

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

INFLUENCIA DE ALIMENTACIÓN HORMONAL EN LA REVERSIÓN SEXUAL Y CRECIMIENTO DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis spp*)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

LUIS MIGUEL ANASI PACHACAMA
migue_ap83@hotmail.com

DIRECTOR: Dr. Héctor Gribaldo Erazo
biohector-peces@hotmail.com

CO-DIRECTOR: Ing. Mauricio Mosquera, PhD.
mauricio.mosquera@epn.edu.ec

Quito, agosto 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Luis Miguel Anasi Pachacama, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

LUIS MIGUEL ANASI PACHACAMA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Miguel Anasi Pachacama, bajo mi supervisión.

Dr. Héctor Gribaldo Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Mauricio Mosquera, PhD.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio logístico del GAD de la Provincia de Pichincha, por parte de la Unidad de Investigación y Transferencia Tecnológica San Marcos.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme vivir este momento y cumplir con el sueño propuesto al iniciar esta gran carrera.

A mi madre y padre, Magdalena y Gonzalo, por estar junto a mi en cada momento de mi vida brindandome su apoyo incondicional, por transmitirme esa fuerza para continuar siempre para adelante, por su pacencia y amor que me tienen y por ser unas personas increíbles dignas de admirar e imitar.

A mis hermanos, Alex y Francisco, por ser personas que siempre me brindaron su apoyo y cariño incondicional.

A mis sobrinos, Gabriel y Samuel, por ser mi inspiración para culminar este gran reto que me puse en mi vida.

A mi director de tesis Dr. Héctor Erazo por su paciencia, confianza y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A Julia, por tener esa confianza en mi y saberme comprender es esos momentos difíciles que he pasado.

A todos mis familiares y amigos por su gran paciencia y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres, Magdalena y Gonzalo, este es el resultado de su constante esfuerzo y trabajo.

A mis hermanos Alex y Francisco, por creer siempre en mi y apoyarme en todo momento

A mis sobrinos, Gabriel y Samuel, que son la más grande inspiración que he podido tener.

“El peor fracaso en la vida es no intentar nada”

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xii
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Producción de tilapia roja (<i>Oreochromis spp</i>)	1
1.1.1 Tilapia roja (<i>Oreochromis spp</i>)	1
1.1.2 Descripción taxonómica	1
1.1.3 Características generales de la tilapia roja	2
1.1.4 Ciclo de vida de la tilapia	2
1.1.5 Parámetros de producción de tilapia roja	3
1.1.5.1 Temperatura	4
1.1.5.2 Turbidez	4
1.1.5.3 Oxígeno	4
1.1.5.4 pH	5
1.1.5.5 Alcalinidad y dureza total	5
1.1.5.6 Dióxido de carbono (CO ₂)	6
1.1.5.7 Amonio	6
1.1.5.8 Nitritos y nitratos	6
1.1.5.9 Gases tóxicos	6
1.1.5.10 Cloro	7
1.1.5.11 Metales pesados	7
1.1.5.12 Sólidos en suspensión	7
1.1.6 Etapas de producción de tilapia roja	7
1.1.6.1 Pre-cría	7
1.1.6.2 Levante	8
1.1.6.3 Engorde	8
1.1.7 Sistemas de producción de tilapia roja	8
1.1.7.1 Sistema extensivo	8
1.1.7.2 Sistema semi-intensivo	8
1.1.7.3 Sistema intensivo	9
1.1.7.4 Sistema super-intensivo	9
1.1.8 Alimentación	9
1.1.8.1 Manejo del alimento	10
1.1.8.2 Tasa de alimentación	10
1.1.8.3 Horario y frecuencia de alimentación	11
1.1.8.4 Técnicas de alimentación	12

1.1.9	Índices de eficacia de la utilización del alimento	12
1.1.9.1	Incremento de peso	12
1.1.9.2	Índice de conversión	13
1.1.9.3	Índice de eficiencia proteica	13
1.1.10	Reproducción	13
1.1.10.1	Selección y diferenciación sexual de reproductores	14
1.1.10.2	Mantenimiento y siembra de reproductores	15
1.1.10.3	Ciclo de reproducción en la obtención de alevines	15
1.1.11	Problemática de la reproducción	17
1.1.12	Métodos para conrolar la reproducción de tilapia	17
1.1.13	Infraestructura en la producción de tilapia	17
1.1.13.1	Estanques rústicos	18
1.1.13.2	Estanques circulares	18
1.1.13.3	Jaulas flotantes	19
1.1.14	Factores determinates en el diseño de una piscifactoria	19
1.2	Reversión sexual	20
1.2.1	Andrógenos	20
1.2.2	Acción hormonal	21
1.2.3	Andrógenos utilizados en la reversión sexual	22
1.2.4	Metodología para la reversión sexual	22
1.2.4.1	Selección de reproductores	23
1.2.4.2	Obtención, selección y conteo de larvas	23
1.2.4.3	Selección del esteroide	24
1.2.4.4	Preparación del alimento hormonal	24
1.2.4.5	Administración de hormona y frecuencia de alimentación	25
1.2.4.6	Dosis y tiempos de administración del alimento hormonado	25
1.2.4.7	Técnicas de verificación de la reversión sexual	25
1.2.5	Factores que afectan el proceso de reversión sexual	26
1.2.5.1	Talla inicial del pez	26
1.2.5.2	Talla mínima post-tratamiento	27
1.2.5.3	Duración mínima del tratamiento	27
1.2.6	Riesgo de consumo de peces tratados con 17α -metiltestosterona	28
1.3	Elaboración de alimento balanceado	28
1.3.1	Requerimientos nutricionales de la tilapia roja	29
1.3.1.1	Proteína y aminoácidos	29
1.3.1.2	Carbohidratos	30
1.3.1.3	Lípidos	30
1.3.1.4	Fibra	30
1.3.1.5	Vitaminas y minerales	31
1.3.2	Materias primas usadas en la elaboración de alimento balanceado	31
1.3.3	Procesos de elaboración de balanceado	32

1.3.3.1 Molienda	32
1.3.3.2 Mezclado	32
1.3.3.3 Extrusión	33
1.3.3.4 Secado	33
1.3.3.5 Ensaque	33
1.3.3.6 Almacenamiento	33
2 PARTE EXPERIMENTAL	34
2.1 Localización del proyecto	34
2.2 Características de la unidad experimental	34
2.3 Caracterización física y química del alimento	34
2.4 Plan de alimentación	35
2.4.1 Ingredientes utilizados para la preparación del alimento hormonal	35
2.4.2 Preparación del alimento hormonal	35
2.4.3 Determinación de la tabla y frecuencia de alimentación	36
2.5 Selección del mejor tratamiento	37
2.5.1 Diseño experimental	37
2.5.1.1 Tratamiento 1	37
2.5.1.2 Tratamiento 2	38
2.5.1.3 Tratamiento 3	38
2.5.1.4 Control	38
2.5.2 Etapa de reversión sexual de tilapia roja	39
2.5.2.1 Preparación y adecuación de instalaciones	39
2.5.2.2 Construcción de bastidores para reversión sexual	39
2.5.2.3 Obtención de larvas	39
2.5.2.4 Selección de larvas	40
2.5.2.5 Conteo de larvas	41
2.5.2.6 Distribución de las larvas en los bastidores	42
2.5.3 Control de los parámetros fisicoquímicos del agua en el proceso de reversión sexual	42
2.5.4 Control de crecimiento y mortalidad en la reversión sexual	43
2.5.5 Determinación del porcentaje de reversión sexual	43
2.5.6 Etapa de crecimiento y engorde de la tilapia roja	44
2.5.6.1 Control de parámetros fisicoquímicos del agua	44
2.5.6.2 Plan de alimentación en la etapa de crecimiento y engorde de tilapia	45
2.5.6.3 Control de crecimiento y mortandad en la etapa de crecimiento y engorde	45

2.6	Diseño de instalaciones	47
2.6.1	Dimensionamiento de las instalaciones	47
2.6.2	Distribución de los estanques	47
2.7	Análisis de costos	47
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
3.1	Análisis de la reversión sexual	48
3.1.1	Factores de estudio de la reversión sexual	48
3.1.1.1	Calidad del agua	48
3.1.1.2	Talla	53
3.1.1.3	Peso	54
3.1.2	Plan de alimentación en la reversión sexual	54
3.1.2.1	Caracterización del alimento	54
3.1.2.2	Ración alimenticia y frecuencias de alimentación	55
3.1.3	Proporción sexual	60
3.1.4	Crecimiento y mortalidad de larvas en el proceso de reversión sexual	64
3.1.4.1	Incremento de peso	64
3.1.4.2	Incremento de talla	66
3.1.4.3	Mortalidad	69
3.2	Análisis del cultivo de tilapia en la etapa de pre-engorde y engorde	71
3.2.1	Calidad del agua	71
3.2.1.1	Temperatura	72
3.2.1.2	Oxígeno	74
3.2.1.3	pH	76
3.2.1.4	Turbidez	78
3.2.1.5	Total sólidos disueltos	80
3.2.2	Plan de alimentación para producción de tilapia	82
3.2.2.1	Raciones y frecuencias de alimentación	82
3.2.3	Factores de crecimiento del cultivo de tilapia roja	85
3.2.3.1	Peso promedio	85
3.2.3.2	Talla promedio	86
3.2.4	Análisis del desarrollo del cultivo de tilapia	87
3.2.4.1	Incremento de peso	87
3.2.4.2	Biomasa obtenida	93
3.2.4.3	Mortalidad	93
3.3	Costos	96
3.4	Diseño de la unidad de producción de alevines	97

3.4.1 Programación de la producción de alevines	97
3.4.2 Dimensionamiento de estanques	99
3.4.2.1 Estanque de reversión y alevinaje	99
3.4.2.2 Tanques de incubación de ovas de tilapia	99
3.4.2.3 Tanque de distribución de agua	100
3.4.3 Diseño de la planta de producción de alevines	101
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
4.1 Conclusiones	105
4.2 Recomendaciones	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Efecto de las diferentes concentraciones de oxígeno en el pez	5
Tabla 1.2 Dureza del agua según la concentración de CaCO ₃	5
Tabla 1.3 Concentraciones de gases óptimas para el cultivo de tilapia	7
Tabla 1.4 Tasa de alimentación para tilapia	11
Tabla 1.5 Duración del ciclo de reproducción de tilapia a diferentes rangos de temperatura del agua	16
Tabla 1.6 Porcentaje de machos con diferentes hormonas, dosis y tiempos de tratamiento	25
Tabla 1.7 Requerimientos de proteína según el peso	29
Tabla 1.8 Relación proteína-grasa	30
Tabla 1.9 Requerimientos de vitaminas y minerales en la dieta de tilapia	31
Tabla 1.10 Principales materias primas de alimentos balanceados	32
Tabla 2.1 Ingredientes utilizados en la preparación del alimento hormonal	35
Tabla 2.2 Representación gráfica del diseño experimental planteado	38
Tabla 2.3 Esquema de toma de muestras para peso y talla de tilapia	46
Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos del agua	48
Tabla 3.2 Análisis de varianza de la temperatura a los 35 días	49
Tabla 3.3 Análisis de varianza del oxígeno a los 35	50
Tabla 3.4 Análisis de varianza del pH a los 35 días	51
Tabla 3.5 Análisis de varianza de la turbidez a los 35 días	52
Tabla 3.6 Análisis de varianza de los TDS a los 35 días	52
Tabla 3.7 Análisis Bromatológico de alimento balanceado	55
Tabla 3.8 Cantidad de alimento suministrada por tratamiento en el proceso de reversión	57

Tabla 3.9 Masculinización de los peces al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metilttestosterona	60
Tabla 3.10 Análisis de varianza en la masculinización de los peces	61
Tabla 3.11 Grupos Homogéneos en la masculinización de los peces	62
Tabla 3.12 Incremento de peso de tilapia por tratamiento	64
Tabla 3.13 Análisis de varianza en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 35 días	65
Tabla 3.14 Grupos Homogéneos en el incremento de peso alcanzada por los peces a los 35 días	65
Tabla 3.15 Incremento de talla en larvas de tilapia por tratamiento	67
Tabla 3.16 Análisis de varianza del incremento de talla de los peces a los 35 días	67
Tabla 3.17 Grupos Homogéneos en el incremento de talla alcanzada por los peces a los 35 días	68
Tabla 3.18 Mortalidad del proceso de reversión sexual por tratamiento	69
Tabla 3.19 Análisis de varianza de la mortalidad de los peces a los 35 días	70
Tabla 3.20 Grupos Homogéneos en la mortalidad de los peces a los 35 días	70
Tabla 3.21 Análisis de varianza de la temperatura durante los 260 días	73
Tabla 3.22 Análisis de varianza del oxígeno durante los 260 días	76
Tabla 3.23 Análisis de varianza del pH durante los 260 días	78
Tabla 3.24 Análisis de varianza de la turbidez durante los 260 días	80
Tabla 3.25 Análisis de varianza del TDS durante los 260 días	82
Tabla 3.26 Raciones alimenticias para los tratamientos 1, 2, 3 y control en la etapa de crecimiento y engorde de tilapia	83
Tabla 3.27 Pesos promedios de tilapia obtenidos por tratamiento	85
Tabla 3.28 Tallas promedio de tilapia obtenidas por tratamiento	86
Tabla 3.29 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 1	87
Tabla 3.30 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 2	88

Tabla 3.31 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 3	89
Tabla 3.32 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 4	90
Tabla 3.33 Análisis de varianza en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 260 días	92
Tabla 3.34 Grupos Homogéneos en el peso alcanzada por los peces a los 260 días	92
Tabla 3.35 Biomasa generada por los tratamientos en el cultivo de tilapia	93
Tabla 3.36 Mortalidad de los peces a los 260 días	94
Tabla 3.37 Análisis de varianza en la mortalidad de los peces a los 260 días	95
Tabla 3.38 Costos de producción de los tratamientos	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura de la testosterona	21
Figura 1.2 Porcentaje de reversión sexual en función de la talla inicial de tratamiento	26
Figura 1.3 Porcentaje de reversión sexual en función de la talla post-tratamiento	27
Figura 2.1 Recolección de larvas de tilapia para reversión	40
Figura 2.2 Tamizado de larvas de tilapia para reversión sexual	41
Figura 2.3 Medición de larvas de tilapia para reversión sexual	42
Figura 2.4 Medidor multi-paramétrico de calidad de agua	44
Figura 3.1 Porcentaje de reversión por tratamiento	63
Figura 3.2 Mortalidad de larvas de tilapia a los 35 días	71
Figura 3.3 Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1, 2, 3 y control	72
Figura 3.4 Comportamiento del oxígeno presente en el tratamiento 1, 2, 3 y control	75
Figura 3.5 Niveles de pH en el tratamiento 1, 2, 3 y control	77
Figura 3.6 Turbidez y total de sólidos disueltos del tratamiento 1, 2, 3 y control	79
Figura 3.7 Comportamiento de los TDS para los tratamientos 1, 2, 3 y control	81
Figura 3.8 Crecimiento de tilapia en el tratamiento 1, 2, 3 y control	91
Figura 3.9 Mortalidad registrada a los 260 días de cultivo	94
Figura 3.10 Programación anual de la producción de alevines	98
Figura 3.11 Estanque de reversión y alevinaje	99
Figura 3.12 Tanque de incubación	100
Figura 3.13 Tanque de distribución de agua	100
Figura 3.14 Layout de planta de producción de alevines	102
Figura 3.15 Vista 3D del área de producción de alevines	103
Figura 3.16 Vista frontal y lateral del área de producción de alevines	104

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	
Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 1	116
ANEXO II	
Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 2	117
ANEXO III	
Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 3	118
ANEXO IV	
Parámetros fisicoquímicos del agua control	119
ANEXO V	
Tabla de alimentación para el tratamiento 1	120
ANEXO VI	
Tabla de alimentación para el tratamiento 2	121
ANEXO VII	
Tabla de alimentación para el tratamiento 3	122
ANEXO VIII	
Tabla de alimentación para el control	123
ANEXO IX	
Mortalidad tratamiento 1	124
ANEXO X	
Mortalidad tratamiento 2	125
ANEXO XI	
Mortalidad tratamiento 3	126
ANEXO XII	
Mortalidad control	127

RESUMEN

El cultivo de tilapia en los últimos años ha crecido considerablemente por tratarse de un pez con muy fácil adaptabilidad a diferentes medios, bajos costos de producción y que provee una carne con alta calidad de proteína, lo que le ha hecho muy apetecido tanto por el mercado nacional como internacional. Sin embargo, uno de los principales problemas en el cultivo es su alta precocidad para la reproducción, que afecta su tasa de crecimiento y ocasiona una sobrepoblación descontrolada en los estanques de cultivo. Para controlar esta alta reproducción se utilizan varios medios, entre los cuales se encuentra la reversión sexual química, en la que se utiliza una hormona androgénica mezclada con el alimento durante 35 días, desde que inicia la alimentación exógena del alevín.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la alimentación hormonal en la reversión sexual y crecimiento de la tilapia roja, determinando el porcentaje de reversión sexual, la ganancia de peso y mortalidad, durante el proceso de reversión sexual y las etapas de pre-engorde y engorde del cultivo.

