. The test of Brand Snedecor, reported that differences exist statistically significant among the treatments, with the contrast for the difference between two proportions one can you affirm that the treatments T1 and T3 are the best.

When evaluating the survival they take into account the data reported during the 61 days that the investigation lasted. The results obtained in survival were: for T1 76,6%, T2 75,2%, T3 77,8% and T4 75%; observing that the best treatment is T3. He/she was carried out a test of Brand Snedecor with which was determined that significant differences exist among the treatments. Carrying out the contrast between two for the difference proportions; he/she was proven that the best treatment is T3.

Carrying out a monitoreo of the physiochemical parameters of the water one could observe that these, are inside the good ranges of production.

With base to the obtained results; the relationship cost-benefit is positive for the treatment T2 with the index of 3,15 pesos received by each invested weight.

Comparing two methods of sexual induction which are that of immersion and that of inclusion of the hormone in the food, was obtained that the best treatments for the index benefit cost they correspond T2, standing out that a difference of 0,19 exists for this variable contributing the best profitability for the first described method.

## INTRODUCCIÓN

La acuicultura se presenta como una alternativa de producción en el sector agropecuario, con excelentes perspectivas para nuestro país. Sin embargo, es necesario desarrollar nuevas tecnologías en este campo, que optimicen los sistemas de producción y transformación de las especies acuícolas.

Los peces representan el quinto renglón en importancia dentro de la producción agrícola mundial. Este producto provee el 25% de la proteína de origen animal en países desarrollados y el 75% en países en vía de desarrollo. El cultivo de tilapia comenzó a intensificarse aproximadamente en 1920; desde entonces, la tilapia roja (*Oreochromis sp*) ha sido una de las especies más producidas en la acuicultura mundial. Su alto nivel proteico, su bajo costo de producción y precio de venta asequible respecto a otras especies piscícolas, la convierten en un producto de gran importancia<sup>1</sup>.

La tilapia es una especie gonocórica indiferenciada, lo que significa que el tejido gonadal de la larva al momento de eclosionar, no está diferenciado. Este período de indiferenciación que va hasta los 15 días después de la eclosión, ha permitido el empleo de técnicas de inducción hormonal para reversión fenotípica del sexo, mediante el empleo de hormonas masculinizantes<sup>2</sup>.

El sistema de incubación artificial de huevos de tilapia es muy efectivo para producir una alta calidad de alevinos, con un mínimo grado de manipulación, control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua de incubación, mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevinos, así como el mayor aprovechamiento de las larvas sexualmente indiferenciadas para someter a tratamientos hormonales de reversión sexual. Al poder incubar embriones de la misma edad, o con diferencia de edades muy cercanas, se obtienen poblaciones con diferencias de tamaño mínimas lo que evita problemas de canibalismo<sup>3</sup>.

La proporción de sexos de las larvas al momento de la eclosión es aproximadamente de 50% hembras y 50% machos. El método de reversión

---

<sup>1</sup> LÓPEZ, Carlos; CARVAJAL, Dewin y BOTERO, Mónica. Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis sp*) por inmersión utilizando 17 alfa–metiltestosterona. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2007. p. 2. Disponible en Internet: <URL:<http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a10.pdf>>.

<sup>2</sup> Ibid., p. 2.

<sup>3</sup> PRIETO, Camilo, OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis sp*. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín – Colombia. 2002. p. 3. Disponible en Internet: <URL:<http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>>.

más empleado en el país, es la mezcla de andrógenos al alimento balanceado que se suministra a las larvas durante aproximadamente treinta días a partir del tercer día post-eclosión o cuando finaliza la reabsorción de vitelo<sup>4</sup>.

Es de gran importancia obtener un alto porcentaje de inducción sexual, con nuevas técnicas que incluyan baja manipulación y un menor costo de inversión, beneficiando de esta manera a la producción en general.

Por tal motivo, este trabajo pretende investigar la alternativa de inducción sexual por inmersión de huevos embrionados de tilapia roja (*Oreochromis sp*), en una solución hormonal masculinizante 17 alfa-metiltestosterona, en la Granja integral Buenos Aires, Huila. Realizando una posterior evaluación de los resultados en cuanto a eficiencia, eclosión, mortalidad, parámetros productivos (talla y peso) y análisis económico.

---

<sup>4</sup> LÓPEZ, CARVAJAL; y BOTERO. Op. cit., p. 3.

## 1. DEFINICIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La industria piscícola colombiana produce 56.530.98 toneladas métricas de carne de pescado continental, de ese total el 62 % es carne de tilapia roja, por lo tanto existe una creciente demanda de larvas y alevinos los cuales deben ser fenotípicamente machos, siendo necesario la inducción al sexo mediante la hormona 17 alfa-metiltestosterona obteniendo entre un 95-98% de machos, sin embargo el porcentaje de hembras que se generan (5-2%); ocasionan grandes pérdidas económicas, competencia por espacio, alimento y oxígeno dentro de las estaciones piscícolas dedicadas al levante y cebo de la especie.

Con los métodos actuales se está obteniendo entre un 95-98% de machos, utilizando tratamiento hormonal suministrado en el alimento, lo que genera problemas en la producción. Por otra parte el proceso de inducción al sexo produce estrés en las larvas y altas tasas de mortalidad, dado que se ven obligadas a consumir exclusivamente el alimento con la hormona evitándose al máximo el acceso a alimento vivo. El establecimiento de jerarquías entre las larvas de tilapia a la hora de alimentarse y la disponibilidad de alimento vivo a causa de la productividad primaria, son dos de las principales causas de la disminución de la eficiencia en la inducción con hormona incluida en el alimento.

Además el método de inducción por alimento presenta otras desventajas: el período de reversión es largo y oscila entre 30 y 45 días, la eficiencia depende de la voluntad de alimentación del animal, que está influenciada entre otras por la temperatura y la turbidez del agua, exige mayor mano de obra en cantidad y calidad, debido al tiempo invertido en molida, mezcla de hormona y precisión en los pesajes de la misma, mayor frecuencia de alimentación, emplea un alimento balanceado con alta proteína (45%) para hacerlo más atractivo a las larvas, frente al alimento normalmente empleado del 38% de proteína y exige además mayor consumo de hormona (60 mg/kg de alimento vs 1,8 mg/l de agua).

Por tal razón es importante conocer otras alternativas de inducción que eviten al máximo el estrés y la manipulación de la población, además de mejorar el porcentaje de inducción, reducir el tiempo y cantidad de hormona, generando así rentabilidad y mejor manejo en el cultivo.

## **2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Es posible obtener mejores resultados en la inducción al sexo de tilapia roja, sometiendo a los embriones a una inmersión en una solución con 17 alfa-metil-testosterona durante un periodo de 48 horas?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el efecto de la hormona 17 alfa–metiltestosterona, en la inducción al sexo de embriones de tilapia roja (*Oreochromis sp*).

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el porcentaje de machos y hembras.
- Medir el peso y talla de las larvas hasta la etapa de alevinos.
- Evaluar el porcentaje de eclosión y sobrevivencia larval.
- Realizar un análisis parcial de costos en cada tratamiento.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 BIOLOGIA DE LA TILAPIA ROJA *Oreochromis sp.* (Trewavas, 1983)

4.1.1 Clasificación taxonómica de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Según Trewavas, citado por Solarte:

REINO: Animal  
PHYLUM: Chordata  
SUBPHYLUM: Vertebrata  
CLASE: Teleostomi  
SUPERCLASE: Actinopterygii  
SUPERORDEN: Acanthopterygii  
ORDEN: Perciformes  
SUBORDEN: Percoidei  
FAMILIA: Cichlidae  
GENERO: *Oreochromis*  
ESPECIE: *Oreochromis sp.* (Trewavas, 1983)  
NOMBRE COMUN: Tilapia roja, mojarra roja, pargo de agua dulce, red snapper<sup>5</sup> (Figura 1).

**Figura 1. Ejemplar de Tilapia roja**



Disponible en Internet: <URL:<http://www.agroterra.com/ampliar/alevinos-del-valle-tilapia-roja-en-cali-valle-del-cauca-22128/19880>>

---

<sup>5</sup> SOLARTE GUEVARA, Ana. Evaluación de diferentes densidades de incubación de huevos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*), mediante un sistema de incubación artificial. Huila, Colombia. 2008. p. 28. Trabajo de grado (Ingeniero en producción acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Departamento de Recursos Hidrobiológicos.

**4.1.2 Generalidades de la especie.** Trewavas (1983), citado por Hurtado, manifiesta que:

Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez temprana. Las especies de tilapia más comunes (*Oreochromis niloticus*), alcanzan su madurez sexual entre los 30-40 gr, en un intervalo de 2-4 meses. Una vez que han madurado, las tilapias pueden realizar la puesta todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24 °C. Normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos. Después de la fertilización, uno o ambos padres vigilan cuidadosamente los embriones en desarrollo hasta que eclosionan y las larvas alcanzan el estadio de natación libre<sup>6</sup>.

➤ **Hábitos alimenticios.** De acuerdo con Cantor<sup>7</sup> son omnívoros que hasta su etapa de cría de 5 cm, presentan preferencias fitoplanctófagas, puesto que su alimentación se basa en el consumo de zooplancton, insectos, vegetales acuáticos y alimentos artificiales como harinas y granos.

➤ **Hábitos reproductivos.** Según Hurtado:

Los hábitos reproductivos y la organización social de las tilapias tienen grandes implicaciones en su cultivo, pues estos factores guardan estrecha relación con su madurez sexual. El tipo de reproducción es dioica y el sistema endocrino juega un papel importante en la regulación de la reproducción. La diferenciación de las gónadas ocurre en etapas tempranas, entre los 16 y 20 días de edad (tomando como referencia el primer día de la eclosión). Posteriormente, las gónadas empiezan a definirse como masculinas o femeninas, éstas últimas se desarrollan entre 7 a 10 días antes que las masculinas. Alcanza la madurez sexual a partir de 2 o 3 meses de edad con una longitud entre 8 y 18 cm. El fotoperiodo, la temperatura (la cual debe permanecer arriba de 24°C durante el periodo de maduración) y la presencia del sexo opuesto son factores que influyen en la maduración sexual (Tabla 1)<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> HURTADO, Nicolás. Inversión sexual en tilapias. nH ingenieros consultores. Lima, Perú. 2005. p. 4. Disponible en Internet: <URL:[http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh\\_invsextilapia.pdf](http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf)>.

<sup>7</sup> CANTOR, Fernando. Manual de producción de tilapia. Puebla, México. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla 2007. p. 12. Disponible en Internet: <URL:<http://www.scribd.com/doc/13788369/Manualti>>.

<sup>8</sup> Ibid., p. 10.

**Tabla 1. Características de la maduración sexual de la tilapia**

<b>Característica</b>	<b>Datos</b>
Edad	2-3 meses
Peso	70-100 g
Longitud	10-18 cm
T° para el desove	Óptima: 25-30°C
Fecundidad	Rango: 100-2000 huevos/desove Promedio: 200-400 huevos/desove Una hembra de 200g: 250-500 alevines/4-5 semanas.
Tamaño óptimo para la reproducción	100-200 g

CANTOR, Fernando, Op. cit., p. 13.

**4.1.3 Desarrollo embrionario.** Según Woynarovich y L. Horváth<sup>9</sup>, cuando termina el proceso de dilatación del huevo, las dos partes de la masa central están ya formadas son fácilmente distinguibles por su forma y su color. El polo animal se alza como un pequeño promontorio sobre la masa vitelina y adquiere una coloración amarillo oscura. Tras un breve intervalo, cuya duración depende de la temperatura del agua, comienza la segmentación del polo animal y el promontorio unicelular se divide sucesivamente en 2, 4, 8, 16 y 32 células. En esa fase presenta el aspecto de una mora y por ello ese estadio se conoce con el nombre de mórula (Figura 2). Las subdivisiones sucesivas de esas células producen un blastodermo multicelular, que al principio no tiene más que una capa de células y gradualmente adquiere varias capas. Cada una de esas células se llama un “blastómero”. A medida que el número de blastómeros aumenta, su tamaño disminuye. En el estadio de mórula el embrión es muy sensible a las sacudidas y las células pueden desprenderse de la superficie, causando la muerte del embrión. Más tarde aparece entre el vitelo y la masa celular un espacio denominado cavidad de segmentación. Se dice entonces que el embrión se halla en el estadio de blástula.

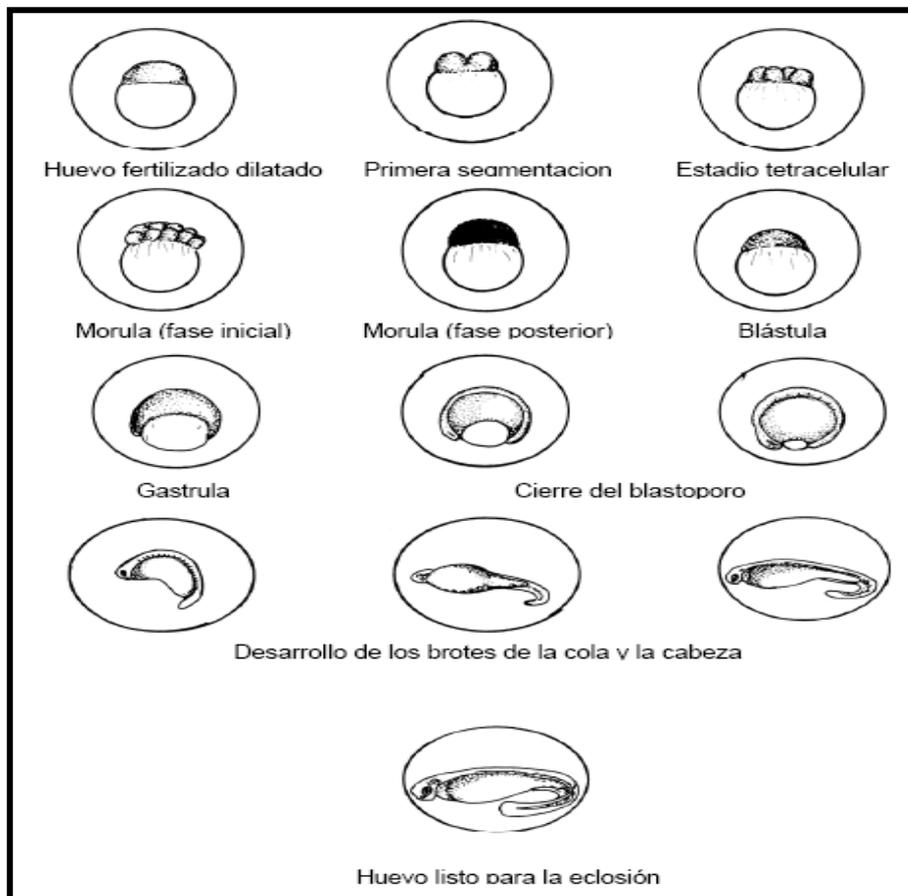
Inicialmente las células del blastodermo se disponen encima del vitelo formando una especie de gorro. A medida que avanza la división celular, las células comienzan a envolver el vitelo hasta rodearlo completamente, dejando sólo en el extremo una pequeña apertura, el blastoporo, que más tarde se cierra también. Se llega así al punto de transición entre el estadio germinativo inicial y el estadio de desarrollo embrional.

<sup>9</sup> WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. Desarrollo e incubación de los huevos de peces. FAO, Doc.Téc.Pesca, (201): Roma 1981. p 187. Disponible en Internet: <URL:<http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>>.

Estos mismos autores afirman que la masa celular adquiere mayor espesor y se dispone en forma de diadema en el lado opuesto al blastoporo. Al mismo tiempo aparecen en ambos extremos los brotes de la cabeza y de la cola. Poco después, ambos brotes son claramente definibles y aparecen los primeros segmentos del cuerpo. En la cabeza se desarrollan los ojos (“vesículas ópticas”) y el brote de la cola empieza a crecer longitudinalmente (Figura 3). A mitad del proceso de desarrollo se forma el corazón y empieza a latir. Al mismo tiempo, en la superficie de la masa vitelina se forma un sistema capilar o un vaso sanguíneo. El embrión empieza a agitar la cola ocasionalmente y más tarde agita todo el cuerpo. Posteriormente, el embrión comienza a girar dentro del espacio perivitelino. Ese movimiento giratorio y los demás movimientos se hacen más enérgicos antes de la eclosión.

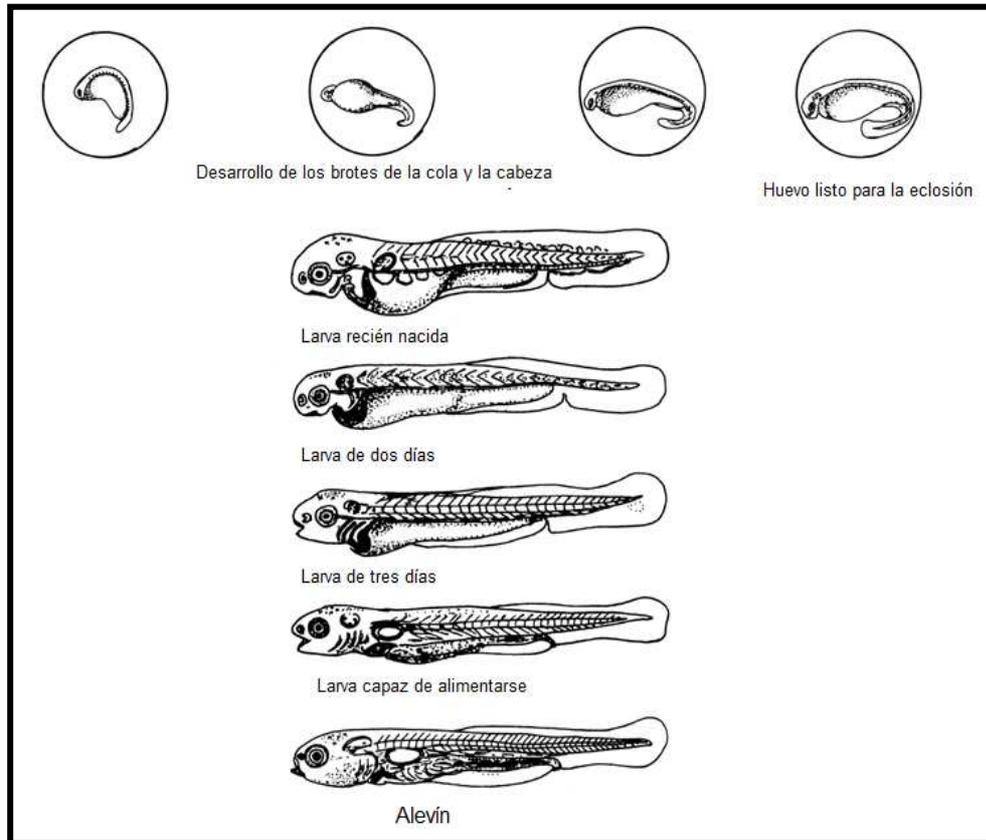
Los metabolitos del embrión contienen algunas enzimas que actúan sobre la membrana del huevo y la disuelven desde dentro, debilitándola y permitiendo al embrión romperla fácilmente y salir.

**Figura 2. Desarrollo del huevo fertilizado**



WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Op. cit., p. 187.

**Figura 3. Desarrollo del embrión y la larva**



WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Op. cit., p. 187.

#### **4.1.4 Calidad de agua. De acuerdo con Martínez:**

La calidad del agua está determinada por sus propiedades fisicoquímicas, entre las que se destacan la temperatura, oxígeno, pH, entre otras (Tabla 2). Estas propiedades influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces. Por lo que es importante que los parámetros se mantengan dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de los peces.

El mismo autor manifiesta que la tilapia es en general, altamente tolerante a las altas temperaturas, bajas concentraciones de oxígeno y altos niveles de amoníaco; resistiendo además, las altas concentraciones de salinidad. Sin embargo, tienen poca tolerancia a las bajas temperaturas<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> MARTINEZ, Freddy. Curso sobre granjas integral. Universidad del valle. Cali, Colombia. 2008. Disponible en Internet: <URL:<http://eidenar.univalle.edu.co/docentes/catedra/docs/fmartinez/CULTIVO%20DE%20LA%20TILAPIA.pps>>.

**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos adecuados para el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis sp*)**

Variable	Rangos
Oxígeno disuelto	3 a 10 mg/l
Temperatura	24 a 28 °C
PH	6.5 a 9.0
Amonio Total	Hasta 2.0 mg/l
Turbidez (Disco Secchi)	30 a 40 cm.

CANTOR, Fernando, Op. cit., p. 21.

➤ **Recirculación.** La SAGPyA, recomienda que:

Se debe proporcionar a los peces en cautiverio, un ambiente óptimo para su crecimiento, de forma tal que éste sea rápido, a un costo mínimo, tanto en recursos como en capital. Los sistemas intensivos de recirculación tienen la gran ventaja de poder controlar el ambiente y todos los parámetros de calidad del agua fácilmente (temperatura, oxígeno, pH, anhídrido carbónico, amoníaco, nitritos, nitratos, alcalinidad, etc.); obteniéndose así, un óptimo crecimiento de los animales y una prevención en sanidad. Estos "parámetros" o "variables" de calidad de agua no actúan independientemente, sino que están interrelacionados, de tal forma que el manejo del sistema puede resultar complejo. Por ello es importante entender las interrelaciones existentes entre los parámetros o variables en la calidad de agua, para lo cual se debe efectuar con continuidad el monitoreo de los mismos<sup>11</sup>.

Fitzimmons<sup>12</sup> afirma que desde hace más de 20 años, la tilapia se convirtió en el pez predilecto para los sistemas de recirculación. En su hábitat nativo, estos peces se han adaptado a períodos de sequía, por lo que ha desarrollado la habilidad de sobrevivir en condiciones de hacinamiento y pobre calidad de agua por largos períodos. Puede crecer activamente en aguas que suelen ser peligrosas para otras especies de peces. Los sistemas de recirculación son

<sup>11</sup> SAGPyA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Sistemas de Recirculación en Acuicultura. Argentina. 2006. p. 1. Disponible en internet: <URL:<http://www.produccionbovina.com>>.

<sup>12</sup> FITZIMMONS, K. Cultivo de Tilapia en Sistemas de Recirculación. SAGPyA. Estados Unidos 1993. p. 1. Disponible en internet: <URL:[http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/33-tilapia\\_sistemas\\_recirculacion\\_2.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/33-tilapia_sistemas_recirculacion_2.pdf)>.

más receptivos a los lotes y en los tanques se pueden cosechar parcialmente, ya que son más fáciles de drenar que los estanques y más convenientes cuando sólo se necesita capturar un porcentaje de la producción total.

#### 4.1.5 Métodos de incubación.

➤ **Incubación natural.** Espejo afirma que “tanto la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) como la tilapia roja (*Oreochromis sp*) son especies incubadoras bucales, es decir, que guardan los huevos fertilizados en sus cavidades bucales por un período de 60 a 72 horas, esta característica hace que la sobrevivencia de las larvas, al ingresar a la reversión sexual sea mayor, entre 85 y 90 %”<sup>13</sup>.

➤ **Incubación artificial.** Prieto y Olivera manifiestan que:

Los huevos de las especies de *Oreochromis* se incuban en recipientes con fondo redondeado, lo cual permite la continua rotación de los huevos. Debido a su tamaño (1,4 – 2,2 mm), y peso (3,8 – 7,8 mg), tienden a caer rápidamente al fondo del recipiente por lo cual se debe mantener un flujo de agua constante, simulando el movimiento de rotación que los huevos sufren en la boca de la hembra. Las Incubadoras de 20 litros de capacidad, pueden ser usadas para incubar hasta 80.000 huevos con gran eficiencia en la utilización de agua (10.000 huevos requieren 1,0 L/s, comparado con cerca de 1,0 L/min para 1000 huevos en incubadoras más pequeñas)<sup>14</sup>.

Estos autores afirman que el sistema de incubación artificial de huevos de tilapia es muy efectivo para producir una alta calidad de alevinos con un mínimo grado de manipulación, control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua de incubación, mejor monitoreo de los reproductores en términos de producción de huevos y alevinos, así como el aprovechamiento del 100% de las larvas sexualmente indiferenciadas para someter a tratamientos hormonales de reversión sexual, con resultados por encima del 99%. Al poder incubar embriones de la misma edad, o con diferencia de edades muy cercanas, se obtienen poblaciones con diferencias de tamaño mínimas lo que evita problemas de canibalismo.

---

<sup>13</sup> ESPEJO, Carlos. Manejo industrial de las tilapias. American Soybean Association. GENIPEZ. San Mateo. Monterrey, Marzo 2001. p. 5. Disponible en Internet: <URL:[http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo\\_industrial\\_de\\_las\\_tilapias.pdf](http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo_industrial_de_las_tilapias.pdf)>.

<sup>14</sup> PRIETO, Camilo y OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis sp*. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín – Colombia. 2002. p. 3. Disponible en Internet: <URL:<http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>>.

Según Woynarovich y Horváth “las incubadoras actualmente utilizadas para la incubación de cíclidos son las de tipo Mc Donald, las cuales son un recipiente cilíndrico con fondo esférico. El agua entra por un tubo que llega hasta el fondo del cilindro y en su movimiento descendente mueve y mezcla la masa de huevos continuamente”<sup>15</sup>.

#### **4.1.6 Larvicultura.** Prieto y Olivera muestran que:

Después de la eclosión, las larvas emergen a la superficie y van abandonando las incubadoras para caer atrapadas en bandejas de poca profundidad que pueden ser utilizadas para mantenerlas hasta por 20 días, una vez nadan horizontalmente y comen activamente se trasladan a unidades más grandes como estanques o jaulas.

El tiempo que toman las larvas en reabsorber su saco vitelino varía de 4 a 5,5 días, si se mantienen las mismas condiciones ambientales que se presentaron en el proceso de incubación<sup>16</sup>.

**4.1.7 Métodos de inducción al sexo.** Cantor<sup>17</sup>, manifiesta que debido a las diferencias de crecimiento entre el macho y la hembra, es necesario que los cultivos de tilapia sean monosexo (mayor porcentaje posible de machos). El cultivo de solo machos se recomienda debido a una mayor tasa de crecimiento, una mayor eficiencia en la tasa de conversión de alimento, además, es posible alcanzar tamaños de hasta un kilogramo de peso vivo en un año de producción y un mayor rendimiento de filete. La inducción sexual tiene como fin, al igual que la hibridación, producir poblaciones monosexo, es un proceso que se realiza durante el primer mes de vida del animal una vez reabsorbido el saco vitelino, utilizando hormonas.

Según López, Carvajal y Botero<sup>18</sup>, la proporción de sexos de las larvas al momento de la eclosión es aproximadamente de 50% hembras y 50% machos. Además que la tilapia es una especie indiferenciada, lo que significa que el tejido gonadal de la larva al momento de eclosionar, no está diferenciado. Este período de indiferenciación en la morfogénesis, que va hasta los 15 días después de la eclosión, ha permitido el empleo de técnicas de inducción hormonal para reversión fenotípica del sexo mediante el empleo de hormonas masculinizantes.

---

<sup>15</sup> WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: En. Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. FAO, Doc.Téc.Pesca, (201): Roma 1981. p 187. Disponible en Internet: <URL:<http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>>.

<sup>16</sup> PRIETO Y OLIVERA. Op. cit., p. 4.

<sup>17</sup> CANTOR, Op. cit., p. 66.

<sup>18</sup> LÓPEZ, CARVAJAL; y BOTERO. Op. cit., p. 2.

De acuerdo con Hurtado, “el sexo en estos peces se define en un estadio final del desarrollo de la post larva, en una longitud que puede variar dependiendo de la especie de entre 18 y 20 mm (Hepher & Pruginin, 1985) o 15 y 18 mm (Popma, 1987); citados por Marcillo & Landivar, 2000”<sup>19</sup>.

➤ **Producción de supermachos.** Hurtado<sup>20</sup> presenta que este método busca reducir el uso de andrógenos en la producción monosexo y producir descendientes machos (Scout et al., 1989; citado por Hillary, 1997). Dado que el sexo genotípico de la tilapia puede ser invertido, esto es posible en el caso de *O. niloticus* y *O. mossambicus*. La feminización de los machos (XY) por tratamiento con estrógenos los cuales posteriormente serán cruzados con un macho normal XY, la feminización de machos producen descendientes con proporciones de los siguientes genotipos: 1XX hembra; 2XY machos; 1YY macho, este ultimo genotipo es viable (YY macho), están identificados en algunos estudios (Mair et al., 1991; citado por Hillary, 1997). Teóricamente únicamente descendientes machos resultan del cruce de hembras (XX) con machos (YY).

➤ **Producción directa de progenies monosexo vía reversión hormonal del sexo fisiológico.** Díaz y Neira, afirman que:

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.

Así mismo estos autores manifiestan que en el caso de producir stocks todos machos aplicando la masculinización mediante el uso de hormonas sexuales, se emplean andrógenos, algunos de origen natural como testosterona, 11 keto testosterona y androstenediona. Entre los sintéticos, el más usado es 17 alfa – metil testosterona, fácil de obtener, presenta gran estabilidad química, pero no necesariamente es el más potente<sup>21</sup>.

---

<sup>19</sup> HURTADO, Op. cit., p. 9.

<sup>20</sup> HURTADO, Op. cit., p. 24.

<sup>21</sup> DÍAZ, N.F. y NEIRA, R. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura: Biotecnologías clásicas aplicadas a la reproducción de especies cultivadas. Universidad de Chile, Casilla. Santiago, Chile 2005. p. 8. Disponible en Internet: <URL:<http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/32-1/Biotecnologia.pdf>>.

López, Carvajal y Botero<sup>22</sup>, publican que la hormona masculinizante metiltestosterona (MT) es mezclada con el alimento en una concentración de 0.06 g/Kg de alimento, con niveles de eficiencia del 75 al 95%, dependiendo de las condiciones de manejo del cultivo (temperatura, calidad del agua, disponibilidad de alimento vivo, frecuencia de alimentación), de las condiciones del alimento (porcentaje de proteína, cantidad de hormona y homogenización de la misma) y otras como competencia por el alimento, condiciones climáticas y sanidad.

Según Botero:

Para el proceso de reversión por inmersión se hace una disolución de hormonas masculinizantes en alcohol de alta pureza (96%) o en agua destilada. Las dosis que se recomiendan utilizar deben ser superiores a 500 ug/L hasta 2100 ug/L de agua. La inmersión de las ovas debe realizarse inmediatamente después de la fertilización durante un período de 24 a 48 horas. Si se hace inmersión de larvas, recomienda 2 a 3 horas a los 10 días y/o 14 días post eclosión. Puede ser una o dos inmersiones en los días que coincidan con la diferenciación sexual de las gónadas<sup>23</sup>.

#### **4.1.8 17 $\alpha$ - Metiltestosterona (17 $\alpha$ -hidroxi-17- $\alpha$ - metil 4-androstan 3-ona).**

Hurtado afirma que “las ventajas que presenta este fármaco, como es la inmediata disolución de sus cristales en el alcohol. Se caracteriza porque posee el grupo metilo en el carbono 17 (Figura 4) y menciona que este medicamento se encuentra aprobada por la FDA de los EE.UU”<sup>24</sup>.

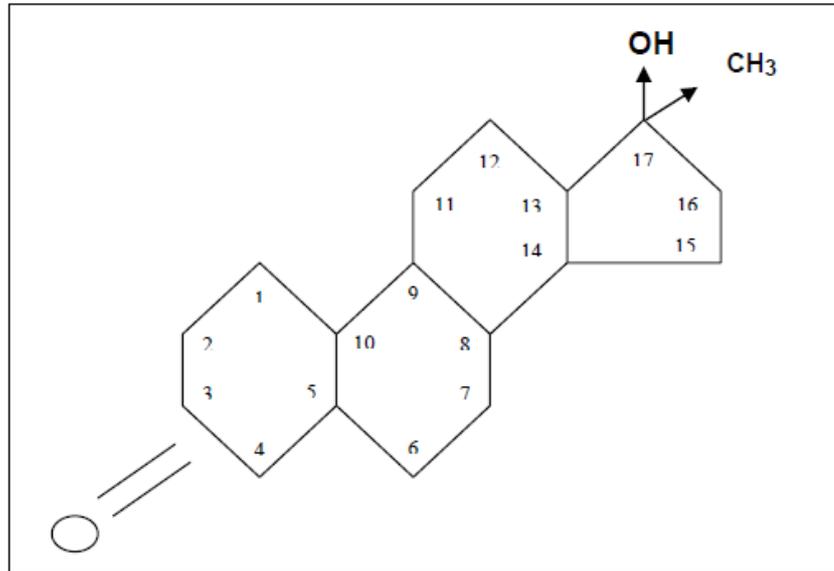
---

<sup>22</sup> LÓPEZ; CARVAJAL y BOTERO, Op. cit., p. 3.

<sup>23</sup> BOTERO, Mónica. Manejo en sistemas de producción acuícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Zootecnia. Semestre 02-2007. p. 26. Disponible en Internet: <URL:<http://kogi.udea.edu.co/talleres/Produccion%20acuicola/Manpeces%2002-2007.pdf>>.

<sup>24</sup> HURTADO, Op. cit., p. 38.

**Figura 4. Estructura química de la 17 alfa-metiltestosterona**



A. Arias, 1995; citado por Marcillo & Landivar, 2000.

➤ **Función de la hormona.** Castillo, menciona que:

La hormona androgénica 17 alfa metil-testosterona modifica directamente las características sexuales secundarias (Fenotipo), y tiene un efecto adicional sobre las gónadas, al afectar su normal desarrollo, pero en ningún momento afecta el Genotipo, por lo que los individuos genéticamente mantienen la segregación normal esperada en el momento de la fertilización, lo que ocasiona una disparidad de tallas típica de machos y hembras, pero con menor incidencia de enanismo (Phelps and Popma, 2000; Castillo, 2001) <sup>25</sup>.

<sup>25</sup> CASTILLO, Fernando. TILAPIA ROJA 2006. Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito. Alevinos del valle Cali, Valle. Colombia. Aquatic depot s.a. de .c.v. Zapopan, Jalisco. México. 2006. p. 16. Disponible en Internet: <URL:<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIAROJA2006.pdf>>.

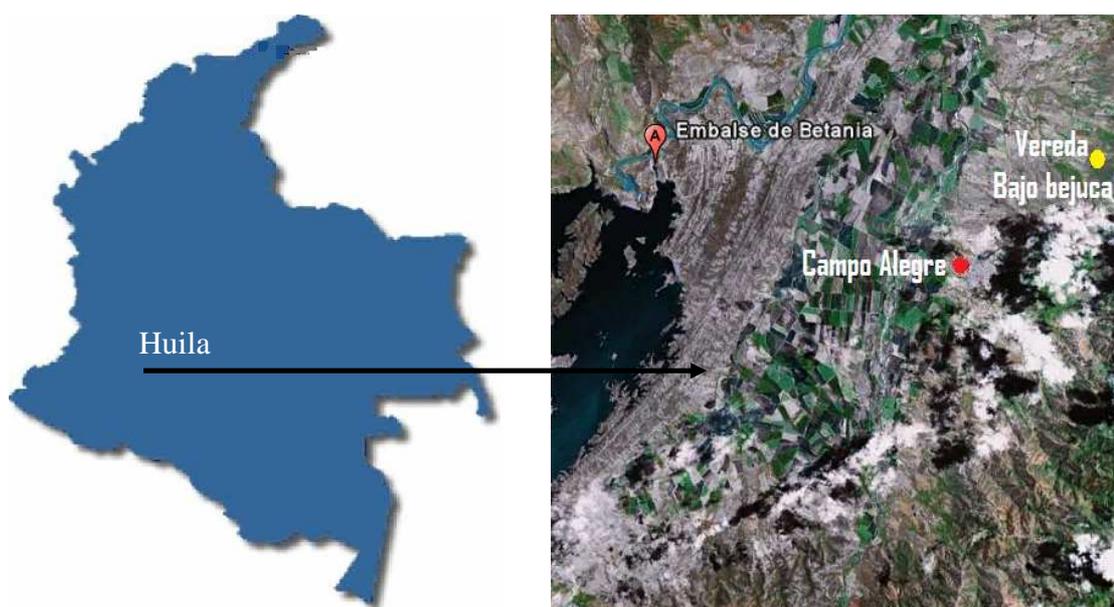
## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO

Esta investigación se realizó en la Granja Integral Buenos Aires, ubicada en la Vereda Bajo Bejucal, municipio de Campo Alegre, departamento del Huila (Figura 5), a 22 kilómetros de la ciudad de Neiva, Colombia. A una altura sobre el nivel del mar de 666 m, una precipitación media anual de 1254 mm y una temperatura media de 27°C.