Para la realización de la investigación se compararon tres tratamientos con tres repeticiones en las cuales se les aplicaron dosis de 60 mg, 80 mg y 100 mg de hormona 17α -metiltestosterona y un tratamiento testigo con la misma cantidad de repeticiones en el que no se usó hormona. El proceso de reversión se inició con peces con tallas de 10 mm y pesos de 0,01 g, los mismos que fueron alimentados con la hormona durante 35 días. Los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de reversión fueron de 95,56 %, 98,89 % y 100 % de machos presentes en cada tratamiento, mientras que el testigo obtuvo un 61,11 % de machos.

En cuanto al crecimiento, se lograron incrementos de peso de 267,2 g, 279,3 g, 277,11 g y 199,02 g en los tratamientos 1, 2, 3 y control, respectivamente. La mortalidad presentada no tuvo diferencia significativa en cada tratamiento, sin embargo fue alta y se asumió que se debió a la excesiva manipulación a causa de los muestreos realizados.

INTRODUCCIÓN

La producción de tilapia roja provee el 25 % de la proteína de origen animal en países desarrollados y el 75 % en países en vías de desarrollo. El cultivo de tilapia se intensificó aproximadamente en 1920; desde entonces, la tilapia roja (*Oreochromis spp*) ha sido una de las especies más utilizadas en la acuicultura mundial. Su fácil cultivo, alto nivel proteico, bajo costo de producción y precio de venta asequible respecto a otras especies piscícolas, la convierten en un producto muy apetecido en el mercado nacional e internacional (López, Carvajal, y Botero, 2007, p. 319).

El éxito del cultivo de tilapia roja está dado por el comportamiento del mercado en los últimos años con una creciente demanda, el cual paga altos precios por su carne de agradables olor y sabor, además de poseer un excelente conversión alimenticia en cultivos intensivos y últimamente por su similitud con especies marinas comerciales como el Pargo Rojo (Lozano y López, 2001, p. 48).

La tilapia roja, originaria de África, ha sido introducida a muchos países tropicales y subtropicales del mundo. Sus diferentes características como, su resistencia a enfermedades, facilidad de manejo, adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas, fácil reproducción, alta productividad de biomasa, consumo de gran variedad de alimentos, tolerante a aguas con bajas concentraciones de oxígeno y su capacidad de crecer en aguas tanto salobres como en aguas de mar, la hacen una especie de cultivo apta en la mayoría de los países en vías de desarrollo (Lozano y López, 2001, pp. 41, 49).

Así, en la actualidad la tilapia se ha convertido en una de las principales especies de cultivo y una especie importante de exportación a los Estados Unidos, haciendo posible, que en los próximos años la tilapia llegue a ser la especie de mayor cultivo a nivel mundial (Hurtado, 2005, p. 2).

En América Latina, el Ecuador es uno de los principales exportadores de filete de tilapia fresco refrigerado, desplazando de esta manera al que fue antes el primer exportador Costa Rica (Hurtado, 2005, p. 2).

La principal problemática de la crianza de tilapia roja es la facilidad con la que se reproduce y proliferan los alevines; esto le hace una buena especie para el cultivo pero a la vez ocasiona problemas ya que la supervivencia de los alevines es alta y se produce una sobrepoblación, lo que agota rápidamente la cantidad de alimento disponible, y ocasiona un retraso en el crecimiento de los peces, dando como resultado que el 75 % de la población no alcance a pesar más de 100 g cada pez, cuando el tamaño preferido para el mercado es mayor a 150 g; es decir, no alcanza su tamaño comercial y es necesario aplicar técnicas como la reversión sexual para mitigar este problema (Lozano y López, 2001, p. 41).

Hacer la reversión sexual o la inducción sexual de tilapia mediante el uso de hormonas es un proceso prácticamente nuevo para el productor en la actualidad; sin embargo, su legalización y comprensión del proceso no ha sido fácil, sobre todo en los Estados Unidos, donde la American Tilapia Association (ATA) luchó mucho por su legalización. En el año 2000 la Universidad de Auburn siguió con el apoyo a los productores de los Estados Unidos en la legalización del uso de la 17 α -metiltestosterona para ser aprobada por el FDA. Tres sectores: el productivo a través de la American Tilapia Association con la participación de algunas granjas, el sector industrial elaborando el alimento (Rangen™) y los investigadores (AU encabezados por el Dr. Ron Phelps) trabajaron coordinadamente llenando protocolos y formatos. Finalmente dos años después lograron la autorización muy controlada para su adquisición dando confianza al productor de estar dentro de la ley por el uso de la hormona en la producción de alimentos para consumo humano (Delgadillo, 2012, p. 2).

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis spp*)

Por la ubicación geográfica y su riqueza natural, Ecuador tiene muchas oportunidades para la producción de especies nativas en cultivos controlados, especialmente en las zonas del oriente o en la región interandina que posee los recursos hídricos ideales para desarrollar la piscicultura (Ortiz, 2009, p. 6).

La actividad piscícola de aguas dulces en el Ecuador se compone de varias especies, donde la más extendida es la tilapia roja, cultivo que se intensificó a raíz de la aparición del virus de la mancha blanca en la industria camaronera, y alcanzó en el 2006 una producción de 22 000 t, con una extensión cultivada de 5 000 ha, ubicadas especialmente en el Guayas y extendiéndose también a Esmeraldas y Manabí, llegando al 2 % de la producción mundial de tilapia (Luna y Domínguez, 2013, p. 27).

1.1.1 TILAPIA ROJA (*Oreochromis spp*)

La tilapia es una especie endémica originaria de África y el Cercano Oriente, donde su investigación inicia alrededor del siglo XIX. Muchos autores mencionan que la tilapia roja es un tetra-híbrido, es decir un cruce entre cuatro especies del género *Oreochromis* como son: (*O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. aureus*, *O. hornorum*) (Baltazar y Palomino, 2004, p. 28; Hurtado, 2015, p. 41).

1.1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Phylum	: Vertebrata
Sub Phylum	: Craneata
Superclase	: Gnostomata

Serie	: Piscis
Clase	: Teleostei
Subclase	: Actinopterygii
Orden	: Perciformes
Suborden	: Percoidei
Familia	: Cichlidae
Género	: Oreochromis
Especie	: <i>Oreochromis spp.</i>

1.1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TILAPIA ROJA

Una de las principales características es su coloración atractiva para el mercado, también presentan ventajas a partir de la heterogeneidad genética como son: aumento en la proporción de carne o masa muscular fileteable, reducción de porciones óseas, sabor fresco (Off-flavor) sin olor, fácil reproducción, alta resistencia a enfermedades, fácil adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo, mesenterio sin coloración. Son peces eurihalinos, es decir, pueden crecer en agua salada, salobre y continental y su rango de adaptación va desde los 0 ppm a 40 ppm, además pueden adaptarse a diferentes durezas del agua; todas estas ventajas la hacen una especie óptima para cultivarla a nivel industrial en zonas tropicales. Son especies euritermas que viven en temperaturas desde los 12 °C hasta los 42 °C; sin embargo, la temperatura óptima está entre 23 °C y 32 °C, además es una especie que se reproduce a muy temprana edad, en los machos entre los 4 y 6 meses y las hembras entre los 3 y 5 meses (Lozano y López, 2001, pp. 50,51).

1.1.4 CICLO DE VIDA DE LA TILAPIA

Bajo condiciones controladas de cultivo, la tilapia alcanza su madurez sexual a los tres meses de vida, observándose cinco etapas básicas: desarrollo embrionario, alevín, cría, juvenil y adulto (SAGARPA, 2009, p. 17).

El desarrollo embrionario inicia con la fecundación y a medida que avanza la división celular, las células rodean completamente al vitelo, dejando una pequeña abertura denominada blastóporo, que posteriormente se cierra. Seguidamente, ya formado la mayor parte del organismo, el embrión empieza a girar la cola ocasionalmente y más tarde todo el cuerpo; subsiguientemente gira en el espacio pre-vitelino, presentando movimientos más enérgicos poco antes de eclosionar. Las enzimas que contienen los metabolitos del embrión actúan sobre la membrana del huevo disolviéndola desde adentro para romperla más fácilmente y salir (Gunter, 2000, p. 18; Hurtado, 2015, p. 13).

Se llama alevín al pez recién salido del huevo y que aún posee el saco vitelino, mismo que le sirve de alimentación. Esta etapa dura de 3 a 5 días donde, el pez tiene tallas de 0,5 a 1 cm. Posteriormente, al alcanzar tallas de 3 a 7 cm, se denomina cría (SAGARPA, 2009, p. 17).

Seguida la etapa de cría, el pez alcanza tallas de 7 a 10 cm y es considerado como juvenil, y cuando alcanza tallas de 10 a 18 cm, con pesos aproximados de 70 y 100 g son considerados adultos, ya que presentan todas las características distintivas de la especie (SAGARPA, 2009, p. 17).

1.1.5 PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA

Para el óptimo desarrollo del cultivo, esta especie debe contar con un hábitat, condiciones medioambientales y parámetros de la calidad de agua necesarios para la supervivencia y normal crecimiento durante todas las etapas de su ciclo de vida, manteniendo también una adecuada sanidad acuícola de los organismos cultivados (SAGARPA, 2009, p. 39).

Los parámetros de calidad del agua se dividen en tres: parámetros físicos, que están determinados por los factores ambientales como; temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, potencial hidrógeno (pH), luminosidad, viento lluvia, etc.; parámetros químicos, en los cuáles se encuentra, la alcalinidad, dureza, amonio,

nitritos, nitratos, etc.; y finalmente los parámetros biológicos, que vienen dados por la presencia de microorganismos nocivos para los peces, que al ser consumidos afectarán la salud humana (coliformes fecales, coliformes totales, pseudomonas, Vibrio, etc.) (SAGARPA, 2009, p. 30).

1.1.5.1 Temperatura

Los rangos óptimos de temperatura para la producción de tilapia van desde los 28 °C a 32 °C, temperaturas menores o mayores causan problemas en la tasa metabólica y ritmo de crecimiento. A temperaturas menores de 23 °C los peces tienen un desarrollo lento por el descenso de la tasa metabólica, mientras que a temperaturas superiores a los 32 °C los peces pueden desarrollar mucho más rápido debido a la aceleración de su tasa metabólica, pero la disponibilidad de oxígeno en el agua es menor, lo que significa que no puede sostener su elevada tasa metabólica (Azañero, Cárdenas, Flores, Guevara, Lamas y Vigil, 2010, p. 23; Meyer, 2004, p. 34).

1.1.5.2 Turbidez

La turbidez viene dada por la presencia de material mineral u orgánico en suspensión, lo que limita la penetración de luz. Los rangos óptimos de turbidez se encuentran entre 25 y 30 cm (Lozano y López, 2001, p. 59).

1.1.5.3 Oxígeno

Los rangos óptimos para el cultivo de tilapia están entre 4 ppm y 5 ppm de oxígeno disuelto en el agua, el mismo que se considera una de las variables más importantes en el cultivo, ya que su ausencia es causante de la mortalidad, baja conversión alimenticia y enfermedades (Lozano y López, 2001, p. 53; Saavedra, 2006, p. 14).

Tabla 1.1 Efecto de las diferentes concentraciones de oxígeno en el pez

Oxígeno (ppm)	Efectos
0,0-0,3	Peces pequeños sobreviven en cortos periodos
0,3-2,0	Letal en exposiciones prolongadas
3,0-4,0	El pez sobrevive pero crece lentamente
≥ 4,5	Óptimo crecimiento del pez

(Cantor, 2007, p. 23)

1.1.5.4 pH

El rango óptimo para un buen desarrollo del cultivo de tilapia está entre 6,5 y 9, y valores superiores producen la muerte del pez (Lozano y López, 2001, p. 56).

1.1.5.5 Alcalinidad y dureza total

Básicamente la alcalinidad es la medida de la concentración de iones carbonato y bicarbonato en el agua. Los rangos para piscicultura están aproximadamente entre 30 y 200 mg/l de CaCO₃ (Lozano y López, 2001, p. 61).

Tabla 1.2 Dureza del agua según la concentración de CaCO₃

CaCO ₃ [mg/l]	Dureza
0 – 75	Aguas blandas
75 – 150	Aguas moderadamente duras
150 – 300	Aguas duras
> 300	Aguas muy duras

(Lozano y López, 2001, p. 61)

1.1.5.6 Dióxido de carbono (CO₂)

La tilapia puede tolerar niveles hasta 20 ppm de CO₂, siempre y cuando los niveles de oxígeno no sean inferiores a 3 mg/l; niveles superiores provocan la muerte del pez, ya que este gas se acumula en la sangre, interfiriendo con la oxigenación de la hemoglobina (Balbuena, 2011, p. 35).

1.1.5.7 Amonio

El rango de tolerancia está entre 0,6 y 2,0 ppm; concentraciones muy altas causan bloqueo del metabolismo del cerebro, daño en las branquias, lesiones en órganos internos, inmunodepresión, susceptibilidad a enfermedades, letargia, desarrollo lento, mortalidad, exoftalmia y ascitis (Cantor, 2007, p. 34).

Los niveles de amonio pueden ser controlados con la adición de cal agrícola, cuyas dosis dependen del pH del agua (Azañero et al., 2010, p. 24).

1.1.5.8 Nitritos y nitratos

Estos constituyen un parámetro de vital importancia por su alta toxicidad, especialmente en los alevines y juveniles. Altas concentraciones de nitritos impide que el oxígeno se transportando en la sangre, disminuyendo la habilidad del pez de absorberlo; concentraciones mayores a 0,2 mg/L, se consideran tóxicas para los peces (Cantor, 2007, p. 36).

1.1.5.9 Gases tóxicos

Producen mortalidades masivas del cultivo y se pueden evitar adicionando cal o zeolita en periodos de secado o incrementando el oxígeno disuelto en periodos de cultivo (Lozano y López, 2001, p. 64).

Tabla 1.3 Concentraciones de gases óptimas para el cultivo de tilapia

Gas	Concentración
Sulfuro de hidrógeno	< 0,1 ppm
Ácido cianhídrico	< 10 ppm
Metano	< 25 ppm

(Lozano y López, 2001, p. 64)

1.1.5.10 Cloro

Sus concentraciones no deben exceder los 0,003 mg/L (Lozano y López, 2001, p. 64).

1.1.5.11 Metales pesados

Los principales metales causantes de envenenamiento son: cobre, mercurio, zinc y hierro, y no deben sobrepasar los límites de 0,1 mg/L.

1.1.5.12 Sólidos en suspensión

Los rangos óptimos para tilapia se encuentra entre 25 y 100 mg/L, valores superiores disminuyen el oxígeno disuelto en el agua (Lozano y López, 2001, p. 65).

1.1.6 ETAPAS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA**1.1.6.1 Pre-cría**

Corresponde a la siembra de peces de 1 a 5 g con densidades de 100 a 150 peces/m², etapa en la cual se alimenta con el 45 % de proteína en cantidades del 10 % al 12 % de la biomasa total (Cantor, 2007, p. 79).

1.1.6.2 Levante

Esta etapa comprende peces entre 5 y 80 g, con densidades de 20 a 30 peces/m², donde se le suministra alimento con el 38 % al 32 % de proteína, con una cantidad equivalente del 5 % al 6 % de la biomasa total del estanque (Cantor, 2007, p. 80).

1.1.6.3 Engorde

Comprende peces de 80 g hasta su cosecha, con densidades de 1 a 30 peces/m², etapa en la que se le suministra alimento con el 30 % al 24 % de proteína en cantidades del 1,2 % al 3 % de la biomasa total (Cantor, 2007, p. 80).

1.1.7 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA

1.1.7.1 Sistema extensivo

Se caracteriza por ser una actividad productiva complementaria a otras. Se usan densidades de siembras muy bajas de alrededor de 1 a 2 peces/m², estas densidades pueden variar dependiendo de la producción natural del estanque. En estas condiciones los peces no reciben alimento complementario, siendo su principal fuente de alimentación la producción primaria que genera el estanque, el nivel de manejo de los peces y el agua es mínimo y las actividades se limitan solamente a la siembra y cosecha de los organismos (Balbuena, 2011, p. 19).

1.1.7.2 Sistema semi-intensivo

Este sistema se caracteriza por usar estanques artificiales no muy sofisticados, donde las densidades de siembra son de alrededor de 5 a 10 peces/m², pudiendo aumentar dependiendo de la productividad natural del estanque y del acceso a

alimento complementario. La dependencia del cultivo por alimento artificial en estos sistemas alcanza un 80 %, mientras que el 20 % es obtenido de forma natural producida por efectos de fertilización directa o indirecta (Balbuena, 2011, p. 20).

1.1.7.3 Sistema intensivo

Se caracteriza por usar estanques artificiales técnicamente diseñados. Se usan densidades de 10 a 15 peces/m², este tipo de cultivo requiere un monitoreo permanente de los parámetros del agua óptimos para el desarrollo de la especie cultivada, principalmente el oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, CO₂, etc., además se requiere altos niveles de recambios hidráulicos y aireación permanente. En estos sistemas de cultivo la alimentación se lleva a cabo con dietas de alto valor nutritivo, siendo los peces dependientes en un 100% a alimentos balanceados y utilizando densidades de siembra altas de acuerdo a la especie cultivada y el grado de producción esperado (Lozano y López, 2001, p. 11).

1.1.7.4 Sistema super-intensivo

Este nivel de producción se realiza en ambientes físicos controlados, con densidades de siembra superiores a 100 kg/m³ complementado por instalaciones complejas y alto grado de tecnificación. El manejo es exigente, requiere del monitoreo permanente de la calidad de agua con suministro de oxígeno líquido o alta aireación y la provisión de alimento artificial de alto valor nutritivo y completo de acuerdo a la exigencia de la especie cultivada (Balbuena, 2011, p. 21).

1.1.8 ALIMENTACIÓN

Las tilapias son consideradas omnívoras por ingerir una alta variedad de alimentos de origen natural como algas macroscópicas, organismos unicelulares,

bacterias, detritus, materia en descomposición, semillas, hojas verdes, etc., alimentos que el pez atrapa con las mucosas de las agallas hasta un tamaño determinado para luego consumirlo (Hurtado, 2015, p. 34).

Esta característica de las tilapias de consumir casi cualquier tipo de alimento hace posible también suministrar gran diversidad de materiales, que van desde subproductos agropecuarias o industriales hasta alimento artificial (Olvera, 2005, p. 2).

La alimentación de la tilapia es una de las fases más importantes en el ciclo de producción, ya que la calidad y cantidad de alimento influye directamente en la productividad de la granja, además es un rubro que representa alrededor del 50 % al 75 % de los costos totales de producción, por lo que es muy importante en este sentido suministrar a los peces el alimento adecuado en cantidad y nivel de nutrientes de acuerdo a la etapa de desarrollo (Arias, Marcillo, y Freire, 2015, p. 2; Olvera, 2005, p. 16).

1.1.8.1 Manejo del alimento

El alimento es un insumo fundamental en la producción de tilapia para obtener buenos resultados de crecimiento e índices de conversión alimenticia adecuados; por estas razones es importante suministrar el alimento en tamaño y calidad adecuados para cada etapa del cultivo, considerando además el nivel de proteína necesario acorde a la edad de la tilapia (Olvera, 2005, p.17).

1.1.8.2 Tasa de alimentación

Es la cantidad de alimento a suministrar en un estanque en base al porcentaje de la biomasa o peso total existente en dicho estanque. Para determinar la cantidad de alimento a suministrar se debe conocer la biomasa del estanque, el mismo que se calcula a partir del peso y cantidad de animales sembrados en el estanque, y a

partir de este dato, se calculará la tasa de alimentación de acuerdo a las tablas recomendadas. Se debe reajustar las tablas de alimentación cada semana para evitar problemas en el crecimiento de la tilapia (Buxadé, 1997, p. 145).

Tabla 1.4 Tasa de alimentación para tilapia

Peso promedio del pez	Nivel de alimentación (% de la biomasa)
< 0,5	20
0,5 – 5,0	20 a 13
5,0 – 15,0	6,0 a 8,0
15,0 – 25,0	5,0
25,0 – 40,0	6,0
40,0 – 60,0	4,0
60,0 – 80,0	3,0
80,0 - 100	2,8
100 - 200	2,3
200 - 300	2,0

(Ramos, Triminio, Meyer y Barrientos, 2006, p. 12)

1.1.8.3 Horario y frecuencia de alimentación

Se debe evitar alimentar a los peces antes de las 8:00 de la mañana, ya que las secreciones del tracto digestivo recién se van incrementando durante la mañana y la tarde, por lo que la acidez del estómago no es suficiente para digerir el alimento, el mismo que pasaría por el tracto sin ser procesado. Por ende, el horario óptimo de alimentación estará entre las 10:00 y las 15:00 cuando la acidez del tracto digestivo es máxima, permitiendo una mejor asimilación del alimento, con una frecuencia de 6 veces por día o más a peces jóvenes y de 2 veces por día a peces adultos (Balbuena, 2011, p. 40; Lozano y López, 2001, p. 97).

1.1.8.4 Técnicas de alimentación

Las técnicas o formas de alimentación dependen del manejo y del tipo de cultivo que se realice, encontrando así: la alimentación en un solo sitio, no muy conveniente por la acumulación de materia orgánica en un solo lugar y la competitividad por el alimento; alimentación en L, en la que se usan dos orillas para alimentar, preferiblemente cerca del desagüe para facilitar la eliminación de desechos, y la alimentación periférica, que prácticamente se le hace alrededor del estanque (SAGARPA, 2009, p. 79).

1.1.9 ÍNDICES DE EFICACIA DE LA UTILIZACIÓN DEL ALIMENTO

1.1.9.1 Incremento de peso

Se evalúa el crecimiento pesando a los peces periódicamente para determinar la evolución de la biomasa, supervivencia y peso medio, lo que permitirá elaborar la curva de crecimiento de los diferentes lotes cultivados.

La comparación de crecimiento de los lotes se realiza mediante diversos índices de crecimiento como: el incremento de peso medio (IP), la tasa de crecimiento (TC) e índice de crecimiento instantáneo (SGR), que se calculan mediante las siguientes expresiones (Buxadé, 1997, pp. 140, 141):

$$IP = (Pf - Pi) \quad [1.1]$$

$$TC = 100 \times \frac{(Pf - Pi)}{t} \quad [1.2]$$

$$SGR = 100 \times \frac{\ln Pf - \ln Pi}{t} \quad [1.3]$$

Donde:

Pi : peso inicial

Pf. peso final

t. tiempo de alimentación

1.1.9.2 Índice de conversión

Este índice es un parámetro fundamental para evaluar la eficacia del alimento suministrado y la frecuencia de alimentación, pues permite conocer la cantidad de alimento proporcionado en base seca, para producir un kilogramo de biomasa. El índice de conversión (IC), también llamado factor de conversión alimenticia (FCA), mientras más cercano está al valor de 1, es más eficiente la conversión alimenticia de los peces y se calcula con la siguiente expresión (Balbuena, 2011, pp. 41, 42):

$$FCA = \frac{\text{Total alimento ingerido (kg)}}{\text{Total incremento de peso (kg)}} \quad [1.4]$$

1.1.9.3 Índice de eficiencia proteica

Determina el crecimiento obtenido con alimentos de diferente nivel de proteína y se calcula mediante la siguiente expresión (Buxadé, 1997, p. 141):

$$PER = \frac{\text{Incremento de peso (kg)}}{\text{Proteína ingerida (kg)}} \quad [1.5]$$

1.1.10 REPRODUCCIÓN

La tilapia es un pez muy precoz, que se reproduce tempranamente a edades de 3 a 4 meses, con tallas aproximadas de 8 a 16 cm, debido a que la diferenciación de las gónadas ocurre en etapas muy tempranas entre los 16 y los 20 días después de su eclosión, lo que implica que esta especie no alcance tallas comerciales, ya que la mayoría de energía la gasta en la reproducción y no en generar carne. Además la alta sobrevivencia de las larvas provoca cultivos

heterogéneos y a su vez un bajo rendimiento en la cosecha final. Las condiciones medioambientales y la presencia del sexo opuesto son factores que también influyen en la maduración sexual y el apareamiento (Arboleda, 2005, p. 2; Gunter, 2000, p. 18).

En la reproducción, cuando las condiciones son adecuadas el reproductor es sembrado, y a los 3 o 4 días éste delimita su territorio, en el mismo que construye nidos de 20 a 30 cm de ancho y 5 cm de profundidad. El macho defiende su nido de otros peces y corteja a la hembra para atraerla y posteriormente dar golpes en el vientre de esta, para estimular la expulsión de los huevos, los que son depositados en los nidos y fertilizados por el macho. Estos son inmediatamente recogidos por la hembra en su cavidad bucal, permaneciendo un periodo de 3 a 5 días durante la incubación; a continuación las hembras permanecen con los pececillos en su boca durante 5 a 8 días adicionales, tiempo en el cual no consumen ningún tipo de alimento, perdiendo así hasta un tercio de su peso corporal. La hembra volverá a desovar a las 4 semanas subsiguientes a este primer periodo (Hsien-Tsang y Quintanilla, 2008, pp. 17-20).

En este proceso de reproducción intervienen diferentes factores ecológicos tales como: la temperatura, que a pesar de que la tilapia puede reproducirse en temperaturas que van desde los 22 a 32 °C, el rango óptimo es de 26 a 29 °C, por otro lado, también influye la concentración de oxígeno en el agua, que es muy importante y debe estar en valores iguales o superiores a 6 mg/L, debido a que, a concentraciones inferiores el pez disminuye su metabolismo y no existe reproducción. Otros factores que se deben manejar en la reproducción son: el pH, salinidad, alcalinidad y dureza, turbidez y la presencia de amoníaco (Marcillo y Landivar, 2008, pp. 39, 40).

1.1.10.1 Selección y diferenciación sexual de reproductores

Para obtener una buena producción de alevines de tilapia se debe realizar la selección de reproductores observando diferentes factores tales como la edad,

comprendida entre peces de 10 a 20 meses; peso, comprendido entre 250 a 500 g con tallas de 18 a 25 cm; caracteres físicos tales como cabeza y cola pequeña en relación al cuerpo y sanidad de los peces, sin parásitos y libres de malformaciones.

En cuanto a la diferenciación sexual en el género *Oreochromis* se la puede realizar a partir de los 20 a 30 g de peso, ya que por el acentuado dimorfismo sexual que presenta esta especie la determinación externa del sexo es más sencilla.

Por otro lado, en peces de menor tamaño es necesaria la utilización de métodos como la obtención de gónadas, examen sanguíneo o de mucosas para la determinación del sexo, ya que estos no poseen las características externas asociadas con la maduración sexual (Zimmermann, 2005, p. 149).

1.1.10.2 Mantenimiento y siembra de reproductores

Con el fin de asegurar una producción alta y constante de alevines de buena calidad, es recomendable usar densidades de siembra de 2 peces/m² y una relación de un macho por una hembra (1:1) para reproducción en puesta natural. En cuanto a la alimentación, se debe suministrar alimento balanceado con más de 30 % de proteína dos veces por día y al 3 % de la biomasa del animal (Hurtado, 2005, p. 33; Logato, Murgas y de Souza, 2004, p. 102).

1.1.10.3 Ciclo de reproducción en la obtención de alevines

Meyer y Suyapa (2007) señalan que uno de los principales factores en los ciclos de reproducción es la temperatura, ya que entre mayor sea esta, el ciclo disminuye y las larvas de tilapia aparecen en menor tiempo. Para la obtención de alevines de buena calidad, tallas uniformes y con estados de desarrollo similares, existen tres opciones de manejo en la reproducción que son las siguientes (p. 27):

- **Manejo con cosechas parciales.** Se refiere a la cosecha periódica de los alevines después de 10 a 15 días de sembrados los reproductores, ciclos que se pueden alargar dependiendo de la temperatura del agua (Meyer y Suyapa, 2007, p. 27).
- **Manejo con una solo cosecha de alevines.** Se realiza en estanques que cuentan con cajas de pesca, en las mismas que se coloca una malla menor o igual a 12 mm de ojo de luz y se ejecuta una cosecha total drenando el estanque. La ventaja de este manejo es obtener alevines de tamaño y edad similares (Meyer y Suyapa, 2007, pp. 27, 28).
- **Manejo con la remoción de los huevos y embriones de la cavidad bucal de la hembra y su incubación artificial.** A los 5 o 7 días de sembrados los reproductores, se captura a la hembra con mallas de aproximadamente 6 mm de ojo de luz y se extraen los huevos o embriones de la cavidad bucal, pasándolos a recipientes de incubación con corrientes de agua suaves y oxigenadas que mantienen a huevo suspendido como en la boca de la hembra y a una temperatura del agua que oscila entre los 25 a 30 °C (Meyer y Suyapa, 2007, p. 29).