Según las coordenadas geográficas, se inicia al sur a los 2° 31' y termina a los 2° 47' de latitud norte y en el este inicia a los 75° 12' y termina a los 75° 26' de longitud oeste de Greenwich<sup>26</sup>.

**Figura 5. Localización de la granja experimental Buenos Aires**



Información general de Colombia 2009. Disponible en Internet. URL:[http://terraliberastereo.files.wordpress.com/2009/04/mapa\\_de\\_colombia\\_vacio.jpg](http://terraliberastereo.files.wordpress.com/2009/04/mapa_de_colombia_vacio.jpg)

Google Eart, Campoalegre.Huila. Colombia. ONLINE., Image. 2009 DigitalGlobe

<sup>26</sup> Gobierno En Línea del orden Territorial (GELT). Campoalegre, Capital Arrocera del Huila. Disponible en Internet: <URL:<http://www.campoalegre-huila.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-y1--&m=f>>.

La investigación tuvo una duración de cuatro meses, comprendido entre el 10 de Septiembre de 2009 hasta el 8 de Enero de 2010, tiempo que estuvo dividido en tres etapas; la primera abarcó las respectivas adecuaciones de instalaciones, la segunda comprendió la etapa de pre ensayo; estas etapas se realizaron desde el 10 de Septiembre hasta el 4 de Noviembre y la tercera fue la etapa de evaluación, donde se desarrollaron las actividades de siembra, muestreo, manejo de los reproductores, recolección de huevos embrionados, transporte, medición, conteo e incubación artificial de los mismos, tratamiento con la hormona, toma de parámetros fisicoquímicos del agua, alimentación (50 días) y determinación de sexo; etapa que se desarrolló desde el 5 de Noviembre hasta el 8 de Enero de 2010.

## 5.2 MATERIAL BIOLÓGICO

Para el ensayo se utilizaron 12000 huevos embrionados de tilapia roja (*Oreochromis sp*) (Figura 6), con aproximadamente 10 a 20 horas de fertilización y con un diámetro aproximado de 3,0 mm, que fueron distribuidos en cuatro tratamientos (utilizando la hormona androgénica 17 alfa metil-testosterona) cada uno con tres réplicas (T1 sin hormona, T2 600 µg/L, T3 1200 µg/L, T4 1800 µg/L). Para esto se utilizó un lote de reproductores que consta de 18 hembras de 350 g y 6 machos de 400 g; para obtener aproximadamente una producción de 12000 embriones.

**Figura 6. Embriones de tilapia roja (*Oreochromis sp*)**



## 5.3 INSTALACIONES

La Granja Integral Buenos Aires cuenta con un área total de 6.5 Ha de las cuales 3 Ha son dedicadas a la producción de tilapia roja. El agua que abastece a la Granja es captada de la quebrada El Bejucal (Tabla 3). El agua es transportada por gravedad y es distribuida hacia los estanques, la sala de incubación y larvicultura, las piletas de inducción sexual y las piletas de venta de alevinos.

**Tabla 3. Promedio de los parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada El Bejucal**

PARAMETRO	DATOS
Temperatura del agua °C	24
O <sub>2</sub> mg/l	7,5
pH	7,5

**5.3.1 Estanques.** La Granja cuenta con ocho estanques, los cuales se utilizan para el manejo y control de la especie. Para mantener los reproductores se necesitó un estanque en el cual se encuentran tres hapas, cada una con 300 hembras y 100 machos; además cuenta con una hapa dividida en dos secciones destinada para el descanso de los reproductores. Para este ensayo se utilizó una de estas hapas (Figura 7).

**Figura 7. Hapas para reproductores**



Los estanques son excavados en tierra, se caracterizan por ser rectangulares y tener una profundidad entre 0,7 y 1,50 m, poseen suelo arcillo-limoso lo cual los hace impermeables y adecuados para el cultivo de la especie; además presentan una caja de pesca, la cual se utiliza para las cosechas de los alevinos; esta tiene forma de semicircunferencia y se ubica en la tubería de desagüe.

El agua de los estanques es drenada mediante tubería PVC que se coloca en forma de L y codo. Los tubos se unen con codos móviles lo cual permite el ingreso de agua a cada uno de estos.

El agua de la bocatoma es transportada hacia los estanques mediante tubería de 4,0 y 8,0 pulg; el agua que llega a los invernaderos y a la sala de incubación y larvicultura, es conducida mediante tubería de 8,0 pulg, reduciéndose a 4,0 pulg para finalmente llegar a 2,0 pulg.

**5.3.2 Sala de incubación y larvicultura.** Tiene un área de 147 m<sup>2</sup>. Está dedicado a la incubación artificial y larvicultura de la especie. En esta sala se maneja un sistema de recirculación, contando con un tanque de almacenamiento, con capacidad de 20.000 litros y una electrobomba con capacidad de 2,0 hp.

Adicional, se tiene un área de 49 m<sup>2</sup> utilizada para el sistema de filtración en la que se incluye materiales como el plástico, gravilla y sal (Figura 8).

**Figura 8. (Izq.) Tanque de almacenamiento. (Der.) Sistema de filtración**



➤ **Área de Inmersión.** Para la inmersión de los embriones de tilapia roja, en la sala de incubación se adecuó 12 acuarios de dimensiones 50 cm de largo, 30 de ancho y 40 cm de alto, con un volumen de 20 litros cada uno. Así mismo 12 incubadoras tipo Mc Donald con un diámetro de 17 cm y 54 cm de alto, con una capacidad de seis litros (Figura 9). Se manejó un flujo de agua constante con la ayuda de una bomba sumergible con un caudal de 4,0 L/min, en cada unidad experimental, en las cuales se mantuvo una recirculación y aireación con la ayuda de un blower de ½ hp; con el propósito de suministrar un caudal de agua constante y estabilidad en algunos parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura y oxígeno).

**Figura 9. Montaje del área de inmersión**

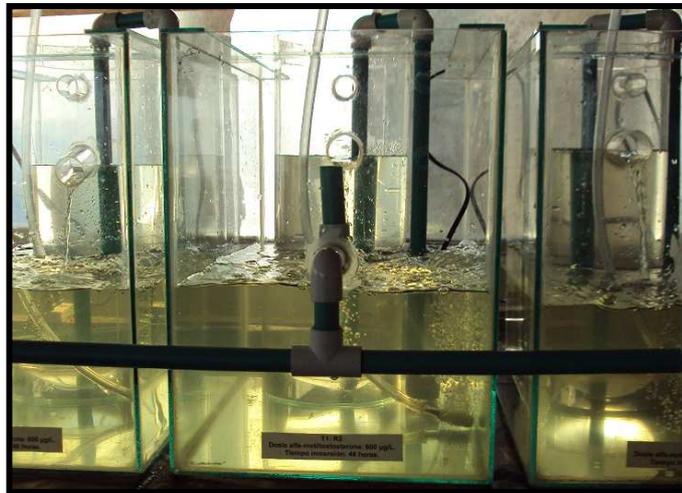
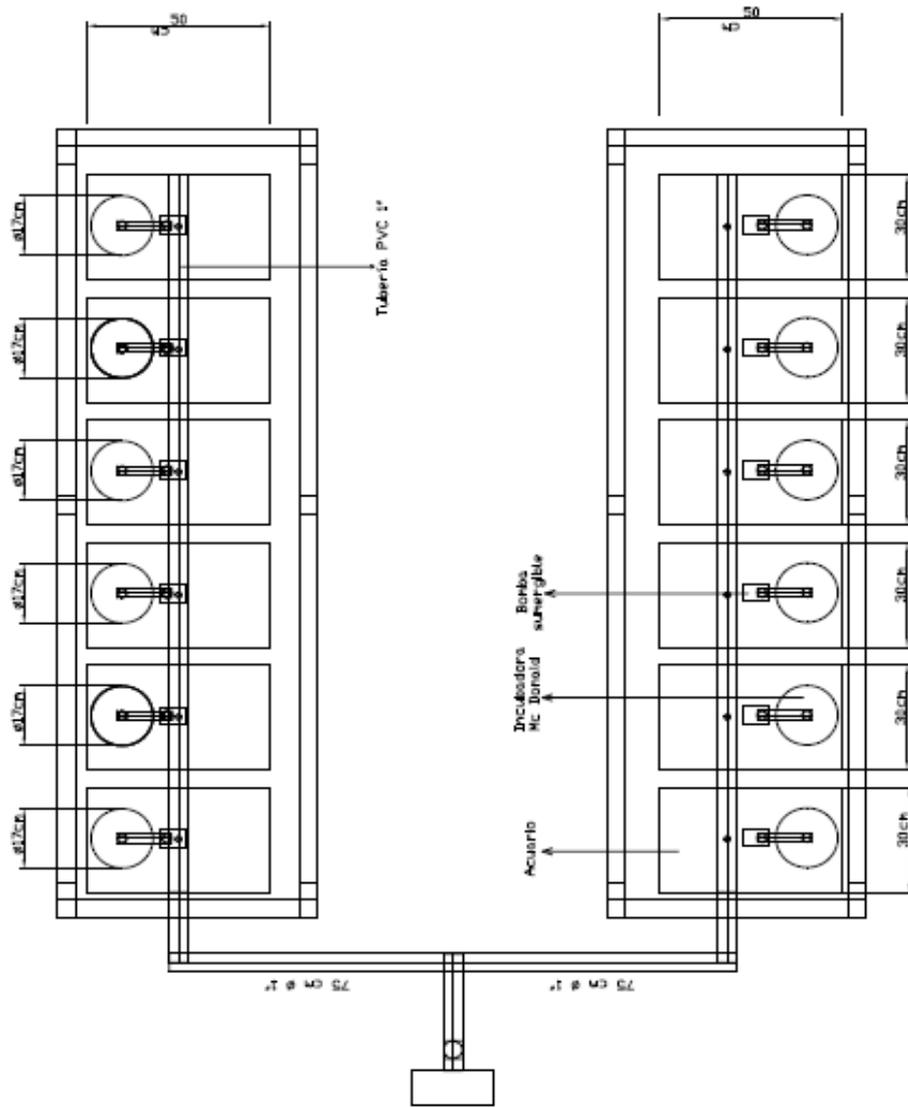
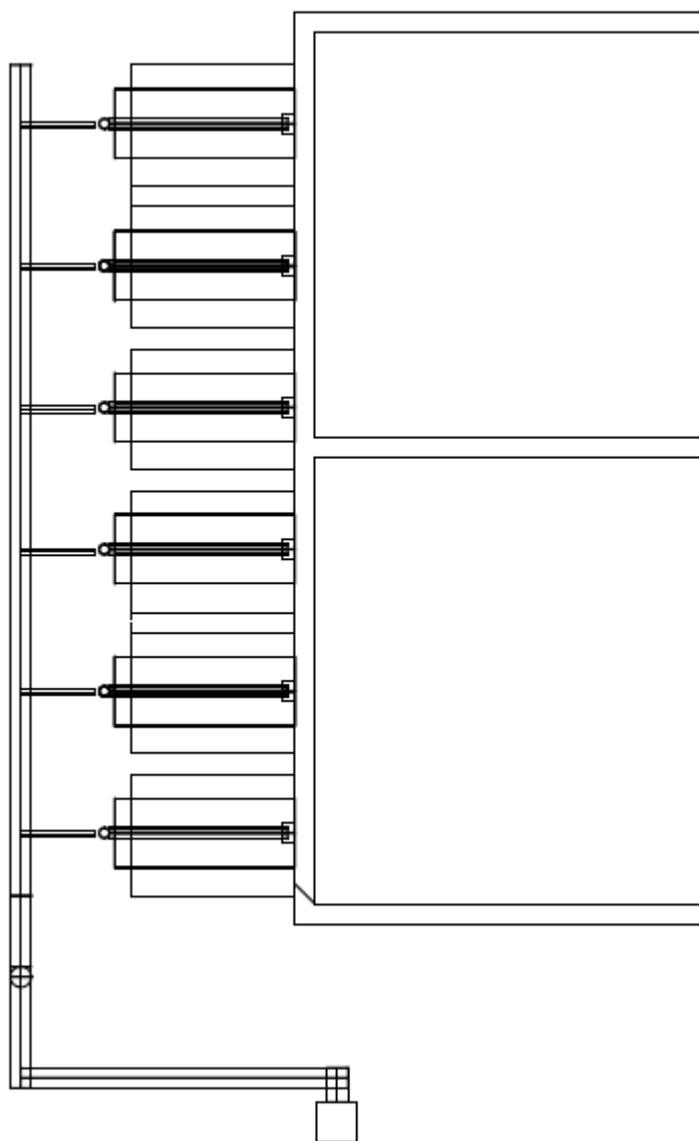


Figura 10. Vista en planta de sistema de inmersión



<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS</b>	
PROYECTO DE TESIS: <b>EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HORMONA 17 ALFA-METILTESTOSTERONA,                  EN LA INDUCCIÓN AL SEXO DE EMBRIONES DE TILAPIA ROJA</b>	ESCALA: 1 : ..... 2.500
ESTUDIANTE: JULIO CESAR ENRIQUEZ JOJOA GABRIELA ELENA ORDOÑEZ ERAZO	FECHA: Mayo 2010

Figura 11. Perfil del sistema de inmersión



<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS</b>	
PROYECTO DE TESIS:	ESCALA:
<b>EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA HORMONA 17 ALFA-METILTESTOSTERONA, EN LA INDUCCIÓN AL SEXO DE EMBRIONES DE TILAPIA ROJA</b>	1 :----- 2,500
ESTUDIANTES:	FECHA:
JULIO CESAR ENRIQUEZ JOJOA GABRIELA ELENA ORDOÑEZ ERAZO	Mayo 2010

- **Área de Incubación.** Esta área consta de seis baterías, de las cuales se utilizaron dos, para el desarrollo de la investigación; cada una con seis incubadoras tipo Mc Donald con capacidad de seis litros (Figura 12) y seis bandejas de plástico receptoras de larvas.

**Figura 12. Incubadoras tipo Mc Donald**



- **Área de larvicultura.** Se requirió una de las seis baterías con las que cuenta esta área, cada una con capacidad de 12 bandejas de plástico (Figura 13), en las que se mantienen las larvas hasta la reabsorción del saco vitelino.

**Figura 13. Bandejas reabsorción del saco vitelino**



**5.3.3 Invernaderos.** Se cuenta con 16 piletas en cemento, divididas en dos invernaderos, destinados para la inducción al sexo de los alevinos; cada pileta tiene su respectiva aireación con un blower de 2,0 hp, manguera y piedras difusoras (Figura 14). Para la fase de alevinaje del proyecto se utilizaron dos piletas, en las cuales se distribuyeron los tratamientos, utilizando toldillos (hapas) para cada réplica.

**Figura 14. (Izq.) Invernadero. (Der.) Piletas**



**5.3.4 Materiales, equipos e insumos.** Los materiales, equipos e insumos que se utilizaron durante el ensayo fueron los siguientes (Cuadro 1, 2, 3).

**Cuadro 1. Materiales utilizados en el ensayo**

<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Uso</b>
12	Incubadoras Mc Donald capacidad 6,0 L	Incubación de los huevos
12	Acuarios capacidad 33 L	Inmersión
2	Baldes capacidad 12 L	Transporte de agua
1	Manguera	Sifoneo, Transportar agua, aire
2	Probetas	Cuantificar huevos, medición de etanol
1	Beacker	Mezcla de etanol y hormona
9	Bandejas plásticas	Recepción de larvas y reabsorción de saco vitelino
4	Codos PVC 1,0 pulg	Unión de tubería
24	Codos PVC 1/2 pulg	Recirculación de agua
2	Tubería PVC 1,0 pulg (6 m)	Transporte de aire
12	Piedras difusoras	Aireación
12	Hapas	Alevinaje

**Cuadro 2. Equipos utilizados en el ensayo**

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>	<b>Uso</b>
1	Microscopio marca NIKON YS2 Ref. 153980	Observación de embriones y larvas
1	Cámara fotográfica digital marca SONY DSC-S950	Toma de fotografías de embriones, larvas, alevinos y gónadas
12	Bomba sumergible marca RESUN SP 600	Recircular agua en la fase de inmersión
1	Balanza analítica de precisión SF 400 A	Pesaje de embriones, larvas y alevinos
1	Balanza analítica de precisión DIAMOND	Pesaje de la hormona
2	Equipos de disección	Extracción de gónadas en alevinos
1	Equipo multiparámetro YSI DO200	Medición de temperatura y oxígeno
1	Aireador o blower WHITEWATER 1/2 hp	Aireación
2	Computador portátil ACER	Registro y control de información
18	Papel filtro	Filtración de azul de metileno

**Cuadro 3. Insumos utilizados en el ensayo**

<b>Cantidad</b>	<b>Insumos</b>	<b>Uso</b>
6 L	Solución salina 25ppm	Tratamiento preventivo y desinfección de materiales
6 kg	Concentrado comercial 30% proteína	Alimentación reproductores
2 Kg	Concentrado comercial 45% proteína	Alimentación de alevinos

**Figura 15. Materiales y equipos**



**Bandejas plásticas**



**Nasa**



**Beacker**



**Bomba sumergible RESUN  
SP 600**



**Multiparámetro YSI  
DO200**



**Tabla colorimétrica pH**



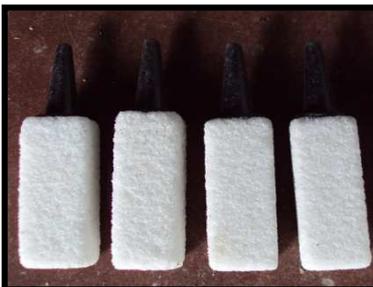
**Balanzas de precisión:  
DIAMOND**



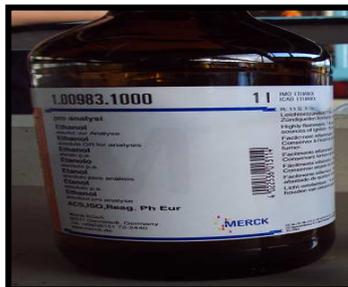
**SF 400 A**



**Blower WHITEWATER  
½ hp**



**Piedras difusoras**



**Etanol**



**17 alfa-metiltestosterona**

## 5.4 PLAN DE MANEJO

**5.4.1 Limpieza y desinfección de recipientes y acuarios.** Los materiales se lavaron con agua y cepillo; luego se desinfectaron con una solución de sal marina a una concentración de 25ppm (Figura 16), la cual se dejó actuar por un periodo de cinco minutos y posteriormente se lavó de nuevo con abundante agua.