Tabla 1.5 Duración del ciclo de reproducción de tilapia a diferentes rangos de temperatura del agua

Temperatura del agua	Duración del ciclo reproductivo
≤ 25 °C	20 a 23 días
Entre 25 y 28 °C	17 a 21 días
≥ 28 °C	14 a 18 días

(Meyer y Suyapa, 2007, p. 29)

1.1.11 PROBLEMÁTICA DE LA REPRODUCCIÓN

Al mismo tiempo que el alto grado de reproducción de la tilapia es una ventaja para la producción comercial de esta especie, este mismo factor llega a ser un gran problema, ya que al reproducirse a edades tempranas genera sobrepoblación y enanismo en el cultivo, ocasionando una baja productividad por ciclo, lo que al final no representa una inversión positiva para los piscicultores (Hurtado, 2005, pp. 17, 18).

Se conoce que en la tilapia, los machos tienen una velocidad de crecimiento hasta dos veces mayor en comparación con las hembras, incluso si se los cría por separado, debido a que las hembras ocupan la mayor parte de su energía en la reproducción y cuidado de las larvas, siendo de esta manera preferible realizar cultivos mono-sexo que se obtiene mediante diferentes métodos que se han aplicado a lo largo del tiempo (Hurtado, 2005, p. 18).

1.1.12 MÉTODOS PARA CONROLAR LA REPRODUCCIÓN DE TILAPIA

Existen varios métodos para la producción mono-sexo de tilapia que se aplican en las granjas, dentro de los cuales se encuentran: la separación manual de sexos, la hibridación, la producción del super macho YY y la reversión sexual. Estos métodos son aplicados de acuerdo con la necesidad de cada granja y la disponibilidad de los recursos necesarios.

1.1.13 INFRAESTRUCTURA EN LA PRODUCCIÓN DE TILAPIA

Al ser la tilapia una especie que se adapta a diferentes medios de cultivo, no existe una guía específica para la infraestructura, ya que ésta depende de varias variables que se deben considerar dentro del cultivo; sin embargo, existen tres tipos de infraestructura que se pueden utilizar en la producción de tilapia, entre las que se menciona: estanques rústicos, estanques circulares y jaulas flotantes, esta

infraestructura básica debe garantizar la formación de un ecosistema artificial similar al medio natural en que se desarrolla la especie (Aguilera, Noriega, y Guzman, 2000, p. 38; SAGARPA, 2011, p. 18).

1.1.13.1 Estanques rústicos

Son embalses de agua con ausencia de corrientes y contruidos de manera que permitan el facil llenado y vaciado de los mismos, su tamaño está sujeto a diferentes factores como; el sistema de cultivo a utilizar, metas productivas y área disponible en la granja. Estos estanques son diseñados de tal manera que retengan agua suficiente para un cultivo seguro, motivo por el que se deben realizar estudios de suelos que garanticen la impermeabilidad del mismo; és así que los suelos arcillosos son los mas recomendados. Además, su construcción debe garantizar un caudal suficiente de agua para el cultivo y recambios de al menos el 10 % para eliminar los excesos de amoniaco y materia orgánica que reducen la disponibilidad de oxígeno en el agua para el pez (SAGARPA, 2011, p. 18).

1.1.13.2 Estanques circulares

Son estanques que requieren altas inversiones por el tipo de material que se utiliza; estos pueden ser de concreto, fibra de vidrio, geomembrana, lámina galvanizada. Su diseño debe garantizar el suministro de agua y recambios de agua entre el 10 % y 100 % (SAGARPA, 2011, p. 19).

Los estanques circulares, al ser contruidos de forma cónica en el fondo, mejoran el aprovechamiento del agua que sigue trayectorias circulares, eliminando las zonas muertas y permitiendo una buena distribución del alimento. Este movimiento circular del agua genera una fuerza centrífuga que concentra todos los sólidos al drenaje, los que al realizar el recambio de agua se eliminan facilitando la limpieza de este. Además este tipo de estanques proporciona

condiciones muy favorables para el crecimiento de los peces (Baltazar y Palomino, 2004, p. 52).

1.1.13.3 Jaulas flotantes

Son estructuras que se realizan con el fin de aprovechar cuerpos de agua lénticos como embalses, lagos, lagunas, presas, etc., contruidos de materiales resistentes a los rayos UV y ataques de predadores.

Los materiales usados deben ser de alta durabilidad entre los cuales se encuentran: el nylon, paños multifilamento TT y mallas plásticas o metálicas.

Este tipo de construcciones permiten realizar cultivos intensivos por su alta renovación de agua y aporte continuo de oxígeno disuelto, además la inversión es menor en comparación con la construcción de estanques rústicos y circulares (Baltazar y Palomino, 2004, p. 53; SAGARPA, 2011, p. 20).

1.1.14 FACTORES DETERMINANTES EN EL DISEÑO DE UNA PISCIFACTORIA

Aguilera et al. (2000) señalan que las instalaciones deben propiciar un buen desarrollo de la especie a ser cultivada con altas tasas de productividad y rentabilidad, motivo por el cual se consideran diferentes factores en su diseño (p. 38).

Entre los factores a considerar se menciona la selección y ubicación de la piscifactoría, que depende de la calidad y caudal de agua disponible, topografía del terreno, cercanía a vías de acceso, tipo de suelos y clima.

Otro de los factores preponderantes es el sistema de cultivo que se va a realizar y está sujeto a aspectos como capacidad de producción esperada, montos de inversión y magnitud de la demanda del producto (SAGARPA, 2011, pp. 34, 35).

La disposición de la infraestructura debe estar de acuerdo a la topografía del terreno, con el objeto de facilitar la distribución de agua mediante la gravedad y mejorar la operatividad de manejo del cultivo.

Además se debe procurar la conservación del medio ambiente, evitando en lo posible causar impactos negativos (Jover, Martínez, Tomás, y Pérez, 2003, p. 21).

1.2 REVERSIÓN SEXUAL

Es una de las técnicas más usadas por el piscicultor para obtener poblaciones monosexo en las granjas, y consiste en el suministro de hormonas androgénicas en el alimento durante el lapso que dura la inestabilidad sexual de la tilapia; ésta actúa sobre el tejido ovárico antes que se vuelva funcional, lo que sucede a edades muy tempranas, mismo tejido que se convierte en testículo durante un tiempo determinado de tratamiento (Olvera, 2005, p. 26; Santamaría, Heredia, Apún, Román, García y Trigueros, 2012, p. 138).

El suministro de andrógenos en este periodo lábil de indiferenciación sexual, que dura aproximadamente 15 días, ha permitido obtener poblaciones monosexo entre el 80 a 100%, variación que probablemente se ve afectada por las cantidades de alimento consumido por el pez, densidades de siembra, competencia de alimento y factores ambientales (Torres, Nucamendi, Pintos y Montoya, 2010, p. 342).

1.2.1 ANDRÓGENOS

Los andrógenos, principalmente la testosterona, son compuestos que contienen 19 átomos de carbono y grupos metilo en las posiciones C18 y C19, dobles enlaces entre C4 y C5 y un grupo hidroxilo en C17 como se muestra en la Figura 1.1, estructura necesaria para la mantención de la actividad androgénica (Amado y Flórez, 2015, p. 879; Valsecia y Malgor, 2015, p. 211).

Entre los derivados sintéticos se encuentra la metiltetosterona y fluoximesterona de alta efectividad oral y que resultan de la introducción de un grupo metilo en la posición C17, también se tiene el gestágeno, que se obtiene al introducir un grupo etinilo en la posición C17 y eliminar al mismo tiempo el grupo metilo de la posición C19, que resulta ser un compuesto activo vía oral (Amado y Flórez, 2015 p. 880; Marcillo y Landivar, 2008, p. 51).

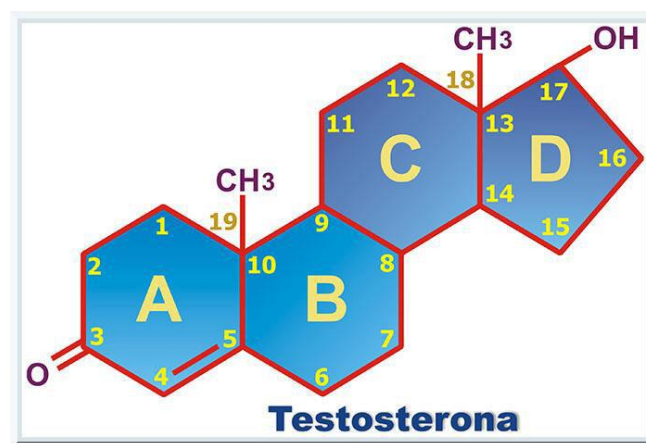


Figura 1.1 Estructura de la testosterona

(Lopategui, 2012)

1.2.2 ACCIÓN HORMONAL

Los andrógenos actúan principalmente en el desarrollo de los órganos sexuales primarios y características masculinas sexuales secundarias como: comportamiento reproductor, incremento del ritmo de crecimiento, maduración de los gametos en machos; también es conocido que mejoran la síntesis de proteínas miofibrilares, incrementando el desarrollo de masa muscular. En las hembras producen virilización, inhibiendo y suprimiendo la maduración de folículos ováricos (Marcillo y Landivar, 2008, p. 53; Valsecia y Malgor, 2015, p. 214).

Existe una relación entre la estructura química y la acción hormonal, debido a que aumenta la actividad androgénica cuando se encuentra un oxígeno en C19 formando un grupo hidroxilo, esta actividad aumenta mucho más al agregar un halógeno (flúor) en C9 (Marcillo y Landivar, 2008, p. 55).

La esterificación de la testosterona en posición del OH en C17 incrementa la liposolubilidad, disminuyendo la velocidad de absorción y prolongando su acción y eficacia. Además, los derivados alquilados en C17 como la metiltestosterona, y fluoximesterona deben administrarse diariamente debido a que poseen semividas de 2,5 a 10 horas aproximadamente (Amado y Flórez, 2015, p. 882; Valsecia y Malgor, 2015, p. 212).

1.2.3 ANDRÓGENOS UTILIZADOS EN LA REVERSIÓN SEXUAL

En la inducción sexual de tilapia se han utilizado varios andrógenos activos mediante vía oral y en diferentes dosis que varían de acuerdo al tipo de hormona que se utilice, es así que entre los más difundidos para esta práctica se encuentran los siguientes:

- 17 alfa-metil-testosterona (17alfa-hidroxi-17-alfa-metil4-androstan3-ona); este andrógeno es el más utilizado a nivel comercial por la ventaja que presenta al tener una rápida disolución de sus cristales en alcohol. Además cabe recalcar que esta hormona se encuentra aprobada por la FDA (Hurtado, 2005, p. 38).
- Etiniltestosterona (17 alfa-hidroxi-17-alfa-etil4-androstan3-ona); este andrógeno es menos difundido y se obtienen resultados semejantes a los de la metiltestosterona, pero tiene la desventaja de que sus cristales necesitan varias horas para su disolución (Hurtado, 2005, p. 39).

1.2.4 METODOLOGÍA PARA LA REVERSIÓN SEXUAL

Existen varios pasos a seguir para efectuar el proceso de inducción sexual, entre estos se tiene;

- Selección de reproductores

- Obtención, selección y conteo de larvas
- Selección del esteroide
- Preparación del alimento hormonal
- Administración de alimento hormonal y frecuencia de alimentación
- Dosis y tiempo de administración del alimento hormonado
- Técnicas de verificación de la inducción sexual

1.2.4.1 Selección de reproductores

Con el propósito de obtener peces de buena calidad para el proceso de reversión sexual, se realiza una minuciosa selección de reproductores con las siguientes características: buena talla y peso, buena coloración, sanos y con ausencia de malformaciones en el cuerpo y aletas, alta tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades, proporción adecuada de sus medidas y un adecuado comportamiento en condiciones de cultivo (Jímenez y Arredondo, 2000, pp. 11, 12).

1.2.4.2 Obtención, selección y conteo de larvas

La captura de larvas se la puede realizar de dos formas; una captura diaria, que consiste en esperar de 15 a 18 días después de la siembra de los reproductores y atrapar a los peces con redes pequeñas diariamente por el contorno del estanque, actividad que garantiza un 95 % de peces de buen tamaño; y la captura total que se realiza a los 21 días de sembrados los reproductores (Hurtado, 2005, p. 33).

Las larvas colectadas se seleccionan mediante mallas para obtener peces con tallas menores a 11 mm, tamaño óptimo para la administración del alimento hormonal y cambio de sexo. Inmediatamente después de ser selccionados por talla los peces son contados ya sea por volumen o peso, dependiendo de la destreza del piscicultor.

Una vez seleccionados y contados, los alevines son transportados a los estanques de reversión, donde se pueden mantener densidades de siembra de 3 000 a 5 000 alevines por metro cúbico (Meyer, 2004, p. 107).

1.2.4.3 Selección del esteroide

La selección del esteroide a utilizar depende de la eficiencia y disponibilidad del mismo, por esta razón el esteroide masculino 17α -metiltestosterona es el más usado, por su alta potencia y fácil acceso. Se debe también tomar en cuenta que los esteroides sintéticos son más eficientes que los naturales (Hurtado, 2005, p. 26).

1.2.4.4 Preparación del alimento hormonal

Se debe considerar que la larva necesita una dieta nutritiva con un 40 % o más de proteína cruda.

La preparación del alimento se inicia con la disolución de la dosis necesaria de hormona 17α -metiltestosterona en 500 ml de alcohol etílico (95 %) para un kilogramo de alimento; posteriormente se mezcla con el alimento en polvo, rociando con un atomizador el alcohol con hormona hasta humedecer totalmente el alimento para asegurar la distribución uniforme del producto. Seguido a esto, se lleva el alimento a un lugar fresco y con sombra para evitar la degradación de la hormona por su sensibilidad a la luz y el calor, donde se podrá evaporar el alcohol (Meyer, 2004, p. 107).

El alimento preparado debe ser almacenado en refrigeración a 4 °C, en bolsas plásticas negras para evitar la degradación por efecto de la luz y en ambientes secos para anular la formación de hongos. El alimento hormonado almacenado a temperatura ambiente puede tener efecto de 7 días y un año si se lo mantiene en congelación (Escobar, 2010, p. 21; Jiménez y Arredondo, 2000, pp. 10, 11).

1.2.4.5 Administración de hormona y frecuencia de alimentación

Se suministra a las larvas el alimento hormonal diariamente en proporciones del 20 % al 30 % de su biomasa total, con una frecuencia de alimentación de 5 a 6 veces por día (Jiménez y Arredondo, 2000, p. 14).

1.2.4.6 Dosis y tiempos de administración del alimento hormonado

Existen numerosos trabajos con diferentes dosis y tiempos de administración de la hormona en diferentes especies de tilapia, pero como se ha observado, estos se encuentran en función de la hormona a utilizar. Generalmente el tiempo de aplicación debe ser hasta que la gónada se encuentre formada totalmente, es así que los tratamientos se prolongan hasta 60 días para asegurar la inducción sexual (Hurtado, 2005, p. 30; Jiménez y Arredondo, 2000, pp. 15, 16).

Tabla 1.6 Porcentaje de machos con diferentes hormonas, dosis y tiempos de tratamiento

Hormona	Dosis	Tiempo de tratamiento	Porcentaje de reversión (%)
Fluoximesterona	5 mg/kg alimento	30 días	83
Fluoximesterona	1 mg/kg alimento	35 días	100
17 alfa metiltestoterona	40 mg/kg alimento	30 días	92

(Jiménez y Arredondo, 2000, p. 16)

1.2.4.7 Técnicas de verificación de la reversión sexual

Existen dos formas de verificación, entre las que se tiene el análisis de los caracteres sexuales secundarios que se observan cuando el pez ha crecido y ha alcanzado pesos aproximados de 20 a 30 g donde se puede identificar el sexo

mediante la observación de los poros ventrales, que en las hembras presentan tres orificios y en los machos dos orificios (Hurtado, 2005, p. 18).