**Figura 16. Desinfección de materiales**



**5.4.2 Sistema de recirculación.** Se manejó un caudal de 4,0 L/min en las etapas de inmersión e incubación y 1,0 L/min en larvicultura. El agua se recirculó en estas etapas, con el propósito de mantener un flujo de agua constante y estabilidad en algunos parámetros fisicoquímicos como temperatura y oxígeno disuelto.

**5.4.3 Monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua.** Se llevó un monitoreo de la calidad fisicoquímica de los parámetros pH, temperatura, y oxígeno disuelto, a la entrada y salida de cada unidad experimental, utilizando un equipo multiparámetro y una tabla colorimétrica. Los registros se tomaron diariamente cada dos horas en las fases de reproducción, inducción, incubación y larvicultura; en la fase de alevinaje cada 12 horas.

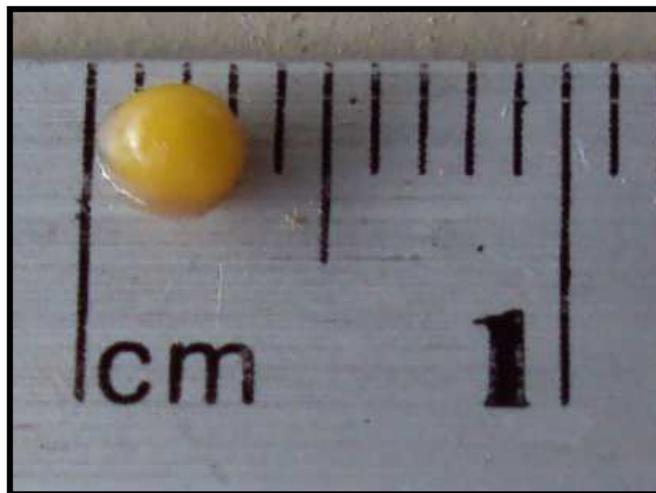
**5.4.4 Recolección de huevos.** Después de cuatro días de sembrados los reproductores se revisó su cavidad oral para obtener directamente los huevos de las hembras de tilapia roja de tamaño similar; se recolectaron en una cubeta, oxigenándolos constantemente con abundante agua limpia antes de llevarlos a las incubadoras (Figura 17).

**Figura 17. Obtención de embriones de tilapia roja**



**5.4.5 Medición de los huevos.** Se tomó una muestra de 30 huevos para medirlos y pesarlos y obtener los valores promedios. (Figura 18).

**Figura 18. Medición de huevos embrionados de tilapia roja**



**5.4.6 Conteo e incubación artificial de los huevos.** Antes de la siembra en las incubadoras de capacidad de 6,0 litros; los huevos se lavaron con abundante agua limpia para remover partículas de barro y escamas; posteriormente se desinfectaron con solución salina a 25 ppm, durante un periodo de 20 segundos. Luego se realizó un conteo volumétrico, para llevar 1000 huevos embrionados por réplica de cada tratamiento a investigar (Figura 19).

**Figura 19. Conteo volumétrico de los embriones**



**5.4.7 Tratamiento con la hormona.** Después del lavado y desinfección de los embriones, se procedió a realizar las inmersiones utilizando la hormona 17 alfa–metiltestosterona, incluida en el agua de incubación por 48 horas, a razón de 600, 1200 y 1800  $\mu\text{g/L}$ , según el tratamiento. La hormona fue previamente disuelta en etanol de alta pureza (97%), teniendo una concentración de etanol en el agua de 0,1%, en cada una de las unidades experimentales (Figura 20 y 21).

**Figura 20. Pesaje de la hormona 17 alfa metil-testosterona**



**Figura 21. (Izq.) Medición de etanol. (Der.) Dilución de la hormona en etanol**



**5.4.8 Transporte de los huevos embrionados a incubación normal.** Posteriormente de realizar el tratamiento de inmersión, los embriones se llevaron a incubación normal (Figura 22), durante 4 días más hasta la eclosión, utilizando el agua que recircula por el laboratorio con un caudal de 4,0 L/min.

**Figura 22. Incubación artificial de embriones de tilapia roja**



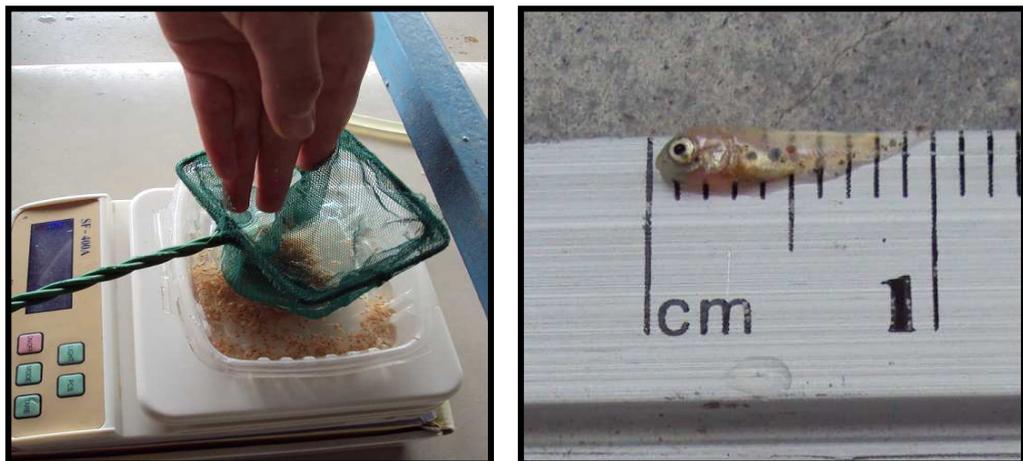
**5.4.9 Reabsorción del saco vitelino.** Una vez eclosionaron las larvas con saco vitelino se desplazaron hacia la superficie y abandonaron las incubadoras, llegando a las bandejas de recepción, luego se trasladaron a las bandejas de reabsorción del saco vitelino; aquí las larvas se dejaron durante cinco días más, manejando un caudal de 1,0 L/min, asegurando la oxigenación permanente de las larvas de tilapia roja, hasta que presentaron nado horizontal y terminaron la reabsorción del saco vitelino (Figura 23).

**Figura 23. Larvas en bandejas de reabsorción del saco vitelino**



**5.4.10 Transporte de las larvas a las canaletas de investigación.** Las larvas se pesaron y midieron antes de llevarlas a las canaletas de concreto en donde se aclimataron (Figura 24 y 25). Las canaletas de concreto tienen unas dimensiones de 3,5 m de largo y 3,3 m de ancho, cada una. En ellas se adaptaron las 12 unidades experimentales utilizando una malla de 800 micras, para diferenciar los tratamientos, seis unidades en cada canaleta. Estas secciones con dimensiones de 0,5 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,4 m de alto (Figura 26), teniendo como densidad de siembra de 1000 larvas en  $0,1 \text{ m}^3$ , comparada esta densidad con 1600 larvas en  $0,1 \text{ m}^3$  que maneja actualmente la Granja, por lo tanto la densidad que se maneja en las piletas es óptima para el buen desarrollo de los animales.

**Figura 24. (Izq.) Pesaje de las larvas. (Der.) Medición de larvas**



**Figura 25. (Izq.) Empaque de larvas. (Der.) Aclimatación**



**Figura 26. Unidades experimentales**



**5.4.11 Alimentación de las larvas.** Se inició la alimentación a los ocho días post eclosión, utilizando alimento comercial en polvo con un contenido del 45% de proteína. Proporcionando el 10% de la biomasa existente. Se alimentó seis veces al día; tres veces en horas de la mañana y tres veces en horas de la tarde. Este periodo tuvo una duración de 50 días (Figura 27).

**Figura 27. (Izq.) Alimento comercial en polvo 45% de proteína. (Der.)  
Proceso de alimentación**

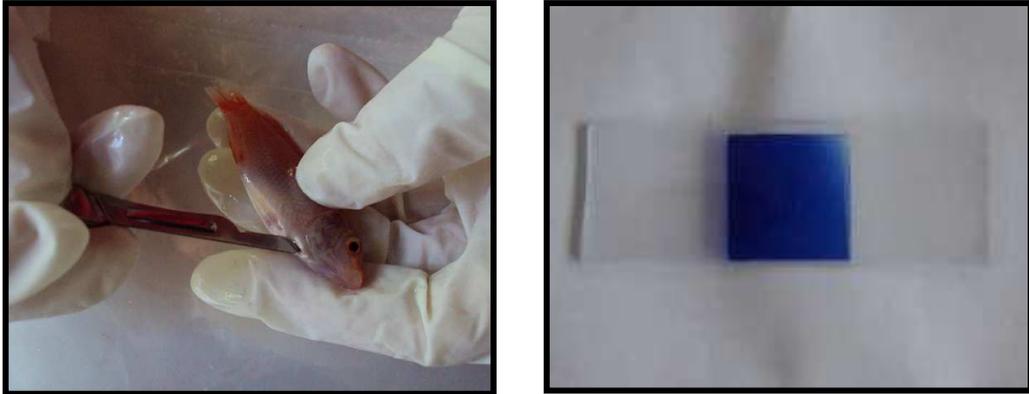


**5.4.12 Determinación del sexo.** Al terminar el periodo de larvicultura de 50 días, los alevinos se midieron y pesaron (Figura 28); posteriormente se oscultaron mediante técnicas de laboratorio realizando un corte ventral para extraer ambas gónadas, las cuales fueron observadas al microscopio. Antes de ser observadas, se sometieron a un leve aplastamiento (squash) con el cubreobjetos y a tinción con azul de metileno al 3% (Figura 29). En el microscopio se realizó un barrido de ambas gónadas para evaluar la presencia de ovocitos o de tejido granular (testículos) (Figura 30).

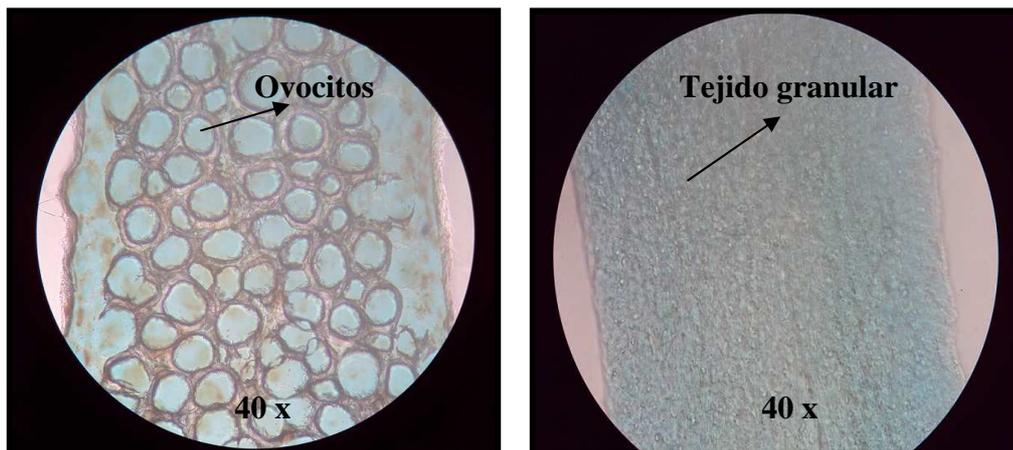
**Figura 28. (Izq.) Registro de longitud (cm). (Der.) Registro de peso (g)**



**Figura 29. (Izq.) Corte ventral para extracción de gónadas. (Der.) Tinción de gónadas con azul de metileno**



**Figura 30. (Izq.) Diferencia entre gónadas de hembra y (Der.) macho de alevinos de tilapia roja**



## 5.5 TRATAMIENTOS

Para el desarrollo de esta investigación se evaluaron cuatro tratamientos, cada uno con tres replicas, con el fin de estudiar el efecto de la hormona 17 alfa-metiltestosterona, en la inducción al sexo de embriones de tilapia roja (*Oreochromis sp*). Los tratamientos se describen en la tabla 4.

**Tabla 4. Descripción de los tratamientos**

Tratamientos	Descripción
T1	Sin hormona (testigo)
T2	600 µg/L, 48 horas
T3	1200 µg/L, 48 horas
T4	1800 µg/L, 48 horas

## 5.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), conformado por cuatro tratamientos y tres réplicas por tratamiento. Cada unidad experimental estuvo constituido por 1000 huevos embrionados en una incubadora tipo Mc Donald de 6,0 litros.

El modelo matemático que representa el diseño es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} + \eta_{ijk}; i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3; k = 1, \dots, k$$

Donde:

$y_{ijk}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental asociado a la  $j$ -ésima unidad experimental que recibe el  $i$ -ésimo tratamiento

$\eta_k$  = Error de muestreo asociado a la  $k$ -ésima muestra

Para determinar el tamaño de muestra en larvas y alevinos se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 p(1-p)}{e^2}$$

Cuando  $p$  (proporción de individuos) no se conoce, se asume que  $p = 0,5$  y de esta manera se obtuvo el máximo tamaño muestral, de la siguiente manera:

En primer lugar debe aplicarse  $Z = 1,96$  para un 95% de confiabilidad y un  $e$  de 0,05:

Por otra parte si  $N * 0,05$ , indica que el tamaño inicial de muestra  $n$  es mayor que  $N (0,05)$ , es necesario hacer la corrección por tamaño finito, aplicando:

$$n = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

Para estimar los parámetros poblacionales de las variables peso y talla de larvas, se tomó una muestra utilizando la metodología descrita por Solarte, García e Imuez<sup>27</sup>, aplicando la siguiente fórmula, con población conocida:

$$n = \frac{NZ^2_{(1-\alpha/2)}\sigma^2}{e^2(N-1) + Z^2_{(1-\alpha/2)}\sigma^2}$$

Para las variables peso y talla de larvas se aplicó un análisis de varianza ANAVA con el fin de establecer la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, en cuyo caso se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar el mejor tratamiento, con una confiabilidad del 95%.

En las variables binomiales (ovas eclosionadas, sobrevivencia, número de machos y hembras) se aplicó la prueba de Brand Snedecor y un contraste para la diferencia entre dos proporciones.

### 5.6.1 Formulación de hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>).** No existen diferencias significativas entre los tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

**Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>).** Al menos uno de los tratamientos es diferente.

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

### 5.6.2 Variables evaluadas

➤ **Porcentaje de machos.** Número de animales machos en la población estudiada.

$$\%M = \frac{\# M * 100}{P}$$

# M: Numero de animales machos encontradas en la población

P: Población total

---

<sup>27</sup> SOLARTE, Carlos; GARCÍA, Hernán e IMUEZ, Marco. Bioestadística: Aplicaciones en Producción y Salud Animal. Distribuciones muestrales y estimación. Centro de publicaciones Universidad de Nariño. San Juan de Pasto – Nariño – Colombia. Primera Edición Febrero de 2009. p. 143. ISBN: 958-9479-39-1.

➤ **Porcentaje de hembras.** Número de animales hembras en la población estudiada.

$$\%H = \frac{\# H * 100}{P}$$

# H: Numero de animales hembras encontradas en la población

P: Población total

➤ **Incremento de peso.** Se define como la ganancia de peso del individuo o la población en un determinado periodo de tiempo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$IP = Wf - Wi$$

IP: Incremento de peso

Wf: Peso final en gramos

Wi: Peso inicial en gramos

➤ **Incremento de talla.** Es el incremento periódico de talla estimado en 15 días, se calcula mediante las diferencias de longitud.

$$IT = Lf - Li$$

IT: Incremento de talla

Lf: Longitud final en centímetros

Li: Longitud inicial en centímetros

➤ **Porcentaje de eclosión.** Variable que determina la cantidad de embriones que eclosionan en toda la población de huevos sembrados. Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(1 - \# TEM) * 100}{\# TEI}$$

%E: Porcentaje de eclosión

# TEM: Número total de embriones no eclosionados

# TEI: Número total de embriones iniciales

➤ **Sobrevivencia.** Variable expresada en porcentaje que indica el número de individuos vivos en un periodo de tiempo y se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$S = 1 - \left( \frac{Ni}{Nf} \right) * 100$$

S: sobrevivencia

Ni: número inicial de animales

Nf: número final de animales

➤ **Análisis de relación beneficio - costo.** Es el índice que resulta de dividir los beneficios (flujos de efectivo) entre los costos variables, a precios actuales de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$RBC = \frac{B}{C}$$

RBC: Relación beneficio costo

B: Beneficio

C: Costo

## 6. PRESENTACION Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 INDUCCION AL SEXO

Explorando la alternativa de inducción sexual por inmersión de embriones, se obtuvo los siguientes resultados (Tabla 5).

**Tabla 5. Resultados de alevinos inducidos con la hormona 17 alfa-metiltestosterona, mediante inmersión de embriones de tilapia roja (*Oreochromis sp*)**

Tratamiento	Total final	% sobrevivencia	n	N° machos	N° hembras	% machos	% hembras
T1	2297	77	767	451	316	59	41
T2	2255	75	762	697	65	91	9
T3	2335	78	771	626	145	81	19
T4	2249	75	762	726	36	95	5

Según la tabla 5; para el tratamiento T1 se reporta un 59% machos, T2 91%, T3 81% y T4 95%. Significa que respecto al tratamiento T1; hubo un incremento del 55%, 38% y 62% de machos obtenidos, para los tratamientos T2, T3 y T4 respectivamente.

Mediante la prueba de Brand Snedecor (Anexo 1), se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos. Realizando el contraste para la diferencia entre dos proporciones, se determinó que todos los tratamientos son diferentes (Anexo 2), por lo tanto el mejor, es el tratamiento T4 que corresponde a 1800 µg/L de hormona 17 alfa-metiltestosterona, por reportar el mayor porcentaje de machos obtenidos.

Cagauan y Abucay sostienen que:

Al evaluar la inducción sexual por inmersión de embriones de tilapia nilótica (*O. niloticus*); utilizando diferentes concentraciones de 17 alfa-metiltestosterona (0, 200, 400, 600, 800 µg/L) con (24, 48, 72, 96 horas). Los resultados reportan un 98% de eficiencia cuando sometieron las ovas a inmersión en solución acuosa de metil-

testosterona, a razón de 800 µg/L, durante un período de 96 horas mientras se realizaba la incubación artificial de los huevos<sup>28</sup>.

Por otra parte Gale *et al*:

Al emplear 17 alfa-metildihidrotestosterona (MDHT) para reversión de larvas de tilapia nilótica (*O. niloticus*) por inmersión, a los días 10 y 13 post-fertilización, con una duración de tres horas por día, obtuvieron resultados de 100, 94, y 83% de eficiencia para las tres réplicas con una dosis de 500 µg/L de MDHT. Con respecto a la misma dosis para MT, estos autores sólo hallaron masculinización en la tercera réplica (no se reportaron los datos). Para la dosis de 100 µg/L de MDHT y MT, se encontraron diferencias notorias entre la primera y tercera réplicas (para MDHT las eficiencias fueron de 73 y 83%, y para MT de 72 y 91%, respectivamente)<sup>29</sup>.

Fitzpatrick *et al*:

Demostraron que dos inmersiones de tres horas realizadas los días 10 y 13 post-fertilización al emplear una concentración de 500 µg/L de 17 alfa-metildihidrotestosterona, dan lugar a una población con un 90% de machos. Igualmente, realizaron ensayos con tres inmersiones a los días 10, 11 y 13 post-fertilización a tres grupos diferentes de tilapia nilótica con dosis de 500 µg/L de MDHT, obteniendo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) solamente en el grupo de inmersión al día 13, con una eficiencia del 79.3%<sup>30</sup>.

En la tabla 6 se puede observar los reportes, de los autores citados y los obtenidos en esta investigación; destacando los mejores resultados de inducción sexual con el método de inmersión.

---

<sup>28</sup> CAGAUAN, A, ABUCAY, J. Sex reversal of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* by egg immersion technique: the effect of hormone concentration and immersion time 2004 [fecha de acceso: junio 2005] Disponible en internet: <URL:<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/sta6web/pdf/127.pdf>>.

<sup>29</sup> GALE, W, FITZPATRICK, M, SCHRECK Carl. Masculinization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through immersion in 17 alfa-methyltestosterone or 17  $\alpha$ -methylidihydrotestosterone. CRSP Thirteenth Annual Technical Report 1996; 96-100.

<sup>30</sup> FITZPATRICK, MS, CONTRERAS-SÁNCHEZ, WM, MILSTON RH, LUCERO, M, FEIST, GW. Steroid immersion for masculinization of tilapia: immersion of tilapia fry in MDT. CRSP Sixteenth Annual Technical Report 1999; 73-74.

**Tabla 6. Reportes obtenidos por diferentes autores en la inducción sexual con el método de inmersión**

Autor	Cagauan y Abucay	Gale <i>et al</i>	Fitzpatrick <i>et al</i>	Esta investigación			
				T1	T2	T3	T4
<b>Especie</b>	tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> )	tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> )	tilapia nilótica ( <i>O. niloticus</i> )	tilapia roja ( <i>Oreochromis sp</i> )			
<b>Fase de inmersión</b>	embriones	larvas 10 y 13 días post fertilización	larvas 10 y 13 días post fertilización	embriones			
<b>Hormona</b>	17 alfa-metiltestosterona	17 alfa metildihidro-testosterona	17 alfa metildihidro-testosterona	17 alfa-metiltestosterona			
<b>Dosis µg/L</b>	0, 200, 400, 600, 800	100, 500	500	0	600	1200	1800
<b>Tiempo de inmersión</b>	24, 48, 72, 96 horas	3 horas por día	3 horas por día	48 horas			
<b>Mejor tratamiento µg/L</b>	800 (96 horas)	500	500	1800			
<b>Eficiencia (% machos)</b>	98	83	90	59	91	81	95

El mejor resultado obtenido lo reporta Cagauan y Abucay obteniendo un 98% de eficiencia, con una dosis de hormona de 800 µg/L, por 96 horas de inmersión; frente al 95% de eficiencia reportado en esta investigación (Tabla 5), con una dosis de 1800 µg/L, por 48 horas; se destaca la diferencia de tiempos utilizados en la inmersión (48 horas), lo que implica una disminución de costos, menor exposición de hormona y por ende un menor impacto ambiental. El resultado obtenido por Gale *et al*, 83% de eficiencia, es similar al tratamiento T3 81%, de esta investigación; se enfatiza en la diferencia del tiempo de inmersión; larvas y embriones respectivamente. Fitzpatrick *et al*, reporta un 90% de eficiencia (inmersión de larvas), dato similar al tratamiento T2 91%, reportado en esta investigación.

De acuerdo con López, Carvajal y Botero:

La hormona masculinizante metil-testosterona (MT) es mezclada con el alimento en una concentración de 60 mg/Kg de alimento, con niveles de eficiencia del 75 al 95%, dependiendo de las condiciones de manejo del cultivo (como temperatura y calidad del agua, disponibilidad de alimento vivo, frecuencia de alimentación), de las

condiciones del alimento (como porcentaje de proteína, cantidad de hormona masculinizante y homogenización de la misma) y otras como competencia por el alimento, condiciones climáticas y sanidad<sup>31</sup>.

Los mismos autores tienen en cuenta que las técnicas tradicionales para cambio fenotípico de sexo dependen de un gran número de variables y ante el conocimiento del momento en el cual se da la diferenciación sexual en la larva de tilapia, se han establecido protocolos que buscan mejorar la eficiencia, teniendo un mayor control de las variables que inciden sobre esta y aplicándolos en el período más adecuado. Hacer modificación de sexo fenotípico por alimento, ha generado controversia por la manipulación y exposición del operario y la especie a la hormona. Por esto se han buscado otras alternativas en las que esta manipulación se reduzca en tiempo y cantidad.

La utilización del método por inmersión representa un menor impacto ambiental, frente al método de inducción sexual por inclusión de la hormona en el alimento, si se tiene en cuenta que la concentración de la hormona es de 1.8 mg/l de agua, con respecto a 60 mg/kg de alimento concentrado; es decir, 33 veces menor concentración. Adicionalmente los volúmenes de agua empleados son menores, lo que supondría que los residuos hormonales causados por este tratamiento son más bajos respecto del tratamiento por alimento.

## 6.2 PARÁMETROS PRODUCTIVOS

Se registró de acuerdo a la muestra estadística, el peso y la talla de las larvas una vez reabsorbieron el saco vitelino; 8 días post eclosión. En los alevinos se tomaron los mismos parámetros productivos, al terminar el periodo de alimentación; el cual tuvo una duración de 50 días. En la tabla 7 se reporta los resultados de peso y talla para larvas y alevinos.

**Tabla 7. Registro de talla y peso promedio de larvas y alevinos**

Tratamiento	Peso promedio larvas g	Talla promedio larvas cm	Peso promedio alevinos g	Talla promedio alevinos cm
T1	0,0134 ±0,0005	0,975 ±0,0024	8,567 ±0,1131	6,165 ±0,0539
T2	0,0137 ±0,0005	0,978 ±0,0024	11,820 ±0,1131	7,078 ±0,0539
T3	0,0138 ±0,0005	0,986 ±0,0024	8,313 ±0,1131	6,087 ±0,0539
T4	0,0135 ±0,0005	0,980 ±0,0024	8,177 ±0,1131	6,153 ±0,0539

<sup>31</sup> LÓPEZ, CARVAJAL; y BOTERO. Op. cit., p. 3.

**6.2.1 Análisis de varianza para determinar peso larval (g).** El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ) (Anexo 3). La prueba de Tukey afirma que los tratamientos T1 y T4; T4 y T2; T2 y T3 son iguales y que los mejores tratamientos para esta variable son T2 y T3 ya que presentan los datos más altos, los cuales reportan un peso de T2  $0,0137 \pm 0,000055$  g y T3  $0,0138 \pm 0,000055$  g (Anexo 4).

**6.2.2 Análisis de varianza para determinar talla promedio larvas (cm).** El análisis de varianza muestra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ) (Anexo 5). Se obtuvo datos de  $0,975 \pm 0,0024608$  cm;  $0,978 \pm 0,0024608$  cm;  $0,986 \pm 0,0024608$  cm y  $0,980 \pm 0,0024608$  cm para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 respectivamente.

**6.2.3 Análisis de varianza para determinar peso promedio alevinos (g).** El análisis de varianza se indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ) (Anexo 6). La prueba de Tukey reporta que los tratamientos T1, T3 y T4 presentan medias cuyas diferencias no son significativas y que el mejor tratamiento para esta variable es el T2 el cual presenta diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, con un valor promedio de  $11,820 \pm 0,1131$  g (Anexo 7).

**6.2.4 Análisis de varianza para determinar talla promedio alevinos (cm).** Con el análisis de varianza se muestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ) (Anexo 8). A través de la prueba de Tukey reporta que los tratamientos T1, T3 y T4 presentan medias cuyas diferencias no son significativas y que el mejor tratamiento para esta variable es el T2 el cual presenta diferencias significativas respecto a los demás tratamientos, reportando un valor de  $7,078 \pm 0,0539$  cm (Anexo 9).

Hurtado<sup>32</sup> manifiesta que el crecimiento de la tilapia roja es isométrico en todas las etapas de su desarrollo a partir de alevino y depende de varios factores como son temperatura, densidad de individuos en el ambiente y tipo de alimento disponible principalmente.

López, Carvajal y Botero<sup>33</sup> encontraron que para los parámetros productivos evaluados al día 97, en los alevinos: peso total (g), longitud total (cm) (Tabla 8); no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre el tratamiento para la inducción sexual con la hormona 17 alfa-metiltestosterona incluida en el alimento y por inmersión de larvas, sugiriendo que la manipulación en la inmersión no afecta estos parámetros.

---

<sup>32</sup> HURTADO. Op. cit., p. 13.

<sup>33</sup> LÓPEZ, CARVAJAL; y BOTERO. Op. cit., p. 6.

**Tabla 8. Parámetros productivos (peso, longitud total)**

<b>Tratamiento</b>	<b>Muestra</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>Longitud Total (cm)</b>
Alimento	360	8.36 ± 1.67	7.66 ± 0.43
Inmersión	299	7.47 ± 1.11	7.37 ± 0.35

Para ningún parámetro se observó diferencias significativas ( $p > 0.05$ )

Ibíd., p. 6.

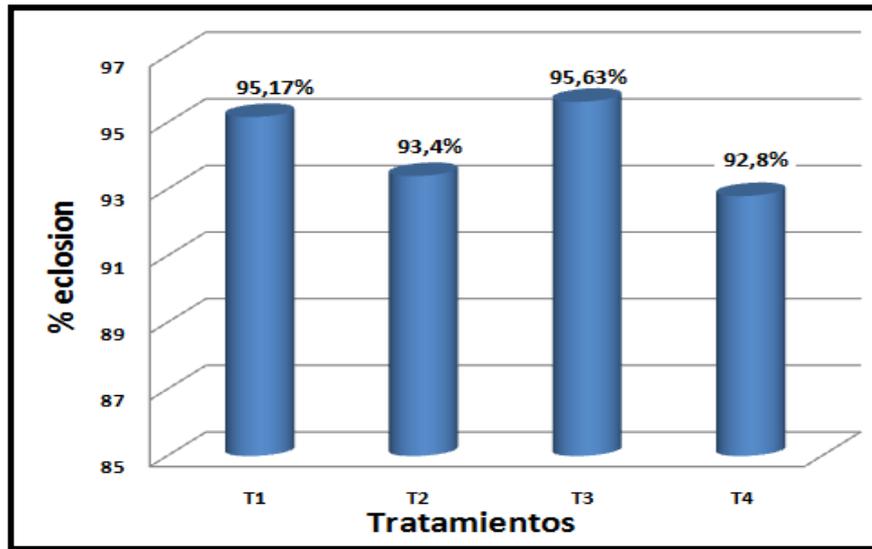
Al comparar los resultados mencionados en ésta investigación (Tabla 7), obtenidos al día 61 a partir de la incubación; con los reportados por López, Carvajal y Botero (Tabla 8), al día 97; se puede afirmar que los datos son similares para la variable peso de los alevinos en los tratamientos T1  $8,6 \pm 0,21$  g; T3  $8,3 \pm 0,23$  g y T4  $8,2 \pm 0,24$  g, y mejores resultados para el tratamiento T2  $11,8 \pm 0,32$  g. Para la variable talla de alevinos, se obtuvo resultados similares, sólo en el tratamiento T2  $7,08 \pm 0,18$  cm; a diferencia de los tratamientos T1  $6,16 \pm 0,17$  cm, T3  $6,09 \pm 0,16$  cm y T4  $6,15 \pm 0,17$  cm; en los que se obtuvo datos inferiores.

### **6.3 PORCENTAJE DE ECLOSIÓN Y SOBREVIVENCIA LARVAL**

**6.3.1 Porcentaje de eclosión.** Los resultados obtenidos en los tratamientos, fueron los siguientes: T1 presentó un porcentaje de eclosión del 95,17%, T2 93,4%, T3 95,63% y T4 92,8% (Figura 31).

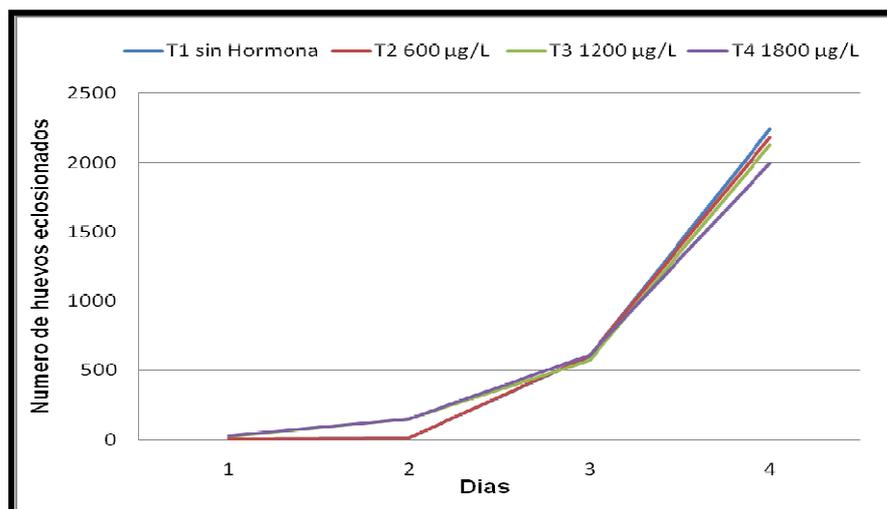
Esta variable se determinó cuantificando el número de huevos eclosionados por día, durante los cuatro días que tardó en desarrollarse esta fase; mediante la prueba de Brand Snedecor con un 95% de confiabilidad (Anexo 10), reportándose que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, realizando el contraste para la diferencia entre dos proporciones se puede afirmar que los tratamientos T2 y T4 son diferentes y que T1 y T3 son iguales siendo éstos, los mejores tratamientos (Anexo 11).

**Figura 31. Porcentaje de eclosión de los tratamientos**



Durante las fases de inmersión e incubación, los mejores resultados de eclosión se obtuvieron con el tratamiento T1 y T3, en los que se logró un 95,17% y un 95,63% de eclosión respectivamente del total de los huevos sembrados; obteniendo un mayor pico de nacimientos en el cuarto día para todos los tratamientos como se observa en la figura 32 (Anexo 12).

**Figura 32. Comportamiento de la eclosión de huevos durante el ensayo**



Woynarovich y Horváth<sup>34</sup> afirma que el tiempo que los huevos tardan en desarrollarse varía en general según las especies y depende además de la temperatura durante la incubación y del oxígeno, que el huevo puede disponer al principio. En temperaturas bajas, el desarrollo del embrión y la acción de las enzimas que disuelven la cubierta del huevo se retrasan, por lo que el embrión puede permanecer dentro del huevo durante más tiempo. Pero como el desarrollo del embrión no se interrumpe, las larvas que nazcan estarán más desarrolladas. Por otro lado, si las temperaturas son superiores se produce una eclosión prematura de embriones inmaduros, que la mayoría de las veces no sobreviven. Por lo tanto es fundamental mantener en las incubadoras la temperatura óptima (28°C) durante todo el período de desarrollo embrional.