Otro de los métodos usados es el descrito por Shelton y Guerrero, que consiste en análisis histológicos de la gónadas cortadas transversalmente, sometidas a un leve aplastamiento (squash) y tinturadas con acetato de carmín para identificar mediante el microscopio si el tejido corresponde al testículo u ovario (Wassermann y Bertolla, 2002, p. 134).

1.2.5 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE REVERSIÓN SEXUAL

1.2.5.1 Talla inicial del pez

Marcillo y Landivar (2008), expone que tallas de 7 a 13 mm son ideales para iniciar el tratamiento, logrando una reversión sexual exitosa entre el 98 % y 100%, mientras que al usar peces con tallas comprendidas entre 14 y 15 mm y 16 y 17 mm, como se muestra en la Figura 1.2, baja la efectividad de la hormona y el porcentaje de reversión hasta un 96 % y 87 % de machos en la población monosexo, cifras inaceptables por el alto porcentaje de hembras en el cultivo (pp. 132 - 136).

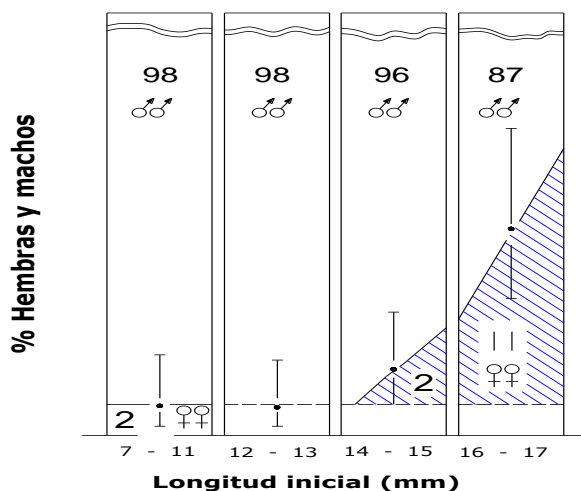


Figura 1.2 Porcentaje de reversión sexual en función de la talla inicial de tratamiento

(Marcillo y Landivar, 2008, p. 137)

1.2.5.2 Talla mínima post-tratamiento

Finalizado el tratamiento el alevín por lo general adquiere pesos entre 0,2 a 0,4 gramos y longitudes de 2,5 a 4 cm, por esta razón peces con tallas menores a las esperadas son identificados como hembras. Es así que en estudios anteriores con peces de tamaños entre 18 y 20 mm se encuentra hasta el 5 % de hembras, mientras que en peces con tallas de 14 a 16 mm existe del 5 al 7 % de hembras, y peces con tallas menores a 13 mm se encuentra hasta el 23 % de hembras, como se muestra en la Figura 1.3, por consiguiente para mejorar el porcentaje de reversión se debe separar los peces de menor tamaño con mallas de 3,2 mm y alargar el tiempo de tratamiento (Marcillo y Landivar, 2008, pp. 128, 138, 139, 140, 141) .

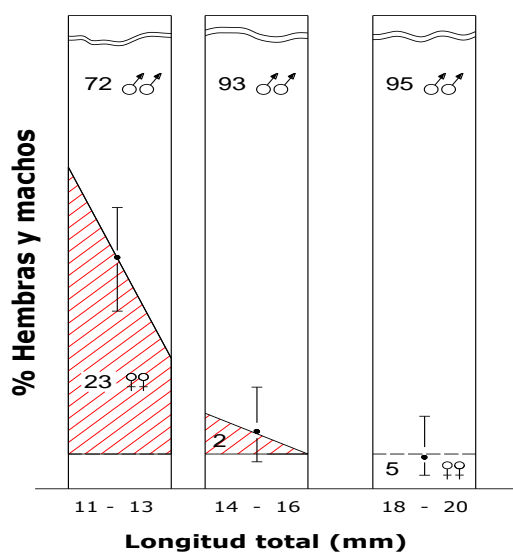


Figura 1.3 Porcentaje de reversión sexual en función de la talla post-tratamiento

(Marcillo y Landivar, 2008, p. 137)

1.2.5.3 Duración mínima del tratamiento

La duración del tratamiento se encuentra en rangos de 20 a 30 días, mientras sucede la definición gonádica de la tilapia; por el contrario existen, especies que definen su gónadas en mayor tiempo, como por ejemplo en la tilapia aurea que sucede entre los 49 a 56 días. Por esta razón es recomendable alargar los

tiempos de tratamiento para asegurar una reversión exitosa del sexo (Hurtado, 2005, p. 30; Von-Hessberg, Grajales, y Restrepo, 2012, p. 159).

1.2.6 RIESGO DE CONSUMO DE PECES TRATADOS CON 17 ALFA-METILTESTOSTERONA

Una de las principales preocupaciones en el consumo de peces reversados químicamente ha sido el efecto que pueda causar en el ser humano, motivo por el cual se realizaron estudios en peces, a los cuales se les suministró la 17 α -metiltestosterona marcada radiactivamente con C14 y observaron que a las 6 horas esta radioactividad se concentró en un 90 % en las vísceras durante los 21 días de tratamiento. Esta radioactividad decreció exponencialmente en un 90 % en las primeras 24 horas de terminado el tratamiento, y a los 21 días de ser alimentado el pez con alimento sin hormona se detectó el 1 % de residualidad, lo que implica que no existe riesgo potencial en el consumo de peces tratados con 17 α -metiltestosterona. De igual forma, se realizaron estudios aplicando hormona en el músculo de pez en dosis de 2 y 60 mg/kg de alimento durante 2 y 11 semanas, y se pudo ver que al primer día de finalizado el tratamiento se presentaron cantidades detectables de hormona y al tercer día ya era despreciable la residualidad encontrada de 50 ng/g, por lo que se deduce que en los meses siguientes alimentados normalmente no habrá residuos de ésta (Jiménez y Arredondo, 2000, p. 20).

1.3 ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO

La tilapia se alimenta principalmente de la producción primaria del estanque que le provee de nutrientes esenciales, pero en muchas ocasiones este alimento no se encuentra en cantidades necesarias para su adecuada nutrición y desarrollo, haciendo necesaria la introducción de alimentos suplementarios, como los balanceados, con una adecuada formulación, que proporcionen a los peces los nutrientes necesarios para su óptimo crecimiento (Lozano y López, 2001, p. 97).

La formulación de un alimento balanceado eficaz en calidad y costo de producción depende del conocimiento claro de las necesidades nutricionales de los peces, así como también de otros factores tales como: digestibilidad, disponibilidad de nutrientes, limitaciones de los ingredientes en el alimento y la disponibilidad de las materias primas a utilizar.

1.3.1 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LA TILAPIA ROJA

La proteína, ácidos grasos esenciales, minerales, vitaminas y fuentes de energía son nutrientes esenciales que no deben faltar en la dieta del organismos y sus requerimientos dependen de la edad del pez o actividad como, mantenimiento, crecimiento o reproducción (Lozano y López, 2001, p. 98; Pardo, 2007, p. 948).

1.3.1.1 Proteína y aminoácidos

El contenido de proteína y aminoácido en la alimentación de tilapias se considera uno de los factores más importantes en la nutrición para el desarrollo comercial de esta especie, por ende hay que tomar en cuenta factores como el peso del pez, estado fisiológico, producción primaria de estanque y economía para proporcionar los niveles de proteína óptimos para su desarrollo. En la Tabla 1.7 se presenta los requerimientos de proteína de acuerdo al peso del pez (SAGARPA, 2009, p. 70).

Tabla 1.7 Requerimientos de proteína en tilapia según el peso

Peso (g)	Proteína (%)
0,5	40 – 45
0,5 – 10	40 – 35
10 – 30	30 – 35
30 – 250	30 – 35
> 250	25 – 35

(Cantor, 2007, p. 55)

1.3.1.2 Carbohidratos

Según Pardo (2007), la necesidad de carbohidratos por parte de los peces es básicamente porque constituyen una fuente más barata de energía, debido a que los peces poseen enzimas como la amilasa que digieren los carbohidratos (p. 956).

1.3.1.3 Lípidos

Los lípidos son importantes fuentes de energía y ácidos grasos esenciales como el linoleico y linolénico, y el requerimiento en los peces está en función de la proteína (Pardo, 2007, p. 955).

Niveles de lípidos superiores al 5 % en la dieta normal de las tilapias no son usados eficientemente como fuentes de energía y tiene poca influencia en el crecimiento de las tilapias (Torres y Hurtado, 2012, p. 64).

En la tabla 1.8 se presenta la relación proteína-grasa para el mantenimiento, crecimiento y engorde el tilapia.

Tabla 1.8 Relación proteína-grasa

Proteína (%)	Grasa (%)
40	6 – 8
35	4,5 – 6
25 - 30	3 - 3,5

(SAGARPA, 2009, p. 72)

1.3.1.4 Fibra

La fibra es difícil de digerir por parte de los peces y pasa por el tracto digestivo sin ser aprovechada, motivo por el cual se recomienda que no sobrepase del 10 % en las dietas (Lozano y López, 2001, p. 101).

1.3.1.5 Vitaminas y minerales

Tabla 1.9 Requerimientos de vitaminas y minerales en la dieta de tilapia

Vitaminas	Nivel en la dieta	Minerales	Nivel en la dieta
A (UI/kg)	500	Calcio (%)	0
D (UI/kg)	200	Fósforo (g/kg)	5-10
E (mg/hk)	10	Magnesio (g/kg)	0,5-0,7
K (mg/hk)	0-1	Potasio (g/kg)	2
Niacina (mg/hk)	6-10	Cinc (mg/kg)	20
Ácido fólico (mg/hk)	0-0,5	Hierro (mg/kg)	30
Ácido pantoténico (mg/hk)	3-5	Cobre (mg/kg)	5
Biotina (mg/hk)	0-0,5	Cromo (mg/kg)	1
Vitamina C (mg/hk)	50	Selenio (mg/kg)	0,1
Colina (mg/hk)	400		

(Llanes, Toledo, Fernández, y Lazo de la Vega, 2006, pp. 52, 53)

1.3.2 MATERIAS PRIMAS USADAS EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO

En la elaboración de alimentos balanceados es muy importante seleccionar materias primas de calidad, ya que estas constituyen el 90 % del proceso de manufactura (Bortone, 2001, p. 14).

La selección de los ingredientes que se utilizarán en las fórmulas debe estar de acuerdo al tipo de proceso a utilizar (extrusión o peletización), ya que éste podría afectar directamente las características físicas del alimento, tales como la densidad, forma, textura, color y la estabilidad en el agua (Bortone, 2001, p. 14).

Las principales materias primas básicamente utilizadas en la elaboración de alimento balanceados para peces son las siguientes:

Tabla 1.10 Principales materias primas de alimentos balanceados

Productos	Ingredientes	Porcentaje en mezclas normales (%)
Productos de granos	Centeno, trigo, triticale y maíz	65
Productos con proteína	Soja, arvejas, torta de oleaginosas, harinas de peces, carne y harina de huesos, grasa y aceite	20
Pre-mezclas	Pre-mezclas de proteína con minerales y vitaminas	12
Minerales y vitaminas	Pre-mezclas	3

(Vinther, 2006, p. 5)

1.3.3 PROCESOS DE ELABORACIÓN DE BALANCEADO

1.3.3.1 Molienda

Este proceso comprende la reducción de las partículas por medios mecánicos, de tal manera que permita una mezcla adecuada de los ingredientes. Los tamaños de partícula dependerán del tipo de alimento que se fabrique. Además, la molienda contribuye a un mejor aprovechamiento del alimento, ya que aumenta su digestibilidad, haciéndolo más apetitoso (Bortone, 2001, p. 19).

1.3.3.2 Mezclado

Es el proceso mediante el cual se distribuyen homogéneamente los ingredientes de tal forma que cada parte del alimento mezclado contenga las materias primas en igual proporción que la formulación inicial. Este proceso puede ser afectado por factores tales como: el peso de los ingredientes, la secuencia de adición de los ingredientes, el tiempo de mezcla, homogenización, la adición de líquidos, la

velocidad de rotación, desgaste de las paletas o cintas y llenado excesivo (Bortone, 2001, p. 28).

1.3.3.3 Extrusión

Es el proceso mediante el cual se somete la mezcla en forma de harina a una cocción a altas temperaturas (120 °C – 160 °C) y presión, en corto tiempo (5 -10 s) producido por la disipación de la energía mecánica la cual es transferida por medio de los tornillos sinfin o gusanos del extrusor.

A medida que se somete a altas temperaturas y presión, y las fuerzas de corte de los elementos actúan, esta mezcla en forma de harina cambia hasta formar una masa visco-elástica (Bortone, 2001, p. 43).

1.3.3.4 Secado

Comprende al proceso de deshidratación de los pellets provenientes del extrusor hasta un nivel de humedad de máximo el 12 % que permita su óptimo almacenamiento.

1.3.3.5 Ensaque

Corresponde al empacado del alimento previo pesaje. Los bultos no deben ser empacados con temperaturas superiores en 5 °C a la temperatura ambiente.

1.3.3.6 Almacenamiento

El almacenamiento de este tipo de alimentos debe realizarse en lugares secos y protegidos de toda humedad, ya que contiene ingredientes delicados.

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El estudio fue realizado en la Parroquia de Nanegal, barrio La Delicia, en el Centro Piscícola Nanegal del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha, el mismo que se encuentra a una altitud de 1 199 m.s.n.m. y mantiene una temperatura ambiental de 16-24 °C durante todo el año.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

El Centro Piscícola Nanegal posee una vertiente de agua propia, con un caudal de 20 L/s, durante los meses de invierno, y baja hasta 10 L/s durante el verano. Su temperatura oscila entre 23 °C y 27 °C, dependiendo de la época del año, haciéndolo un clima propicio para el desarrollo de esta especie.

El Centro Piscícola de Nanegal cuenta con las instalaciones adecuadas para la producción de semilla y carne de tilapia, siendo la infraestructura la que se detalla a continuación.

- 7 estanques de reproducción de tilapia
- 10 estanques de alevinaje de tilapia
- 5 estanques de engorde de tilapia
- 1 estanque de reserva de reproductores
- 6 canastillas de reversión sexual

2.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALIMENTO

El alimento balanceado fue sometido a un análisis bromatológico en el DECAB, de la Escuela Politécnica Nacional.

La cantidad de muestra enviada fue de 100 g, en la que se determinaron los porcentajes de: humedad, materia seca, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y ceniza.

Los análisis en el laboratorio tuvieron como finalidad, verificar el contenido de proteína, para garantizar la óptima alimentación de larvas y buen desarrollo de las mismas.