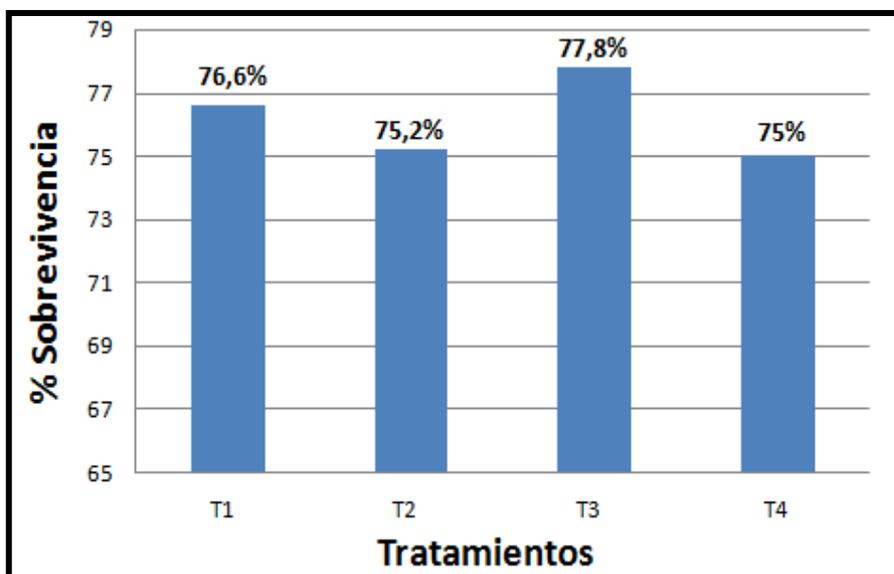
**6.3.2 Sobrevivencia.** Para esta variable se toman en cuenta los datos reportados durante los 61 días que duró la investigación (Tabla 9) (Figura 33). Se realizó una prueba de Brand Snedecor en donde se determinó que existen diferencias significativas entre los tratamientos, con un 95% de confianza. (Anexo 13). Realizando el contraste para la diferencia entre dos proporciones (Anexo 14); se comprobó que T1 y T2; T1 y T3; T1 y T4; T2 y T4 son iguales respecto al porcentaje de sobrevivencia y que los tratamientos T2 y T3 presentan diferencias significativas. El mejor tratamiento es el T3 con un 77,8% de sobrevivencia.

**Tabla 9. Porcentaje de sobrevivencia**

Fase	Duración (días)	% sobrevivencia			
		T1	T2	T3	T4
Incubación	6	91,6	90,7	93,9	90,1
Larvicultura	5	96,3	96,6	96,3	96,2
Alevinaje	50	88,7	87,9	87,7	88,7
Total	61	76,6	75,2	77,8	75
Total larvicultura y alevinaje	55	85	84,5	84	84,9
Promedio larvicultura y alevinaje (T1,T2,T3 y T4)				84,6	

<sup>34</sup> WOYNAROVICH Y HORVÁTH. Op. cit., p. 1.

**Figura 33. Porcentaje de sobrevivencia en la fase de incubación, larvicultura y alevinaje**



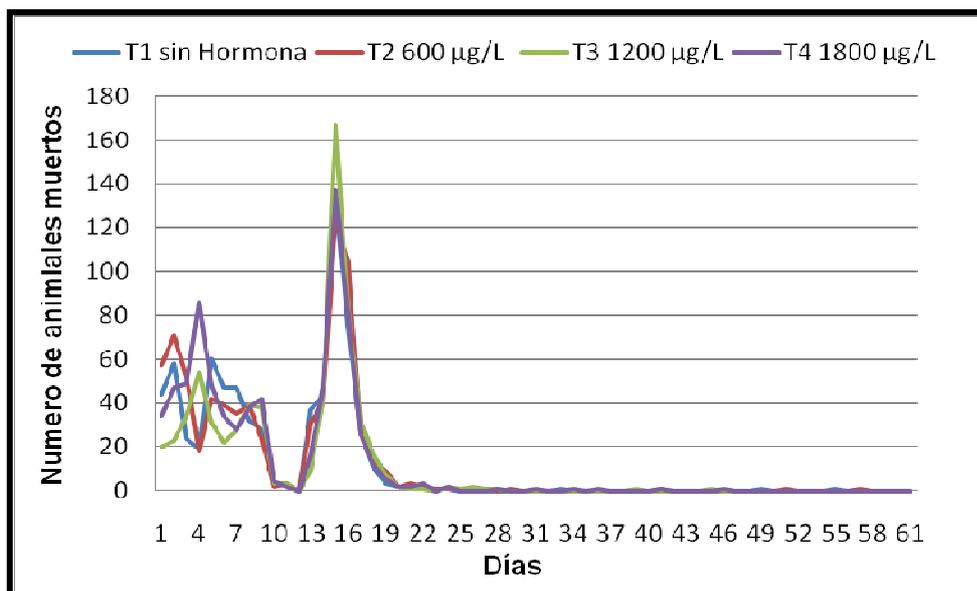
En la gráfica citada, se observa que la tasa de supervivencia larval más alta, la presentó el T3, y la más baja la presentan los tratamientos 2 y 4.

De acuerdo con el INPA, citado por López, Carvajal y Botero<sup>35</sup>, para la tilapia roja se reportan valores del 75% de sobrevivencia durante los primeros meses de vida.

En la figura 34, se presenta el comportamiento de la mortalidad durante la investigación (Anexo 15); y se destaca que la mayor mortalidad se presentó entre los días 15 y 16, para todos los tratamientos, debido a los cambios ambientales, principalmente de la temperatura, que se presenta en las piletas destinadas para la fase de alevinaje, las cuales se encuentran dentro de un invernadero; a diferencia de las fases de incubación y reabsorción del saco vitelino, en las que la temperatura se puede controlar, manteniendo este parámetro en condiciones estables, con la ayuda de una caja de control.

<sup>35</sup> LÓPEZ, CARVAJAL Y BOTERO. Op. cit., p. 8.

**Figura 34. Comportamiento de la mortalidad durante la investigación**



López, Carvajal y Botero<sup>36</sup> reportan la sobrevivencia a partir de la fase de larvicultura: 76,9% y 83% correspondientes al tratamiento para la inducción sexual con la hormona 17 alfa-metiltestosterona incluida en el alimento y el tratamiento por inmersión de larvas respectivamente; sin diferencia estadística significativa, lo cual indica que la hormona no influye en mortalidad (Tabla 10). La sobrevivencia reportada en ésta investigación, tomada desde la fase de larvicultura hasta alevinaje; es levemente mayor a la reportada por los autores citados, dato que corresponde a un 84,6% de sobrevivencia (Tabla 9).

**Tabla 10. Sobrevivencia para los tratamientos de inducción sexual**

Tratamiento	Nº inicial de individuos	Nº final de individuos	Nº de individuos muertos	Sobrevivencia (%)	Mortalidad (%)
Alimento	720	554	166	76,9	23,06
Inmersión	540	448	92	83	17,04

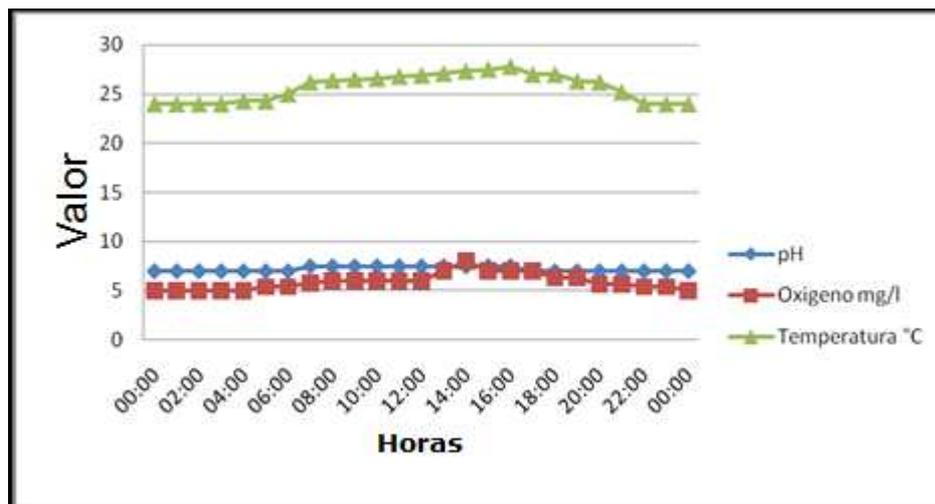
Ibíd., p. 6.

<sup>36</sup> López, Carvajal y Botero. Op. cit., p. 6.

## 6.4 CALIDAD DEL AGUA

**6.4.1 Comportamiento de los parámetros promedios del agua en estanque de reproducción.** Al evaluar la calidad fisicoquímica del agua, como se observa en la Figura 35 (Anexo 16), en el estanque de reproducción, se puede apreciar que en horas de la tarde se presentan las temperaturas más altas, alcanzando los 27,8°C, de la misma manera los niveles más altos para pH y oxígeno, debido a que la iluminación solar es más intensa y por ende la actividad fotosintética. En horas de la madrugada se presenta un descenso del oxígeno, teniendo los niveles más bajos que llegan hasta los 5,0 mg/L, desde las 0 horas hasta las 6am, así mismo para los valores de temperatura con reducciones que llegan hasta los 24°C, el pH presenta los niveles más altos entre las 7am y las 4 pm, llegando a valores de 7.5, pero en general no se presentan fluctuaciones severas.

**Figura 35. Comportamiento de los parámetros promedios del agua en el estanque de reproducción**



**6.4.2 Comportamiento de parámetros promedios del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje.** Se tomó registros diarios de los parámetros fisicoquímicos del agua descritos en la Tabla 11; durante la fase de inmersión, incubación, reabsorción del saco vitelino o larvicultura y alevinaje (Anexo 17).

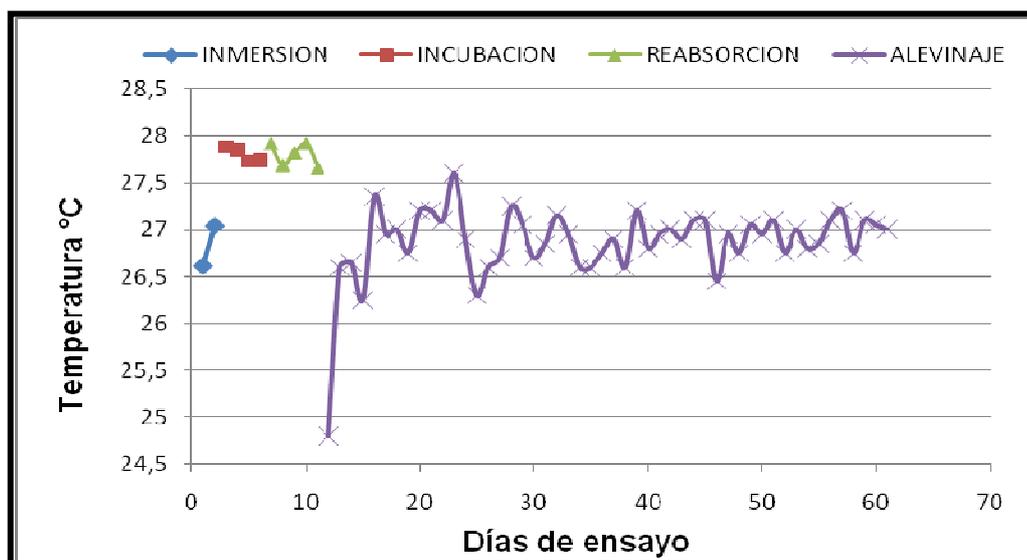
**Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**

PARAMETROS	Inmersión	Incubación	Larvicultura	Alevinaje
Temperatura °C	26,83±0,30	27,80±0,08	27,80±0,12	26,87±0,40
Oxígeno mg/L	6,30±0,04	6,36±0,16	6,17±0,02	6,75±0,26
pH	8,15±0,49	7,59±0,08	7,50±0,00	7,76±0,05

Se destaca que para las fases de inmersión, incubación, reabsorción del saco vitelino o larvicultura, se manejó un sistema de recirculación a diferencia de la fase de alevinaje.

Las variaciones de temperatura fueron dadas en mayor parte por los cambios ambientales (Figura 36); El dato mínimo registrado durante toda la investigación se presentó en el día 12 que corresponde al primer día de la etapa de alevinaje con 24,8°C; el valor máximo se registró en los días 7 y 10 que corresponden a la etapa de larvicultura con 27,92°C.

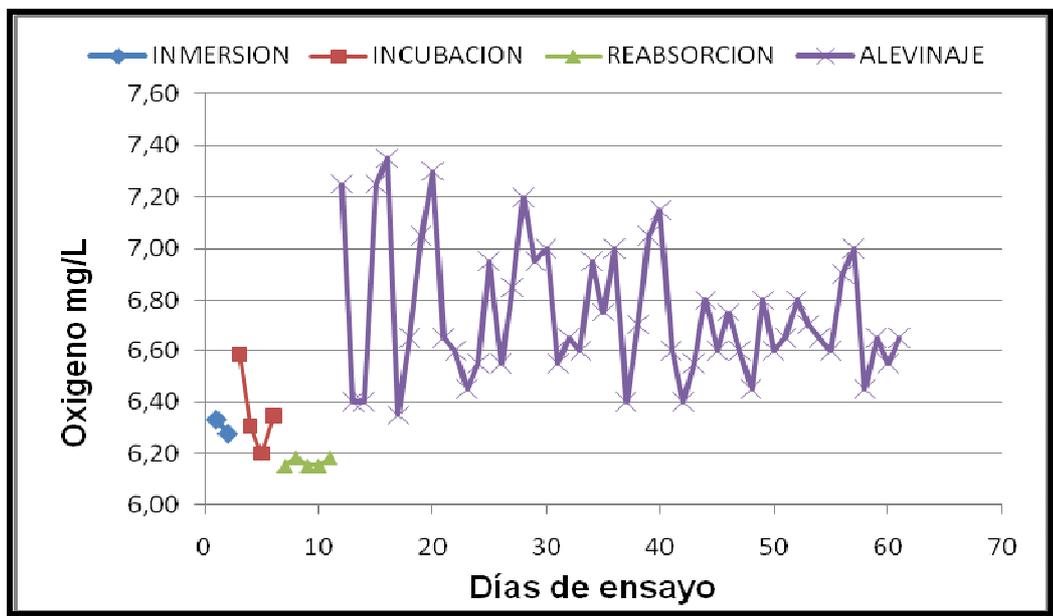
**Figura 36. Comportamiento de la temperatura en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**



Durante la investigación, la fluctuación en los niveles de oxígeno (Figura 37), tiene una influencia directa de la radiación solar presentada durante el día y la cantidad de sólidos en suspensión, materia orgánica y algas que pudo presentar el agua. Existe una relación inversa en cuanto a los niveles de oxígeno, respecto a las cantidades de materia orgánica en suspensión, por lo tanto a un mayor contenido de materia orgánica en el agua, la cantidad de oxígeno es menor. El dato mínimo registrado durante toda la investigación se

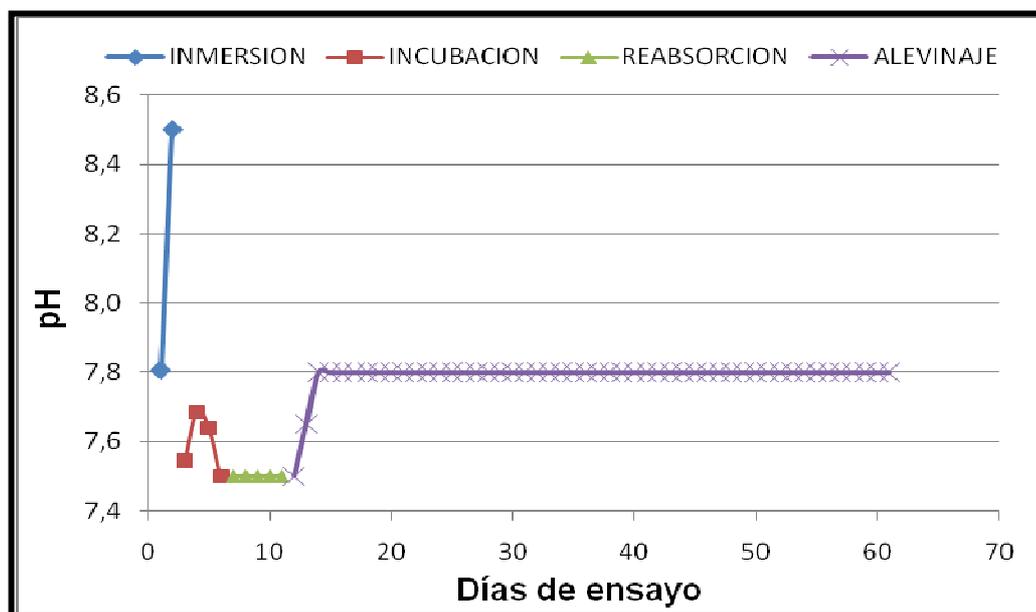
presentó en la etapa de alevinaje, reportando 6,15 mg/L; el valor máximo se registró en el día 16 que corresponde a la etapa de larvicultura con 7,35 mg/L.