2.4 PLAN DE ALIMENTACIÓN

2.4.1 INGREDIENTES UTILIZADOS PARA LA PREPARACIÓN DEL ALIMENTO HORMONAL

Los insumos utilizados para la elaboración del alimento hormonal fueron los descritos en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Ingredientes utilizados en la preparación del alimento hormonal

Ingredientes	Unidad de Medida	Cantidad
Hormona 17 α -metiltestosterona	Miligramos	60, 80 y 100
Etanol al 90%	Mililitros	3 000
Alimento Balanceado en polvo	Kilogramos	4

2.4.2 PREPARACIÓN DEL ALIMENTO HORMONAL

Se procedió al pesaje del alimento en polvo con el 45 % de proteína, posteriormente se disolvió las dosis de hormona masculinizante 17 α -metiltestosterona en 1000 ml de etanol al 90 %. Esta disolución hormona-alcohol fue mezclada con el alimento en polvo hasta humedecerla totalmente, para dejarla secar a temperatura ambiente y bajo sombra durante un periodo de 24 h, esto se realizó con el fin de evaporar el alcohol y que la hormona se adhiriera al alimento. Finalmente, se refrigeró este alimento hormonal en fundas negras para

conservarlo en buen estado, evitando que la hormona pierda su actividad masculinizante por acción de la luz y el calor. Se determinó la homogeneidad de la mezcla del alimento hormonal empleado en la investigación con un colorante vegetal, el cual fue aplicado en la mezcla de la hormona con alcohol, para posteriormente rociarlo en el alimento en polvo.

2.4.3 DETERMINACIÓN DE LA TABLA Y FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN

Para el establecimiento de las tablas de alimentación, se realizó un muestro inicial del 10 % de la población de cada bastidor, donde los peces fueron pesados y medidos.

Con los datos de peso y talla obtenidos de los diferentes muestreos realizados en cada período de crecimiento de la tilapia, se establecieron las tablas de alimentación de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Peso} \left(\frac{g}{1000} \right) = Lt(mm)^{3,23} \times 0,0074 \quad [2.1]$$

Dónde:

Lt (mm): Longitud total del pez

3,23 y 0,0074: son constantes

Debido a la fragilidad de los peces a edades tempranas, se utilizó la fórmula descrita anteriormente para determinar el incremento diario de peso y así realizar el cálculo de la biomasa correspondiente a cada repetición y establecer la cantidad de alimento hormonal a suministrar diariamente.

El cálculo de la biomasa se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Biomasa} = \text{Peso promedio del pez (g)} \times N^{\circ} \text{ de peces sembrados} \quad [2.2]$$

Se alimentó a los peces con una tasa de alimentación del 20 % de su biomasa durante 35 días, con una frecuencia de 6 veces al día. Terminados los 35 días de reversión se alimentó a los peces con alimentos comerciales sin hormona, recomendados para cada etapa de cultivo, de acuerdo al nivel de proteína necesario para su desarrollo.

2.5 SELECCIÓN DEL MEJOR TRATAMIENTO

El mejor tratamiento fué determinado mediante los análisis estadísticos realizados en las diferentes etapas de reversión sexual y etapa de crecimiento de la tilapia, roja respectivamente.

2.5.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

De acuerdo a los objetivos planteados en la investigación, se realizó un diseño completamente al azar por bloques para la determinación de los porcentajes de reversión y las raciones alimenticias. Este diseño constó de cuatro tratamientos con tres repeticiones cada una, en cada repetición se utilizaron 300 peces, para dar un total de 900 peces por tratamiento y 3 600 peces utilizados durante toda la investigación. Para los muestreos respectivos se tomó un tamaño de muestra del 10 % del total de la población de cada repetición. Se consideró este tamaño de muestra por la fragilidad de los peces a edades tempranas y por recomendación técnica.

2.5.1.1 Tratamiento 1

El tratamiento 1 consistió en aplicar una dosis de 60 mg de hormona masculinizante (17 α -metiltestosterona) por kg de alimento, al primer grupo de animales.

2.5.1.2 Tratamiento 2

El tratamiento 2 consistió en aplicar una dosis de 80 mg de hormona masculinizante (17 α -metiltestosterona) por kg de alimento, al segundo grupo de animales.

2.5.1.3 Tratamiento 3

El tratamiento 3 consistió en aplicar una dosis de 100 mg de hormona masculinizante (17 α -metiltestosterona) por kg de alimento, al tercer grupo de animales.

2.5.1.4 Control

El tratamiento control consistió en aplicar una alimentación normal sin la hormona masculinizante (17 α -metiltestosterona), al cuarto grupo de animales.

En la Tabla 2.2 se presenta el diseño experimental completamente al azar que se utilizó en la reversión sexual de tilapia con las diferentes dosis de aplicación.

Tabla 2.2 Representación gráfica del diseño experimental planteado

DISEÑO EXPERIMENTAL COMPLETAMENTE AL AZAR				
	Tratamientos			
Repeticiones	1 (60 mg)	2 (80 mg)	3 (100 mg)	Control
1	T1R1	T2R1	T3R1	CR1
2	T1R2	T2R2	T3R2	CR2
3	T1R3	T2R3	T3R3	CR3

2.5.2 ETAPA DE REVERSIÓN SEXUAL DE TILAPIA ROJA

2.5.2.1 Preparación y adecuación de instalaciones

Se utilizaron 4 canastillas de geomembrana del laboratorio de reversión sexual, las mismas que fueron revisadas, reparadas y desinfectadas.

En la desinfección se utilizó Nitrodesinfect disuelto en agua, el cual se procedió a fumigar dentro de las canastillas, para a continuación colocar cal agrícola y dejarla reposar 3 días, con el fin de desinfectar adecuadamente. A continuación se procedió a lavar la canastilla y se llenó definitivamente para la colocar los bastidores, los mismos que fueron sujetos mediante una manila a los ganchos ubicados en los bordes de cada una de éstas. Cada tratamiento tuvo lugar en una canastilla y las repeticiones se realizaron en los bastidores. En cada canastilla se colocaron 3 bastidores.

2.5.2.2 Construcción de bastidores para reversión sexual

Se construyeron 12 bastidores con marcos de madera, los mismos que fueron recubiertos con malla verde, con un ojo de luz de 1 mm x 2 mm, en estos se colocaron ganchos para sujetarlos a las canastillas, además se adicionaron pesos en el fondo de cada bastidor para mantenerlos sumergidos dentro de las canastillas y evitar cualquier tipo de problema. Estos bastidores fueron contruidos con las siguientes dimensiones: 0,90 m de largo; 0,30 m de ancho y 0,30 m de profundidad, dando una superficie de 0,27 m² y un volumen de 0,081 m³.

2.5.2.3 Obtención de larvas

Para obtener las larvas necesarias para la investigación, se inició con la siembra de reproductores previamente seleccionados, de acuerdo a sus caracteres físicos

y genéticos, los mismos que fueron sembrados en una relación de un macho para cada hembra.

Para la siembra de reproductores se procedió a desinfectar y lavar las piscinas con Nitrodesinfect, a una dosis de 10 g/m². Posteriormente, se colocó cal agrícola al boleó para eliminar los microorganismos restantes y se la dejó reposar 3 días, después de los cuales se llenó y colocó a los peces.

A los 21 días de sembrados los reproductores, se recolectaron las larvas de dos días de edad, recolección que se realizó con una malla de 1 mm por 2 mm de ojo de luz. Las larvas fueron recolectadas en los contornos de la piscina de reproducción al medio día, como se muestra en la Figura 2.1, ya que a esta hora las larvas salen de la cavidad bucal de la hembra para alimentarse.

La maduración sexual de la tilapia es asincrónica, motivo por el cual se realizó la cosecha de los alevines durante un período de 3 a 5 días después de la primera eclosión, con el objeto de recolectar la mayor cantidad de larvas provenientes de la reproducción para dar inicio a la investigación.



Figura 2.1 Recolección de larvas de tilapia para reversión

2.5.2.4 Selección de larvas

Las larvas provenientes de la recolección fueron seleccionadas mediante una zaranda construida con un marco de madera y recubierta con malla de 0,05 cm de

ojo de luz, la cual se colocó en una tina con agua de 1,5 m de diámetro y poco a poco se colocaron las larvas en la malla, como se muestra en la Figura 2.2, obteniendo de esta forma peces con tallas que oscilaron entre 10 a 11 mm de longitud.

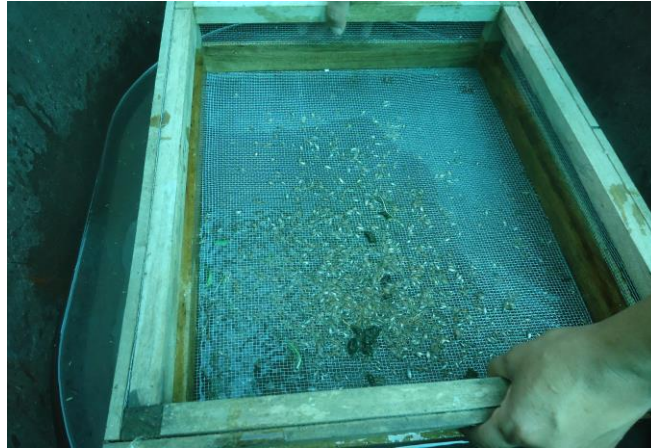


Figura 2.2 Tamizado de larvas de tilapia para reversión sexual

La selección de las larvas para la investigación tuvo lugar dentro del laboratorio en tinas con temperaturas del agua superior a los 22,5 °C, para evitar el shock térmico que les puede causar a los peces los cambios bruscos de temperatura y ocasionar la muerte de la larva o pez.

2.5.2.5 Conteo de larvas

Seguida a la selección de larvas se realizó un conteo de prueba, mediante el método de comparación, en el cual las larvas se colocaron en un colador y fueron contadas manualmente, determinado de esta forma el número de peces que el colador podía albergar, que para este caso fueron 100 peces. Es así que mediante esta práctica se colocaron 300 peces en cada bastidor.

Cabe recalcar que los peces utilizados para el conteo de prueba no fueron utilizados en la investigación por la excesiva manipulación que recibieron. Con el propósito de verificar tallas y pesos de los peces se tomaron 90 unidades experimentales adicionales correspondientes a un 10 % de la población total y

fueron pesadas en una balanza marca BOECO, y medidas como se muestra en la Figura 2.3.

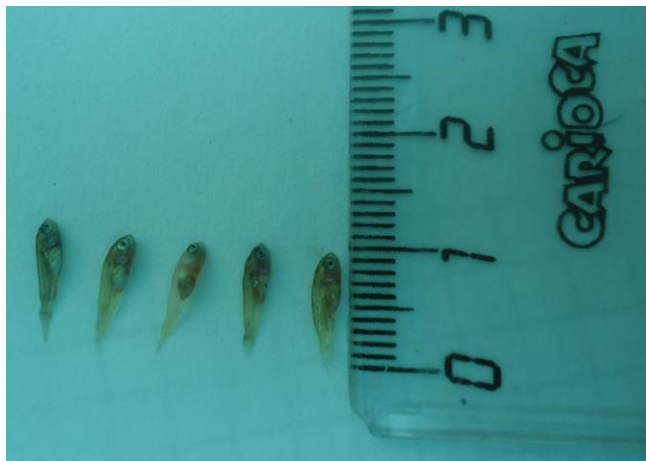


Figura 2.3 Medición de larvas de tilapia para reversión sexual

Las larvas medidas y pesadas fueron desechadas, ya que existió una mortalidad superior al 60% en este proceso, motivo por el cual se procedió a colocar un excedente de 90 larvas por tratamiento, proveniente del mismo grupo seleccionado anteriormente.

2.5.2.6 Distribución de las larvas en los bastidores

La siembra fue de 300 larvas por cada bastidor y se utilizaron tres bastidores por tratamiento, dando un total de 900 larvas por tratamiento y 3 600 larvas utilizadas en la investigación. La densidad de siembra empleada fue de 1 112 larvas/m², por repetición.

2.5.3 CONTROL DE LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL AGUA EN EL PROCESO DE REVERSIÓN SEXUAL

Se realizó el monitoreo de la temperatura, oxígeno, pH, turbidez y totales sólidos disueltos en los diferentes tratamientos investigados.

Se tomaron los datos una vez por día, para controlar los parámetros fisicoquímicos del agua en caso que exista algún tipo de problema.

2.5.4 CONTROL DE CRECIMIENTO Y MORTALIDAD EN LA REVERSIÓN SEXUAL

Se determinó el crecimiento y ganancia de peso de las larvas de tilapia mediante los muestreos realizados a los 35 días de edad del pez. La determinación del crecimiento y ganancia de peso se realizó mediante el cálculo del incremento de peso y el incremento de talla, con las siguientes fórmulas:

$$IP = Pf - Pi \quad [2.3]$$

Donde:

IP: Incremento de peso

Pi: Peso inicial

Pf: Peso final

$$IT = Tf - Ti \quad [2.4]$$

Donde:

IT: Incremento de talla

Ti: Talla inicial

Tf: Talla final

2.5.5 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REVERSIÓN SEXUAL

La determinación del sexo fué realizada mediante el método visual, para evitar el sacrificio del animal, a los 140 días de edad del pez, con un peso promedio de aproximadamente 45 g.

En el proceso de determinación sexual se procedió a sedar a los animales con esencia de clavo de olor, a una dosis de 2 ml/L de agua para adormecer al pez y evitar daños que causen la muerte del mismo. Posteriormente se tinturó con azul de metileno la parte ventral del pez para identificar a machos y hembras mediante los orificios de la papila genital.

2.5.6 ETAPA DE CRECIMIENTO Y ENGORDE DE LA TILAPIA ROJA

2.5.6.1 Control de parámetros fisicoquímicos del agua

Se monitoreó la temperatura, pH, turbidez, total sólidos disueltos, oxígeno y conductividad con un medidor multi-paramétrico de marca HORIBA. Se realizaron dos mediciones por día y se registraron los promedios de las mediciones a los días 35, 95, 110, 125, 140, 155, 170, 185, 200, 215, 230, 245 y 260.



Figura 2.4 Medidor multi-paramétrico de calidad de agua

Se realizaron mediciones permanentes con el propósito de controlar los parámetros fisicoquímicos del agua, mediante recambios de agua, evitando de

esta forma altas variaciones en los tratamientos que pudieren causar fallas en las investigaciones propuestas.

2.5.6.2 Plan de alimentación en la etapa de crecimiento y engorde de tilapia

Terminada la etapa de reversión sexual, se realizó un muestreo para determinar el peso y talla de los peces y así se calculó la biomasa existente en cada tratamiento, lo que permitió establecer las tablas de alimentación con las nuevas raciones de alimento a suministrar a cada tratamiento. La alimentación a partir de los 35 días fue con alimento balanceado comercial sin hormona.

Para la alimentación en cada etapa del cultivo se utilizó la tasa de alimentación recomendada, como se menciona en la Tabla 1.4, descrita en el acápite 1.1.7.2.

Para el ajuste de la tabla de alimentación se realizaron muestreos cada 15 días, para determinar la biomasa existente y proporcionar la nueva ración respecto a la tasa alimenticia recomendada para la edad y peso obtenidos. En el periodo de 35 a 95 días no se realizó el muestreo quincenal, para evitar la mortalidad a causa de la manipulación excesiva, motivo por el cual durante dicho tiempo se fue incrementando el 10 % de alimento quincenalmente de acuerdo a recomendaciones realizadas por el técnico del CPN.

La ración alimenticia fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ración alimenticia} = \text{Biomasa} * \% \text{ tasa de alimentación} \quad [2.5]$$

2.5.6.3 Control de crecimiento y mortandad en la etapa de crecimiento y engorde

Se realizó el control de crecimiento evaluando los pesos y tallas promedio obtenidas a lo largo de la investigación en las etapas de reversión sexual y crecimiento de tilapia, respectivamente.