**Figura 37. Comportamiento del oxígeno en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**



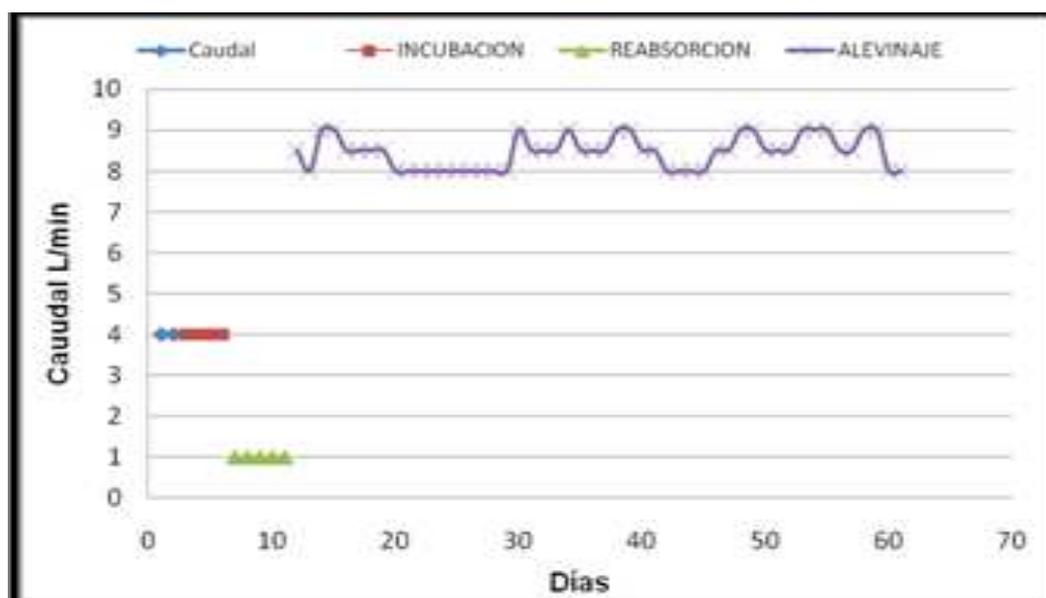
Los valores de pH, suelen variar en gran medida por las lluvias o sequias; ya que según el grado de concentración o difusión de sales en el agua, éste aumentara o disminuirá. Por lo general en los periodos de sequias el agua es más dura y ésta disminuye en épocas de lluvia. Cabe destacar que los datos reportados para esta variable se estabilizaron en la etapa de alevinaje a partir del día 14 reportando un valor de 7,8 (Figura 38).

**Figura 38. Comportamiento del pH en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**



**6.4.3 Caudal.** Se manejó un flujo de agua constante con un caudal de 4,0 L/min en las etapas de inmersión e incubación, un caudal de 1,0 L/min en larvicultura y un caudal promedio de 8,5 L/min en alevinaje como se puede observar en la figura 39 (Anexo 18).

**Figura 39. Comportamiento del caudal en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**



## 6.5 RELACION BENEFICIO / COSTO

Para determinar la relación beneficio costo, se tuvo en cuenta el precio de venta de los alevinos, según su peso (g) (Anexo 19) y los costos de huevos de tilapia, alimento, etanol, hormona 17 alfa-metiltestosterona, azul de metileno, reactivo para medir pH, materiales y equipos y mano de obra (Anexo 20).

Se determinó que el mejor índice fue presentado por el tratamiento T2 (Tabla 12), con un valor de 3,15; para los tratamientos T1, T3 y T4 se obtuvo valores de 0,84; 1,54 y 1,86 respectivamente como se muestra en la figura 35. Al confrontar la relación beneficio costo, entre el mejor tratamiento T2 y los tratamientos T1, T3 y T4; se encontró una diferencia de 2,31; 1,61 y 1,29 pesos, respectivamente. Por cada peso invertido, utilizando la técnica de inmersión y con una dosis igual a la utilizada en el tratamiento T2 se obtendrán 3,15 pesos, lo que permitiría al productor obtener una mayor tasa de retorno del dinero invertido y recuperar la inversión en un menor tiempo. Además se puede garantizar un porcentaje de inducción sexual mayor o igual que el método normalmente utilizado, el cual incluye la hormona en el alimento a suministrar por varios días.

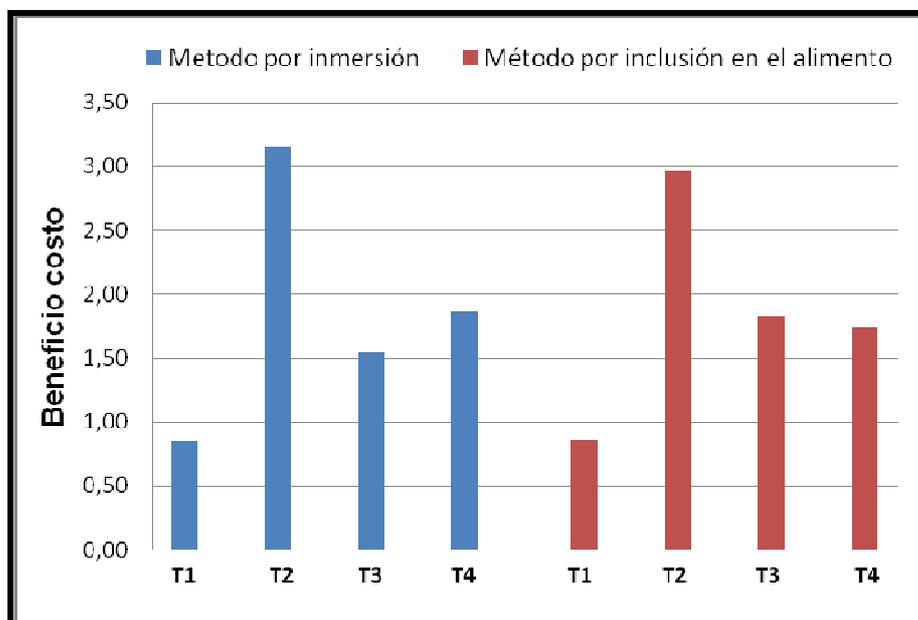
Al comparar la relación beneficio costo, entre el método aplicado en ésta investigación (0 mg/L, 0,6 mg/L, 1,2 mg/L y 1,8 mg/L) y el método de inducción sexual por inclusión de la hormona en el alimento; se tuvo en cuenta los mismos rubros; destacando la dosis de hormona, utilizada en el alimento que corresponde a 60 mg/kg (ANEXO 22).

**Tabla 12. Beneficio costo para los métodos de inmersión e inclusión de la hormona en el alimento**

<b>Tratamiento inmersión</b>	<b>Beneficio costo</b>	<b>Tratamiento alimento</b>	<b>Beneficio costo</b>
T1 0mg/L	0,84	T1 0mg/Kg	0,86
T2 0,6 mg/L	3,15	T2 60mg/Kg	2,96
T3 1,2 mg/L	1,54	T3 60mg/Kg	1,83
T4 1,8 mg/L	1,86	T4 60mg/Kg	1,74

Al evaluar la relación beneficio costo entre los dos métodos (Figura 40) (Anexo 21 y 23) y con la misma cantidad de alevinos a inducir, se determinó que los mejores resultados para ésta variable se presentan en el T2 y que existe una diferencia entre los dos métodos mencionados; teniendo en cuenta que el mejor valor se obtiene con el primer método (inmersión).

**Figura 40. Relación beneficio-costo para el método de inmersión y el método por inclusión en el alimento**



Al evaluar la cantidad de hormona y etanol a utilizar en los dos métodos de inducción sexual; se destaca que para el primer método se requiere 280,4 mg de hormona, con 234 ml de etanol, mientras que en el segundo método se utiliza 386,7 mg de hormona con 3221 ml de etanol, logrando una diferencia entre los dos métodos de \$ 17330 a favor del tratamiento de reversión por inmersión, lo que representa un 4,3% por debajo de los costos causados por el método de inducción por alimento.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- El mayor porcentaje de machos, se obtuvo en el tratamiento T4 95%; comparado con los tratamientos T1 59 %, T2 91% y T3 81%.
- El método aplicado en los tratamientos T2, T3 y T4 incrementa el porcentaje de machos obtenidos respecto al T1; en un 55%, 38% y 62% respectivamente.
- Para la variable peso promedio de larvas se encontró que existen diferencias significativas entre la media de los tratamientos y que los mejores tratamientos para esta variable son T2 y T3 los cuales reportan un peso promedio de  $0,137 \pm 0,00055$  g y  $0,138 \pm 0,00055$  g respectivamente. En la variable talla promedio de las larvas no se reportan diferencias significativas entre la media de los tratamientos; para esta variable se obtuvo los siguientes datos: T1  $0,975 \pm 0,0024608$  cm; T2  $0,978 \pm 0,0024608$  cm; T3  $0,986 \pm 0,0024608$  cm y T4  $0,980 \pm 0,0024608$ cm.
- La variable peso promedio de alevinos demuestra que existen diferencias significativas entre los tratamientos y que el mejor tratamiento para esta variable es el T2 con un valor promedio de  $11,820 \pm 0,1131$  g. Para la variable talla promedio de alevinos se reportó que existen diferencias significativas entre los tratamientos y que el mejor es el T2 que reporta un valor de  $7,078 \pm 0,0539$  cm.
- Con los resultados obtenidos en la variable porcentaje de eclosión se establece que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y que el mejor resultado se obtuvo en el tratamiento T3 con un 95,63% de eclosión.
- Existen diferencias significativas entre los tratamientos para la variable porcentaje de sobrevivencia; el mejor tratamiento es el T3 que reporta un 77,8%, durante los 61 días de investigación. La sobrevivencia reportada a partir de la fase de larvicultura; es del 84,6%.
- El mejor índice beneficio costo para el método de inducción sexual por inmersión, lo presentó el T2, con un valor de 3,15; para el T4 1,86; T3 1,54 y finalmente un valor de 0,84 para T1. Por lo tanto el método resulta ser económicamente viable.
- El método aplicado en esta investigación para la inducción sexual cumple la misma función que el método tradicional, el cual incluye la hormona 17 alfa-metiltestosterona en el alimento.

- La utilización del método por inmersión presenta un menor riesgo ambiental, si se tiene en cuenta que la concentración de la hormona en el agua medida en mg/L es inferior (1,8 mg/L), con respecto a la cantidad utilizada 60 mg/kg de alimento concentrado. Adicionalmente los volúmenes de agua empleados son menores, lo que supondría que los residuos hormonales causados por este tratamiento son más bajos respecto del tratamiento por alimento.
- Se destaca la reducción del tiempo de exposición de la especie y operarios a los esteroides, dado que sólo se realiza una sola vez y con una concentración muy inferior a lo que correspondería a la inclusión de la hormona en el alimento. Esto se hace más evidente en granjas donde la mezcla de la hormona con el alimento se realiza manualmente.
- Por el mayor porcentaje de machos obtenidos; se recomienda el tratamiento T4, el cual presenta un índice relación beneficio costo de 3,15.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Ajustar la dosis de hormona y/o el tiempo de exposición; aplicados en la inmersión; con el propósito, de lograr un porcentaje de inducción sexual mayor al obtenido en ésta investigación.
- Manejar ésta técnica de inmersión, con un mayor número de embriones, que los utilizados en esta investigación, para evaluar el efecto de la hormona en el porcentaje de machos obtenidos.
- Evaluar la inducción sexual por inmersión utilizando otras hormonas masculinizantes como 11 ketotestosterona, 17 etinilttestosterona, testosterona-propionato, Androsterona, metil-androstadiol, entre otros, para determinar si se obtienen iguales o mejores resultados.
- Implementar la inmersión, en otras especies en las cuales se usa hormonas para la inducción sexual, para comprobar si éste método es eficaz, como lo es en el caso de la tilapia roja.
- Asegurar que el movimiento de los embriones sea constante y de forma homogénea, al momento de realizar la inmersión y la incubación, simulando el movimiento de rotación que los huevos sufren en la boca de la hembra y así garantizar igualdad de condiciones y obtener óptimos resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

BOTERO, Mónica. Manejo en sistemas de producción acuícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Programa de Zootecnia. Semestre 02-2007. 74. p. Disponible en Internet: <URL: <http://kogi.udea.edu.co/talleres/Produccion%20acuicola/Manpeces%2002-2007.pdf>>.

CAGAUAN, A, ABUCAY, J. Sex reversal of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* by egg immersion technique: the effect of hormone concentration and immersion time 2004 [fecha de acceso: junio 2005]. Disponible en internet:<URL:<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/sta6web/pdf/127.pdf>>.

CANTOR, Fernando. Manual de producción de tilapia. Puebla, México. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla 2007. 135 p. Disponible en Internet: <URL:<http://www.scribd.com/doc/13788369/Manualti>>.

CASTILLO, Fernando. TILAPIA ROJA 2006. Una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito. Alevinos del valle Cali, valle. Colombia. Aquatic depot s.a. de .c.v. Zapopan, Jalisco. México. 124. p. Disponible en Internet: <URL:<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/Colombia/TILAPIAROJA2006.pdf>>.

DÍAZ, N.F. y NEIRA, R. Biotecnología Aplicada a la Acuicultura: Biotecnologías clásicas aplicadas a la reproducción de especies cultivadas. Universidad de Chile, Casilla. Santiago, Chile 2005. 15. p. Disponible en Internet: <URL:<http://www.rcia.puc.cl/Espanol/pdf/32-1/Biotecnologia.pdf>>.

ESPEJO, Carlos. Manejo industrial de las tilapias. American Soybean Assocation. GENIPEZ. San Mateo. Monterrey, Marzo 2001. 23. p. Disponible en Internet: <URL:[http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo\\_industrial\\_de\\_las\\_tilapias.pdf](http://carlosespejo.com.co/articulos/Manejo_industrial_de_las_tilapias.pdf)>.

FITZIMMONS, K. Cultivo de tilapia en sistemas de recirculación. SAGPyA. Estados Unidos 1993. 3. p. Disponible en internet: <URL:[http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_peces/piscicultura/33-tilapia\\_sistemas\\_recirculacion\\_2.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/33-tilapia_sistemas_recirculacion_2.pdf)>.

FITZPATRICK, MS, CONTRERAS-SÁNCHEZ, WM, MILSTON RH, LUCERO, M, FEIST, GW. Steroid immersion for masculinization of tilapia: immersion of tilapia fry in MDT. CRSP Sixteenth Annual Technical Report 1999; 73-74.

GALE, W, FITZPATRICK, M, SCHRECK Carl. Masculinization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through immersion in 17 alfa-methyltestosterone or 17 alfa-methyldihydrotestosterone. CRSP Thirteenth Annual Technical Report 1996; 96-100.

Gobierno En Línea del orden Territorial (GELT). Campoalegre, Capital arrocera del Huila. Disponible en Internet: <URL: <http://www.campoalegre-huila.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m-y1--&m=f>>.

HURTADO, Nicolás., Inversión sexual en tilapias. nH ingenieros consultores. Lima, Perú. 2005. 43. p. Disponible en Internet: <URL:[http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh\\_invsextilapia.pdf](http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_invsextilapia.pdf)>.

LÓPEZ, Carlos; CARVAJAL, Dewin y BOTERO, Mónica. Masculinización de tilapia roja (*Oreochromis sp*) por inmersión utilizando 17 alfa-metiltestosterona. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2007. 9. p. Disponible en Internet: <URL: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a10.pdf>>.

MARTINEZ, Freddy. Curso sobre granjas integrales. Cali, Colombia. Universidad del Valle. 2008. Disponible en Internet: <URL:<http://eidenar.univalle.edu.co/docentes/catedra/docs/fmartinez/CULTIVO%20DE%20LA%20TILAPIA.pps>>.

PRIETO, Camilo y OLIVERA, Martha. Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis sp*. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Antioquia, Grupo de Fisiología y Biotecnología de la Reproducción – Biogénesis. Medellín, Colombia. 2002. 6. p. Disponible en Internet: <URL:<http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/78/77>>.

SAGPyA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Sistemas de recirculación en acuicultura. Argentina. 2006. 4. p. Disponible en internet: <URL:<http://www.produccionbovina.com>>.

SOLARTE GUEVARA, Ana. Evaluación de diferentes densidades de incubación de huevos de tilapia roja (*Oreochromis sp*), mediante un sistema de incubación artificial. Huila, Colombia. 2008. 144. p. Trabajo de grado (Ingeniero en producción acuícola). Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Pecuarias. Departamento de Recursos Hidrobiológicos.

SOLARTE, Carlos; GARCÍA, Hernán e IMUEZ, Marco. Bioestadística: Aplicaciones en Producción y Salud Animal. Distribuciones muestrales y estimación. Centro de publicaciones Universidad de Nariño. San Juan de Pasto – Nariño – Colombia. Primera Edición Febrero de 2009. 301. p. ISBN: 958-9479-39-1.

WOYNAROVICH, E Y HORVÁTH, L. Propagación artificial de peces de aguas templadas: En. Propagación artificial de los peces. Manual para extensionistas. FAO, Doc.Téc.Pesca, (201): Roma. Italia. 1981. 187. p. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fao.org/docrep/005/ac908s/AC908S00.htm#TOC>>.

# **ANEXOS**

### ANEXO 1. Prueba de Brand Snedecor para la variable porcentaje de machos

Respuesta	T1	T2	T3	T4	Total
Éxito	451,00	697,00	626,00	726,00	2.500,00
Fracaso	316,00	65,00	145,00	36,00	562,00
Total	767,00	762,00	771,00	762,00	3.062,00
Pi	0,588	0,915	0,812	0,953	0,816
Pi*a <sub>i</sub>	265,190	637,545	508,270	691,701	2.041,150

$$\chi^2_c = 410,77 > \chi^2_{t(0,95)} = 7,81$$

### ANEXO 2. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable porcentaje de machos obtenidos

Ho = Hipótesis nula

H1 = Hipótesis alterna

TRAT	1	Ho: T1 = T2	
TRAT	2	H1: T1 dif T2	
n1	767	n2	762
x1	451	x2	697
a	0,05		
P1	0,588074	P	0,75063
P2	0,914132		
Z	-14,736	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	2	Ho: T2= T3	
TRAT	3	H1: T2 dif T3	
n1	762	n2	771
x1	697	x2	626
a	0,05		
P1	0,914132	P	0,8626468
P2	0,811743		
Z	5,824	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	1	Ho: T1 = T3	
TRAT	3	H1: T1 dif T3	
n1	767	n2	771
x1	451	x2	626
a	0,05		
P1	0,588074	P	0,700219
P2	0,811743		
Z	-9,573	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	2	Ho: T2 = T4	
TRAT	4	H1: T2 dif T4	
n1	762	n2	762
x1	697	x2	726
a	0,05		
P1	0,914132	P	0,9336333
P2	0,953155		
Z	-3,060	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	1	Ho: T1 = T4	
TRAT	4	H1: T1 dif T4	
n1	767	n2	762
x1	451	x2	726
a	0,05		
P1	0,588074	P	0,76999
P2	0,953155		
Z	-16,958	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	3	Ho: T3= T4	
TRAT	4	H1: T3 dif T4	
n1	771	n2	762
x1	626	x2	726
a	0,05		
P1	0,811743	P	0,8820113
P2	0,953155		
Z	-8,581	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

### ANEXO 3. Análisis de Varianza para la variable peso promedio larvas según Tratamiento

Fuente	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	Coefficiente F	P valor
Entre grupos	2,26667E-7	3	7,55556E-8	8,24	0,0079
Intra grupos	7,33333E-8	8	9,16667E-7		
Total (Corr.)	0,00003	11			

### ANEXO 4. Comparaciones múltiples para la variable peso promedio larvas según Tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey

Tratamiento	Recuento	LS media	LS sigma	Grupos homogéneos
1	3	0,0134	0,0000552771	X
4	3	0,0135	0,0000552771	XX
2	3	0,0137	0,0000552771	XX
3	3	0,0138	0,0000552771	X

**ANEXO 5. Análisis de Varianza para la variable talla promedio larvas según Tratamiento**

Fuente	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	Coefficiente F	P valor
Entre grupos	0,000185583	3	0,0000618611	3,41	0,0736
Intra grupos	0,000145333	8	0,0000181667		
Total (Corr.)	0,000330917	11			

**ANEXO 6. Análisis de Varianza para la variable peso promedio alevinos según Tratamiento**

Fuente	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	Coefficiente F	P valor
Entre grupos	27,2865	3	9,09552	237,06	0,0000
Intra grupos	0,306943	8	0,0383678		
Total (Corr.)	27,5935	11			

**ANEXO 7. Comparaciones múltiples para la variable peso promedio alevinos según Tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey**

Tratamiento	Recuento	LS media	LS sigma	Grupos homogéneos
4	3	8,177	0,11309	X
3	3	8,312	0,11309	X
1	3	8,566	0,11309	X
2	3	11,819	0,11309	X

**ANEXO 8. Análisis de Varianza para la variable talla promedio alevinos según Tratamiento**

Fuente	Suma cuadrados	Grados libertad	Cuadrado medio	Coefficiente F	P valor
Entre grupos	2,01083	3	0,670276	76,78	0,0000
Intra grupos	0,069842	8	0,00873025		
Total (Corr.)	2,08067	11			

**ANEXO 9. Comparaciones múltiples para la variable talla promedio alevinos según Tratamiento. Método: 95,0 porcentaje HSD de Tukey**

Tratamiento	Recuento	LS media	LS sigma	Grupos homogéneos
3	3	6,087	0,0539452	X
4	3	6,152	0,0539452	X
1	3	6,164	0,0539452	X
2	3	7,077	0,0539452	X

**ANEXO 10. Prueba de Brand Snedecor para la variable porcentaje de eclosión**

Respuesta	T1	T2	T3	T4	Total
Éxito	2855	2.802,00	2.869,00	2.784,00	11.310,00
Fracaso	145,00	198,00	131,00	216,00	690,00
Total	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	12.000,00
Pi	0,952	0,934	0,956	0,928	0,943
Pi*a <sub>i</sub>	2.717,008	2.617,068	2.743,720	2.583,552	10.659,675

$$\chi^2_c = 30,883 > \chi^2_{t(0,95)} = 7,81$$

**ANEXO 11. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable porcentaje de eclosión**

Ho = Hipótesis nula

H1 = Hipótesis alterna

TRAT	1	Ho: T1 = T2	
TRAT	2	H1: T1 dif T2	
n1	3000	n2	3000
x1	2855	x2	2802
a	0,05		
P1	0,9516667	P	0,9428
P2	0,934		
Z	2,947	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	2	Ho: T2 = T3	
TRAT	3	H1: T2 dif T3	
n1	3000	n2	3000
x1	2802	x2	2869
a	0,05		
P1	0,934	P	0,9452
P2	0,9563333		
Z	-3,799	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	1	Ho: T1 = T3	
TRAT	3	H1: T1 dif T3	
n1	3000	n2	3000
x1	2855	x2	2869
a	0,05		
P1	0,9516667	P	0,954
P2	0,9563333		
Z	-0,863	<b>LA Ho SE ACEPTA</b>	

TRAT	2	Ho: T2 = T4	
TRAT	4	H1: T2 dif T4	
n1	3000	n2	3000
x1	2802	x2	2588
a	0,05		
P1	0,934	P	0,8983
P2	0,8626667		
Z	9,142	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	1	Ho: T1 = T4	
TRAT	4	H1: T1 dif T4	
n1	3000	n2	3000
x1	2855	x2	2588
a	0,05		
P1	0,9516667	P	0,9072
P2	0,8626667		
Z	11,878	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

TRAT	3	Ho: T3= T4	
TRAT	4	H1: T3 dif T4	
n1	3000	n2	3000
x1	2869	x2	2588
a	0,05		
P1	0,9563333	P	0,9095
P2	0,8626667		
Z	12,645	<b>LA Ho SE RECHAZA</b>	

## ANEXO 12. Número de larvas eclosionadas por día

Día	T0			T1			T2			T3		
	R1	R2	R3									
1	2	1	2	1	2	2	9	8	4	10	10	10
2	3	3	6	4	3	3	50	50	50	50	50	50
3	206	197	193	200	201	204	178	193	198	205	201	204
4	745	748	749	723	734	725	734	698	697	664	690	640
<b>Total</b>	956	949	950	928	940	934	971	949	949	929	951	904

### ANEXO 13. Prueba de Bran Snedecor para sobrevivencia durante la investigación

Respuesta	T1	T2	T3	T4	Total
Éxito	2.297,00	2.255,00	2.335,00	2.249,00	9.136,00
Fracaso	703,00	745,00	665,00	751,00	2.864,00
Total	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	12.000,00
Pi	0,766	0,752	0,778	0,750	0,761
Pi*a <sub>i</sub>	1.758,736	1.695,008	1.817,408	1.686,000	6.955,541

$$\chi^2_c = 8,872 > \chi^2_{t(0,95)} = 7,81$$

### ANEXO 14. Contraste para la diferencia entre dos proporciones para la variable sobrevivencia

Ho = Hipótesis nula

H1 = Hipótesis alterna

TRAT	1	Ho: T1 = T2	
TRAT	2	H1: T1 dif T2	
n1	3000	n2	3000
x1	2297	x2	2255
a	0,05		
P1	0,7656667	P	0,7587
P2	0,7516667		
Z	1,267	LA Ho SE	ACEPTA

TRAT	2	Ho: T2 = T3	
TRAT	3	H1: T2 dif T3	
n1	3000	n2	3000
x1	2255	x2	2335
a	0,05		
P1	0,7516667	P	0,765
P2	0,7783333		
Z	-2,436	LA Ho SE	RECHAZA

TRAT	1	Ho: T1 = T3	
TRAT	3	H1: T1 dif T3	
n1	3000	n2	3000
x1	2297	x2	2335
a	0,05		
P1	0,7656667	P	0,772
P2	0,7783333		
Z	-1,169	LA Ho SE	ACEPTA

TRAT	2	Ho: T2 = T4	
TRAT	4	H1: T2 dif T4	
n1	3000	n2	3000
x1	2255	x2	2249
a	0,05		
P1	0,7516667	P	0,7507
P2	0,7496667		
Z	0,179	LA Ho SE	ACEPTA

TRAT	1		Ho: T1 = T4
TRAT	4		H1: T1 dif T4
n1	3000	n2	3000
x1	2297	x2	2249
a	0,05		
P1	0,7656667	P	0,7577
P2	0,7496667		
Z	1,446		LA Ho SE ACEPTA

TRAT	3		Ho: T3 = T4
TRAT	4		H1: T3 dif T4
n1	3000	n2	3000
x1	2335	x2	2588
a	0,05		
P1	0,7783333	P	0,8205
P2	0,8626667		
Z	-8,511		LA Ho SE RECHAZA

## ANEXO 15. Mortalidad durante la investigación

<b>DIA</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>					
					32	0	0	0	0
1	44	57	20	34	33	1	0	0	0
2	58	71	23	47	34	0	0	0	1
3	24	52	34	49	35	0	0	0	0
4	19	18	54	86	36	0	0	0	1
5	60	42	31	48	37	0	0	0	0
6	47	39	22	34	38	0	0	0	0
7	47	35	28	28	39	0	0	1	0
8	32	39	39	38	40	0	0	0	0
9	28	24	38	42	41	0	1	0	1
10	2	2	3	4	42	0	0	0	0
11	3	3	3	2	43	0	0	0	0
12	0	0	0	0	44	0	0	0	0
13	37	31	9	16	45	0	0	1	0
14	43	40	43	48	46	0	0	0	1
15	133	124	167	137	47	0	0	0	0
16	75	104	82	80	48	0	0	0	0
17	27	26	32	26	49	1	0	0	0
18	11	14	17	12	50	0	0	0	0
19	3	9	7	5	51	0	1	0	0
20	2	2	2	2	52	0	0	0	0
21	1	3	1	2	53	0	0	0	0
22	2	2	1	3	54	0	0	0	0
23	1	1	0	0	55	1	0	0	0
24	1	1	2	2	56	0	0	0	0
25	0	1	1	0	57	0	1	0	0
26	0	0	2	0	58	0	0	0	0
27	0	1	1	0	59	0	0	0	0
28	0	0	1	1	60	0	0	0	0
29	0	1	0	0	61	0	0	0	0
30	0	0	0	0	<b>TOTAL</b>	<b>703</b>	<b>745</b>	<b>665</b>	<b>751</b>
31	0	0	0	1					

**ANEXO 16. Comportamiento de los parámetros promedios del agua en el estanque de reproducción**

<b>Hora</b>	<b>pH</b>	<b>Oxigeno mg/l</b>	<b>Temperatura °C</b>
00:00	7,0	5,0	24,0
01:00	7,0	5,0	24,0
02:00	7,0	5,0	24,0
03:00	7,0	5,0	24,0
04:00	7,0	5,0	24,3
05:00	7,0	5,4	24,3
06:00	7,0	5,4	25,0
07:00	7,5	5,8	26,2
08:00	7,5	6,0	26,4
09:00	7,5	6,0	26,5
10:00	7,5	6,0	26,6
11:00	7,5	6,0	26,8
12:00	7,5	6,0	26,9
13:00	7,5	7,0	27,1
14:00	7,5	8,0	27,3
15:00	7,5	7,0	27,5
16:00	7,5	7,0	27,8
17:00	7,0	7,0	27,0
18:00	7,0	6,3	27,0
19:00	7,0	6,3	26,3
20:00	7,0	5,7	26,2
21:00	7,0	5,7	25,2
22:00	7,0	5,4	24,0
23:00	7,0	5,4	24,0
00:00	7,0	5,0	24,0

**ANEXO 17. Comportamiento de parámetros promedios del agua en las fases de incubación, larvicultura y alevinaje**

<b>DIA</b>	<b>Temp °C</b>	<b>Oxigeno mg/l</b>	<b>pH</b>				
1	26,62	6,33	7,81	31	26,85	6,55	7,80
2	27,04	6,28	8,50	32	27,15	6,65	7,80
3	27,88	6,58	7,55	33	26,95	6,60	7,80
4	27,85	6,31	7,68	34	26,60	6,95	7,80
5	27,73	6,20	7,64	35	26,60	6,75	7,80
6	27,74	6,35	7,50	36	26,75	7,00	7,80
7	27,92	6,15	7,50	37	26,90	6,40	7,80
8	27,69	6,18	7,50	38	26,60	6,70	7,80
9	27,82	6,15	7,50	39	27,20	7,05	7,80
10	27,92	6,15	7,50	40	26,80	7,15	7,80
11	27,66	6,18	7,50	41	26,95	6,60	7,80
12	24,80	7,25	7,50	42	27,00	6,40	7,80
13	26,60	6,40	7,65	43	26,90	6,55	7,80
14	26,65	6,40	7,80	44	27,10	6,80	7,80
15	26,25	7,25	7,80	45	27,10	6,60	7,80
16	27,35	7,35	7,80	46	26,45	6,75	7,80
17	26,95	6,35	7,80	47	26,95	6,60	7,80
18	27,00	6,65	7,80	48	26,75	6,45	7,80
19	26,75	7,05	7,80	49	27,05	6,80	7,80
20	27,20	7,30	7,80	50	26,95	6,60	7,80
21	27,20	6,65	7,80	51	27,10	6,65	7,80
22	27,10	6,60	7,80	52	26,75	6,80	7,80
23	27,60	6,45	7,80	53	27,00	6,70	7,80
24	26,90	6,55	7,80	54	26,80	6,65	7,80
25	26,30	6,95	7,80	55	26,85	6,60	7,80
26	26,60	6,55	7,80	56	27,10	6,90	7,80
27	26,70	6,85	7,80	57	27,20	7,00	7,80
28	27,25	7,20	7,80	58	26,75	6,45	7,80
29	27,05	6,95	7,80	59	27,10	6,65	7,80
30	26,70	7,00	7,80	60	27,05	6,55	7,80
				61	27,00	6,65	7,80

### ANEXO 18. Registro de caudales durante la investigación

<u>DIA</u>	<u>Caudal mg/L</u>		
		31	8,5
1	4,0	32	8,5
2	4,0	33	8,5
3	4,0	34	9,0
4	4,0	35	8,5
5	4,0	36	8,5
6	4,0	37	8,5
7	1,0	38	9,0
8	1,0	39	9,0
9	1,0	40	8,5
10	1,0	41	8,5
11	1,0	42	8,0
12	8,5	43	8,0
13	8,0	44	8,0
14	9,0	45	8,0
15	9,0	46	8,5
16	8,5	47	8,5
17	8,5	48	9,0
18	8,5	49	9,0
19	8,5	50	8,5
20	8,0	51	8,5
21	8,0	52	8,5
22	8,0	53	9,0
23	8,0	54	9,0
24	8,0	55	9,0
25	8,0	56	8,5
26	8,0	57	8,5
27	8,0	58	9,0
28	8,0	59	9,0
29	8,0	60	8,0
30	9,0	61	8,0

**ANEXO 19. Precio de venta de los alevinos, según el peso (g)**

Peso alevino (g)	Precio de venta (\$)
2	60
5	90
8	130
11	200

**ANEXO 20. Costos de los tratamientos con el método de inmersión**

- R Rubro  
 1 Huevos de tilapia  
 2 Alimento (Kg)  
 3 Hormona (mg)  
 4 Etanol (ml)  
 5 Azul de metileno (ml)  
 6 Reactivo para pH (ml)  
 7 Materiales y equipos  
 8 Mano de obra (días)

R	T1			T2			T3			T4		
	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)
1	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200
2	2500	2,0	4939	2500	2,7	6652	2500	1,9	4845	2500	1,8	4610
3	0	0	0	15	46,8	702	15	93,6	1404	15	140	2106
4	0	0	0	6	78	468	6	78	468	6	78	468
5	12,5	25	5000	12,5	25	5000	12,5	25	5000	12,5	25	5000
6	17,9	70	1250	17,9	70	1250	17,9	70	1250	17,9	70	1250
7	299	82,8	24744	299	82,8	24744	299	82,8	24744	299	82,8	24744
8	5000	11	55000	5000	11	55000	5000	11	55000	5000	11	55000
<b>TOTAL \$</b>			<b>95133</b>			<b>98016</b>			<b>96911</b>			<b>97378</b>

### ANEXO 21. Relación beneficio costo en el método de inmersión

Tratamiento	Costo total \$	N° alevinos machos	Precio alevinos \$	Ingreso Bruto \$	Ingreso Neto \$	Beneficio costo
T1 0 µg/L	95132,6	1350	130	175500	80367	0,84
T2 600 µg/L	98016,3	2035	200	407000	308984	3,15
T3 1200 µg/L	96911,1	1896	130	246480	149569	1,54
T4 1800 µg/L	97378,5	2142	130	278460	181082	1,86

### ANEXO 22. Costos de los tratamientos con el método de inclusión de la hormona en el alimento

- R Rubro  
 1 Huevos de tilapia  
 2 Alimento (Kg)  
 3 Hormona (mg)  
 4 Etanol (ml)  
 5 Azul de metileno (ml)  
 6 Reactivo para pH (ml)  
 7 Materiales y equipos  
 8 Mano de obra (días)

R	T1			T2			T3			T4		
	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)	costo/und (\$)	und	costo total (\$)
1	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200	1,4	3000	4200
2	2500	2,0	4939	2500	2,7	6652	2500	1,9	4845	2500	1,8	4610
3	0	0	0	15	159,7	2395	15	116	1744	15	110	1659
4	0	0	0	6	1330	7982	6	969	5814	6	922	5532
5	0	25	5000	12,5	25	5000	12,5	25	5000	12,5	25	5000
6	17,9	70	1250	17,9	70	1250	17,9	70	1250	17,9	70	1250
7	316	76,5	24198	316	76,5	24198	316	76,5	24198	316	76,5	24198
8	5000	11	55000	5000	11	55000	5000	11	55000	5000	11	55000
<b>TOTAL \$</b>			<b>94587</b>			<b>106678</b>			<b>102052</b>			<b>101451</b>

**ANEXO 23. Relación beneficio costo en el método de inclusión de la hormona en el alimento**

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo total \$</b>	<b>N° alevinos machos</b>	<b>Precio alevinos \$</b>	<b>Ingreso Bruto \$</b>	<b>Ingreso Neto \$</b>	<b>Beneficio costo</b>
T1 0 mg/Kg	94587	1350	130	175500	80913	0,86
T2 60 mg/Kg	106678	2114	200	422800	316122	2,96
T3 60 mg/Kg	102052	2218	130	288340	186288	1,83
T4 60 mg/Kg	101451	2136	130	277680	176229	1,74