Para determinar la talla y peso inicial se realizaron los muestreos según el siguiente esquema presentado en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Esquema de toma de muestras para peso y talla de tilapia

Muestra	Tiempo (días)
M0	1
M1	35
M2	95
M3	110
M4	125
M5	140
M6	155
M7	170
M8	185
M9	200
M10	215
M11	230
M12	245
M13	260

Se determinó la ganancia de peso y talla de los peces calculando el incremento de peso e incremento de talla mediante los diferentes muestreos realizados durante la investigación.

El control de la mortalidad de los peces se llevó a cabo desde el primer día de sembradas las larvas hasta la finalización de la investigación descrita.

Finalmente, se calculó la biomasa obtenida durante toda la investigación para cada tratamiento. La biomasa generada por cada tratamiento fue el punto de partida para determinar el mejor tratamiento en cuanto a ganancia de peso obtenida.

2.6 DISEÑO DE INSTALACIONES

2.6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

Para el dimensionamiento de las instalaciones se tomaron en cuenta factores tales como espacio físico, producción anual esperada y caudal de agua disponible para la producción de alevines.

Los factores tales como la producción anual se estableció de acuerdo a la cantidad de agua disponible en la estación de verano en el centro piscícola debido a que en esta época el estiaje es alto y puede ocasionar problemas en la crianza de alevines.

Se consideró también un sistema de cultivo en tanques circulares por las ventajas que éste presenta para la producción de peces. Se estimó un cultivo intensivo de alevines para aumentar la productividad del centro piscícola.

En el diseño se aprovechó la fuerza de gravedad, evitando el uso de bombas.

2.6.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS ESTANQUES

Se realizó un diseño en paralelo, que permite a los estanques tener una entrada y salida independiente de agua y evitar la contaminación cruzada.

2.7 ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó el cálculo de los costos de producción de cada tratamiento, para determinar la mayor rentabilidad obtenida en cada uno de los tratamientos y escoger el mejor tratamiento con respecto a lo económico.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LA REVERSIÓN SEXUAL

El análisis de la reversión sexual se realizó en base al porcentaje de machos, talla y peso final obtenidos a los 35 días de tratamiento hormonal. La reversión sexual por alimentación de hormonas masculizantes pudo ser aplicada a la tilapia por ser una especie gonocórica indiferenciada, la que ha reportado su diferenciación sexual entre los días 10 y 14 después de la eclosión (López, Carvajal y Botero, 2007, p. 319).

3.1.1 FACTORES DE ESTUDIO DE LA REVERSIÓN SEXUAL

3.1.1.1 Calidad del agua

En la Tabla 3.1 se detallan los promedios de los parámetros fisicoquímicos del agua en los 35 días de reversión sexual.

Tabla 3.1 Parámetros fisicoquímicos del agua

Parámetros físico químicos del agua				
Parámetros	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Control
Temperatura (°C)	22,80	22,76	22,90	22,84
Oxígeno (mg/l)	5,60	5,55	5,64	5,77
pH	7,59	7,77	7,78	7,61
Turbidez (NTU)	7,50	8,10	8,0	7,70
TDS (g/l)	0,039	0,037	0,038	0,038

Los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron dentro de los rangos recomendados para el cultivo de tilapia (Hurtado, 2005, p. 12).

En las Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer si existió influencia de la temperatura, oxígeno, pH, turbidez y TDS en el proceso de reversión sexual.

Tabla 3.2 Análisis de varianza de la temperatura a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0323333	3	0,0107778	0,98	0,4506
Intra grupos	0,0883333	8	0,0110417		
Total (Corr.)	0,120667	11			

De la Tabla 3.2 se observa que no existió una influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) de la temperatura durante los 35 días del proceso de reversión sexual.

La temperatura se mantuvo en un promedio superior a 22°C durante los 35 días de alimentación hormonal en todos los tratamientos, lo que implica que no existieron variaciones que pudieran causar un efecto negativo en la reversión sexual, ya que cambios bruscos de temperatura modifican la proporción de sexos que se pudiere obtener originalmente con la alimentación hormonal donde, según estudios complementarios sobre las variaciones de temperatura de 21 a 23 °C en tilapia aurea durante 4 semanas de tratamiento hormonal a una dosis de 60 mg/kg de alimento, se obtuvieron el 100% de reversión sexual, mientras que en la misma especie variaciones de temperatura de 27 a 29°C se logró obtener solamente el 97% de reversión sexual (Hurtado, 2005, p. 30).

Fue importante mantener la temperatura del agua a niveles adecuados para el desarrollo de la reversión sexual, ya que como lo señala Varadaraj et al. (1994), citado por Jiménez y Arredondo (2000), la reversión sexual a diferentes

temperaturas proporcionan varios porcentajes de machos en el cultivo, como es el caso de peces manejados a 27 °C logran el 100 % de masculinización, mientras que a temperaturas mas altas como a los 33 °C se produce un alto porcentaje de ovotestis y a los 38 °C no existe reversión sexual, y a temperaturas menores a 25 °C se logran solamente el 60 % de masculinización. Cabe recalcar que las dosis de hormona utilizada para estos estudios fue de 5 a 10 mg/kg de alimento (p. 7).

Por otra parte, la influencia de la temperatura en la reversión sexual también se encuentra definida por la especie de tilapia, como es el caso de *Oreochromis mossambicus*, especie que fue expuesta a temperaturas bajas (19 °C) en etapas tempranas de incubación y se obtuvo un 89 % de machos. En similares estudios con *O. mossambicus* expuesta a rangos de temperatura entre 20 y 32 °C se observó que mientras mayor fue la temperatura la proporción de machos incrementó. Sin embargo en estudios realizados con *O. aureus* con rangos de temperatura de 32 °C se logró un 98 % de machos (Devlin y Nagahama, 2002, p. 271).

Es así que mediante el análisis estadístico realizado se determinó que la temperatura no influyó, ya que no hubieron diferencias significativas y se mantuvo dentro de los rangos óptimos permitidos entre tratamientos y sus repeticiones, ya que como lo argumenta, Hurtado (2005), cambios bruscos de temperatura afecta los mecanismos de definición sexual, limitando de esta forma la efectividad de la alimentación hormonal proporcionada a los peces. (p. 30).

En la Tabla 3.3 se presenta el análisis de varianza para el oxígeno a los 35 días.

Tabla 3.3 Análisis de varianza del oxígeno a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0772333	3	0,0257444	0,94	0,4665
Intra grupos	0,219733	8	0,0274667		
Total (Corr.)	0,296967	11			

En la Tabla 3.3 se observa que no existió una influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) del oxígeno durante los 35 días del proceso de reversión sexual.

En cuanto al oxígeno presente en el agua durante la investigación, se observó que se mantuvo con un promedio superior a 5,5 mg/L, de tal forma que estuvo dentro de los rangos óptimos de cultivo para tilapia, como lo describe Jiménez y Arredondo (2000), señalando que los rangos de oxígeno disuelto en el agua deben ser superiores a 4,5 mg/L para un buen crecimiento de la tilapia (p.18).

En la Tabla 3.4 se presenta el análisis de varianza del pH en la etapa de reversión sexual.

Tabla 3.4 Análisis de varianza del pH a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0933583	3	0,0311194	0,30	0,8212
Intra grupos	0,816267	8	0,102033		
Total (Corr.)	0,909625	11			

En la Tabla 3.4 se observa que no existió una influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) del pH durante los 35 días del proceso de reversión sexual.

El pH es uno de los parámetros que puede afectar la reversión sexual en la tilapia, es así que estudios realizados con esta especie argumentaron que se puede obtener una proporción de machos del 97 % al 100 % con un pH cercano a 6,2, la misma que disminuye al aumentar el pH. Entre otros estudios se señaló que a un pH básico se promueve la masculinización, mientras que en un pH ácido se promueve la feminización; sin embargo, la información sobre estos efectos es muy limitada (Vidal et al., 2015, p. 52). Los rangos de pH obtenidos durante la investigación se encontraron en un promedio superior a 7,5 e inferior a 8, encontrándose de esta manera dentro de los niveles óptimos recomendados por Jiménez y Arredondo (2000) para el proceso de reversión sexual (18).

En la Tabla 3.5 se presenta el análisis de varianza de la turbidez registrada en la etapa de reversión sexual.

Tabla 3.5 Análisis de varianza de la turbidez a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,546667	3	0,182222	0,51	0,6844
Intra grupos	2,84	8	0,355		
Total (Corr.)	3,38667	11			

En la Tabla 3.5 se observa que no existió una influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) de la turbidez durante los 35 días de reversión sexual.

En lo que respecta a la turbidez, se mantuvo con un promedio de 7 a 8, lo que significó que el agua estuvo clara durante todo el tiempo de reversión sexual, evitando de esta forma la formación de producción primaria (plancton), para así garantizar el 100 % del consumo del alimento hormonal por parte de las larvas y lograr de esta manera el total aprovechamiento de la hormona para obtener una reversión sexual exitosa, ya que al existir producción primaria en los estanques los peces prefieren consumir esta y no el alimento hormonal.

En la Tabla 3.6 se presenta el análisis de varianza de los TDS a los 35 días.

Tabla 3.6 Análisis de varianza de los TDS a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00000291667	3	9,72222E-7	0,23	0,8738
Intra grupos	0,000034	8	0,00000425		
Total (Corr.)	0,0000369167	11			

En la Tabla 3.6 se observa que no existió una influencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) de los TDS durante los 35 días de reversión sexual.

El total de sólidos disueltos (TDS) se mantuvo dentro de los rangos óptimos para la especie y al no existir diferencia significativa entre los tratamientos se corrobora que la investigación se realizó en condiciones similares.

3.1.1.2 Talla

Durante el proceso de selección mediante mallas de 3,5 mm de ojo de luz se obtuvo peces con una talla promedio de 10 mm, factor importante en la reversión sexual, ya que como lo menciona Marcillo y Landivar (2008), al ser la tilapia una especie que define su sexo en el estadio final de desarrollo de postlarva, la administración del alimento hormonal en tallas superiores a 11 mm causará que el tratamiento a realizarse no sea efectivo en la población a revertir, ya que los ovarios de la hembra genética se encuentran ya diferenciados sexualmente (p. 132).

Es así que estudios realizados por la ESPOL revelaron que larvas de 7-13 mm de longitud, tratadas con una dieta hormonal, obtuvieron el 100 % de reversión sexual, mientras que en larvas de 14-15 mm de longitud con la misma dieta hormonal se obtuvo un 7 % de hembras ($p < 0,05$) y finalmente en un último grupo con larvas de 16-17 mm, con la misma dieta hormonal se presentó un porcentaje de hembras del 13 %, siendo esta una talla inaceptable para iniciar con el proceso de reversión sexual, ya que ocasionaría cultivos con un alto porcentaje de hembras, siendo éste antieconómico (Marcillo y Landivar, 2008, pp. 132-134).

Además, cabe recalcar que la edad es otro factor importante en el proceso de reversión sexual, motivo por el cual se debe administrar la alimentación hormonal a peces no mayores a 5 días de edad para no afectar el porcentaje de machos a obtener (Jiménez y Arredondo, 2000, p.13).

Se debe tomar en cuenta que las tallas máximas para el proceso de reversión sexual no debe ser superior a los 13 mm, ya que la hormona reduce su efecto a mayores tallas o en su efecto pueden incluirse larvas de 14 a 15 mm de longitud

siempre y cuando este grupo no se exceda el 10 % del total de la población a ser revertida (Meyer , 2004, p. 107).

3.1.1.3 Peso

Durante los pesajes realizados a los peces seleccionados mediante la malla de ojo de luz de 3 mm, se obtuvo un peso promedio de 0,01 g. De esta forma se demostró que los pesos medidos corresponden a lo que se menciona en algunos estudios realizados, que describen los rangos de peso de las larvas a edades de 1 a 3 días de edad, en 0,01 g a 0,05 g (Meyer, 2004, p. 103).

El conteo y selección permitió la obtención de larvas de tilapia homogéneas para el proceso de reversión sexual. En función de los pesos y tallas obtenidas se estableció la tabla de alimentación con los respectivos ajustes durante los 35 días de alimentación hormonal.

Al obtener pesos uniformes para todas las repeticiones de cada uno de los tratamientos, se logró establecer una sola tabla de alimentación general con las mismas raciones para el proceso de reversión sexual.

Las tallas y pesos iniciales se obtuvieron mediante la medición y pesaje individual del 10 % de la población en cada tratamiento para, evitar daño de los animales muestreados, puesto que estos son muy delicados en etapas tempranas de su vida (Jiménez y Arredondo, 2000, p. 14).

3.1.2 PLAN DE ALIMENTACIÓN EN LA REVERSIÓN SEXUAL

3.1.2.1 Caracterización del alimento

En la Tabla 3.7 se detallan los resultados del análisis bromatológico del alimento balanceado.

Tabla 3.7 Análisis bromatológico de alimento balanceado

Muestra	Análisis	Unidades	Resultados	Método	Procedimiento
Balanceados para peces	Humedad	% (g/100g)	9,14	AOAC 925.10	En estufa de corriente de aire a 130 °C por 1 hora
	Extracto Etéreo	% (g/100g)	8,71	Manual de Equipo Velp Scientific Ser 148	Extracción con éter etílico en unidad Velp SCIENTIFICA SER148, previo secado de muestra: AOAC 934.01
	Proteína	% (g/100g)	46,48	AOAC 2001.11	Equipo: Analizador de Nitrógeno Kjeltec 2300 (Nx6.25)
	Cenizas	% (g/100g)	11,91	AOAC 923.03	Mufla 550 °C
	Carbohidratos totales	% (g/100g)	23,76	FAO	Por diferencia
	Valor calórico	Kcal/100g	359	FAO	Cálculo Teórico

Fuente: DECAB-EPN

El análisis del alimento inicial se realizó para garantizar el contenido proteico del alimento balanceado, el mismo que presentó valores de proteína superiores al 45 % recomendado para el proceso de reversión sexual (Hurtado, 2005, p. 35).

3.1.2.2 Racion alimenticia y frecuencias de alimentación

Las frecuencias de alimentación establecidas fueron de 6 veces por día, de acuerdo a lo recomendado por Jiménez y Arredondo (2008), el mismo que señala

que esta alimentación se debe iniciar a partir de las 09:00 a.m, en adelante (p. 15). En la investigación se alimentó a la larva cada 2 h para poder asegurar un adecuado nivel hormonal en la sangre.

La frecuencia de alimentación es uno de los factores que puede afectar la reversión sexual, ya que como lo señala Marcillo y Landivar (2008), en el género *Oreochromis*, que nacen con indiferenciación sexual, se requiere la presencia de las hormonas sexuales en la sangre para la estimulación del desarrollo gonadal (149-150).

Para la determinación de la ración alimenticia se debe conocer la biomasa existente en el estanque, la misma que según Jiménez y Arredondo (2000) se debe calcular mediante muestreos que ayudarán determinar el peso y número de larvas existentes. Estos muestreos son muy complicados realizarlos a grandes cantidades de larvas debido a la fragilidad de estos en edades iniciales que pueden causar altas mortalidades, motivo por el cual se retira el 10 % de la población aproximadamente para ser pesados, contados y medidos, posteriormente el peso promedio resultante se multiplica por la cantidad de alevines sembrados y se obtiene la biomasa total del estanque, sobre la cual se establece la cantidad de alimento a suministrar (p. 14). El cálculo de la biomasa total en la investigación se realizó mediante la expresión 2.2 de la siguiente forma:

$$\text{Biomasa} = \text{Peso promedio del pez (g)} \times \text{N}^\circ \text{ de peces sembrados}$$

$$\text{Biomasa} = 0,01 \text{ g} \times 300$$

$$\text{Biomasa} = 3 \text{ g}$$

Se obtuvo una biomasa de 3 g por cada repetición, dando un total de 9 g de peso vivo por tratamiento.

Para establecer la primera ración se utilizó una tasa alimenticia del 20 % de su peso vivo, como lo señala Meyer (2004), para una adecuada alimentación de los

peces durante el proceso de reversión sexual (108). El cálculo de la ración alimenticia se realizó con la fórmula 2.5, descrita anteriormente.

$$\text{Ración alimenticia} = \text{Peso vivo pez (g)} \times \text{tasa de alimentación}$$

$$\text{Ración alimenticia} = 9 \text{ g} \times 20 \%$$

$$\text{Ración alimenticia} = 1,8 \text{ g de alimento por día}$$

De esta manera se estableció la primera ración de alimento por tratamiento, misma que fue modificada diariamente de acuerdo a la Tabla 3.8.

La tasa de alimentación del 20 % se mantuvo durante todo el proceso de reversión sexual y se fue modificando en la etapa de crecimiento.

La Tabla 3.8 presenta las raciones de alimento que se suministraron en los tratamientos propuestos para la investigación.

Tabla 3.8 Cantidad de alimento suministrada en el proceso de reversión

TABLA DE ALIMENTACIÓN					
Día	Talla (mm)	Peso UE (g)	Biomasa total (g)	Tasa de alimentación (%)	Total Alimento/día (g)
1	10,0	0,010	9,00	20	1,80
2	10,3	0,014	12,44	20	2,49
3	10,6	0,015	13,65	20	2,73
4	10,9	0,017	14,94	20	2,99
5	11,2	0,018	16,31	20	3,26
6	11,5	0,020	17,76	20	3,55
7	11,8	0,021	19,30	20	3,86
8	12,1	0,023	20,93	20	4,19
9	12,4	0,025	22,66	20	4,53

Tabla 3.8 Cantidad de alimento suministrada en el proceso de reversión

Continuación.....

TABLA DE ALIMENTACION					
Día	Talla (mm)	Peso UE (g)	Biomasa total (g)	Tasa de alimentación (%)	Total Alimento/día (g)
10	12,7	0,027	24,48	20	4,90
11	13,0	0,029	26,39	20	5,28
12	13,3	0,032	28,41	20	5,68
13	13,6	0,034	30,54	20	6,11
14	13,9	0,036	32,77	20	6,55
15	14,2	0,039	35,10	20	7,02
16	14,5	0,042	37,56	20	7,51
17	15,0	0,047	41,90	20	8,38
18	15,5	0,052	46,58	20	9,32
19	16,0	0,057	51,62	20	10,32
20	16,5	0,063	57,01	20	11,40
21	17,0	0,070	62,78	20	12,56
22	17,5	0,077	68,94	20	13,79
23	18,3	0,089	79,65	20	15,93
24	19,1	0,102	91,46	20	18,29
25	19,9	0,116	104,42	20	20,88
26	20,7	0,132	118,59	20	23,72
27	21,5	0,149	134,04	20	26,81
28	22,3	0,168	150,83	20	30,17
29	23,1	0,188	169,02	20	33,80
30	23,9	0,210	188,67	20	37,73
31	24,7	0,233	209,84	20	41,97
32	25,5	0,258	232,59	20	46,52
33	26,3	0,286	257,00	20	51,40
34	27,1	0,315	283,12	20	56,62
35	27,9	0,346	311,01	20	62,20
TOTAL					604,27

Las raciones alimenticias se reajustaron diariamente en función de la talla y peso del pez según la ecuación descrita por Marcillo y Landivar, (2008), la misma que fue desarrollada en estudios anteriores sobre el crecimiento de las larvas de tilapia roja (p.122).

El cálculo de la segunda ración se realizó con la fórmula 2.1:

$$\text{Peso} \left(\frac{g}{1000} \right) = Lt(mm)^{3,23} \times 0,0074$$

$$\text{Peso} \left(\frac{g}{1000} \right) = 10,3(mm)^{3,23} \times 0,0074$$

$$\text{Peso} \left(\frac{g}{1000} \right) = 13,82 g$$

El peso calculado corresponde al peso de 1 000 larvas, en éste caso, como son 900 larvas, se calculó el peso por pez de la siguiente manera:

$$\text{Peso} \left(\frac{g}{1000} \right) = \frac{13,82 g}{1000 peces}$$

$$\text{Peso} = 0,01382 g/pez$$

$$\text{Peso por tratamiento} = 0,01382 \frac{g}{pez} \times 900 peces$$

$$\text{Peso por tratamiento} = 12,438 g$$

En total se obtuvo una biomasa de 12,438 g por tratamiento. Para el cálculo de la segunda ración alimenticia se utilizó una tasa de alimentación del 20 %, siendo la única diferencia la nueva biomasa obtenida a causa del incremento de peso.

$$\text{Ración alimenticia} = 12,438 g \times 20 \%$$

$$\text{Ración alimenticia} = 2,49 g \text{ de alimento por día}$$

De esta forma se obtuvo la ración de alimento a suministrar a cada tratamiento el segundo día, en función de la talla. Para las siguientes raciones se realizó el mismo cálculo anteriormente descrito durante los 35 días de reversión sexual.

La cantidad total de alimento hormonal utilizado por tratamiento fue de 604,27 g durante los 35 días de reversión sexual.

3.1.3 PROPORCIÓN SEXUAL

En la Tabla 3.9, se muestra el porcentaje de masculinización obtenido en cada uno de los tratamientos.

Tabla 3.9 Masculinización de los peces al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona

Tratamiento	Concentración de la hormona (mg de 17 α -metiltestosterona/kg alimento)	Reversión (%)
1	60	95,56 \pm 0,02
2	80	98,89 \pm 0,02
3	100	100 \pm 0,00
Control	0	61,11 \pm 0.02

Media \pm DE (n=3)

Para determinar el porcentaje de reversión sexual se realizó un sexaje visual el día 140 post-eclosión, cuando el pez alcanzó un peso aproximado de 40 a 50 g, peso y edad óptimas para la fácil identificación de las papilas urogenitales. Se obtuvo de esta forma una proporción sexual equivalente al 95,52 % de machos para el tratamiento 1, 98,89 % de machos para el tratamiento 2, 100 % de machos para el tratamiento 3 y finalmente el 61, 11 % de machos para el grupo control que fue alimentado sin hormona masculinizante.

Los porcentajes de eficiencia logrados en los diferentes tratamientos se encuentran cercanos a los valores logrados por Shelton (1981), que con 60 mg de 17 α -metiltestosterona por kg de alimento, en un periodo de 21 a 28 días logró del 97 al 98 % de machos en tilapia aurea; Quinteros (1985) con 60 mg de 17 α -metiltestosterona por kg de alimento, obtuvo del 96 al 100 % de machos en tilapia mossambica y McGeachin y Cols (1987), que realizaron pruebas con 60, 90 y 120 mg de 17 α -metiltestosterona por kg de alimento, obtuvieron un 99, 98 y 96 % de machos en tilapia nilótica, respectivamente (Hurtado, 2005, p. 7).

López, et al. (2007) menciona resultados del 100 % de reversión sexual en tilapia roja durante 40 días de alimentación hormonal, mientras que en esta investigación se redujo el tiempo de alimentación en 5 días y se obtuvo el 99 y 100 % con los tratamientos 2 y 3 respectivamente, por lo que quedaría por discernir si la reducción en días de alimentación y aumento en la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona tendría diferencia significativa económicamente (p. 322).

En la Tabla 3.10 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona, en la masculinización de los peces.

Tabla 3.10 Análisis de varianza en la masculinización de los peces

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Tratamientos	3148,25	3	1049,42	370,38	0,0000
Intra grupos	22,6667	8	2,83333		
Total (Corr.)	3170,92	11			

De la Tabla 3.10 se observa que existió una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la masculinización de los peces al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona.

El porcentaje de reversión sexual en los diferentes tratamientos, a pesar de presentar una diferencia significativa entre tratamientos, es satisfactorio para las dosis de 60, 80 y 100 mg de hormona 17α -metiltestosterona, considerando que sobrepasa el 90 % y se encuentra cercano a los valores obtenidos en otros ensayos que emplearon métodos similares con diferentes dosis de varios tipos de hormona, con otras especies de tilapia como es el caso de *Oreochromis niloticus*, que al administrarle dosis de 60 mg de 17α -metiltestosterona por kg de alimento durante 25, 35 y 59 días se encontraron poblaciones completas de machos y con dosis menores como 30 mg/kg de alimento durante 35 y 59 días se pudo lograr el 99,2 % de machos, se encontró además que la tasa de crecimiento se ve influenciada en los peces tratados con éste andrógeno. Sin embargo, estudios en otra especie como la tilapia zillii, en la que se aplicaron dosis de 50, 100 y 200 mg de 17α -metiltestosterona por kg de alimento, no se logró la reversión sexual, y se consideró que el fracaso fue por las altas dosis que se suministraron causando en algunos casos la involución de las gónadas, es decir se redujeron de tamaño (Jiménez y Arredondo, 2000, p. 5).

En la Tabla 3.11 se presentan los grupos homogéneos. Se han identificado 3 grupos homogéneos, los tratamientos 2 y 3 son estadísticamente iguales.

Tabla 3.11 Grupos Homogéneos en la masculinización de los peces

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	61,0	A
1	3	95,67	B
2	3	99,0	C
3	3	100,0	C

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$)

Entre los tratamientos con dosis de 80 y 100 mg de 17α -metiltestosterona, se pudo observar que no existe una diferencia marcada debido a que los dos tratamientos son estadísticamente iguales, en lo cuales se obtuvieron altos porcentajes de reversión, similares a otras investigaciones realizadas en las que se usaron diferentes dosis y tiempos de aplicación.

En la Figura 3.1 se representa el porcentaje de reversión sexual alcanzado al terminar la alimentación hormonal.

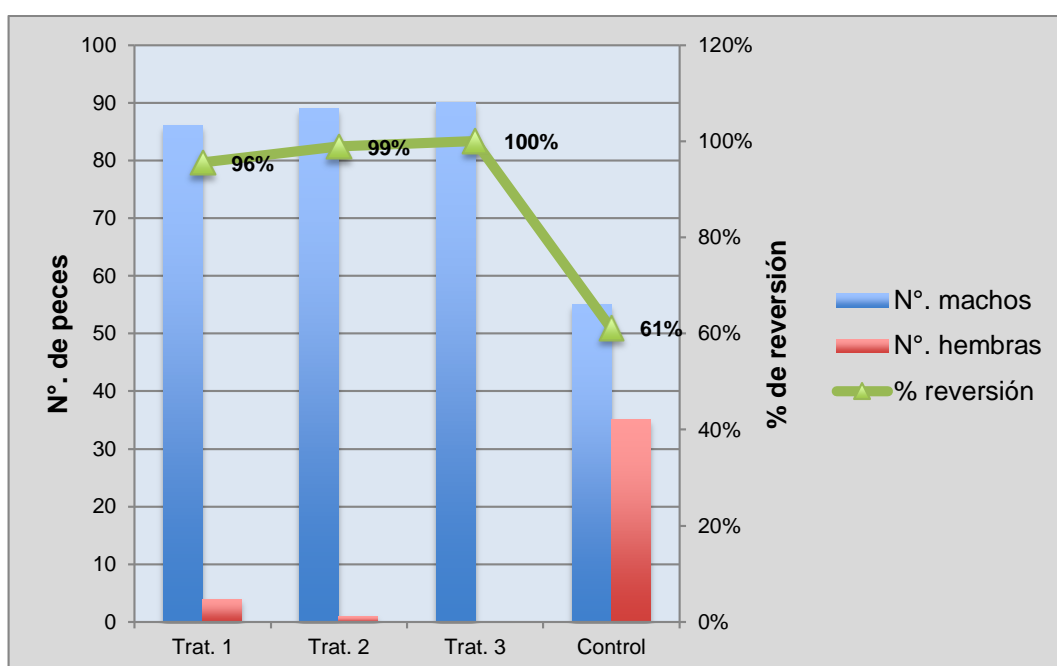


Figura 3.1 Porcentaje de reversión sexual por tratamiento

Los altos porcentajes de reversión sexual obtenidos con las dosis empleadas en tilapia roja son alentadores para la producción de esta, dado que como lo mencionan Marcillo y Landivar (2008), el éxito de la reversión solamente ha estado basado primordialmente en los resultados positivos obtenidos con tilapia nilótica y poco o nada se ha experimentado con tilapia roja (p. 167).

De los porcentajes de machos obtenidos en los tratamientos se determinó que el mejor tratamiento es el de 80 mg de 17α -metiltestosterona por kg de alimento, que a pesar de obtener el 99 % de machos es estadísticamente igual al tratamiento 3 con el 100 % de reversión sexual.

3.1.4 CRECIMIENTO Y MORTALIDAD DE LARVAS EN EL PROCESO DE REVERSIÓN SEXUAL

3.1.4.1 Incremento de peso

Para determinar el incremento de peso se utilizó la fórmula 2.1 y los pesos obtenidos al final del proceso de reversión sexual, obtenidos en base al 10 % de peces muestreados.

En la Tabla 3.12 se detalla el incremento de peso alcanzado por las larvas de tilapia durante los 35 días de reversión sexual.

Tabla 3.12 Incremento de peso de tilapia por tratamiento

Incremento de peso				
Tratamiento	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	IP (g)	TC (g/día)
1	0,01	0,33	0,32	0,0091
2	0,01	0,37	0,36	0,0103
3	0,01	0,36	0,35	0,0100
Control	0,01	0,28	0,27	0,0077

Los pesos obtenidos al final de proceso de reversión sexual se encuentran dentro del rango ideal para alevines de tilapia roja (Marcillo y Landivar, 2008, p. 128).

Se observa en la tabla 3.12 que los pesos finales obtenidos están dentro de los rangos descritos por Meyer (2004), quien menciona que los pesos que se deben alcanzar finalizado el proceso de reversión sexual deben estar entre los 0,15 g y los 0,5 g, mismos que dependerán de la condiciones de cultivo en la que se desarrollen, especialmente de la temperatura del agua y la densidad de siembra (p. 108).

En la Tabla 3.13 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona, en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 35 días.

Tabla 3.13 Análisis de varianza en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0148022	3	0,00493408	218,48	0,0000
Intra grupos	0,000180667	8	0,0000225833		
Total (Corr.)	0,0149829	11			

En la Tabla 3.13 se observa que existió una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 35 días, al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona.

En la Tabla 3.14 se presentan los grupos homogéneos. Se han identificado 3 grupos homogéneos, los tratamientos 2 y 3 son estadísticamente iguales.

Tabla 3.14 Grupos homogéneos en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 35 días

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	0,273667	A
1	3	0,323333	B
3	3	0,359333	C
2	3	0,359333	C

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$)

Los tratamientos 1 y control fueron los de menor incremento de peso durante el proceso de reversión sexual, siendo el tratamiento 1 en el que se pudo observar con más claridad la influencia de la alimentación hormonal, debido a su baja ganancia de peso en comparación con los tratamientos tratados con hormona.

Al existir una diferencia significativa entre tratamientos, especialmente con los tratamiento 1 y control, que fueron los que menor peso alcanzaron al final de proceso de reversión, se puede argumentar que la hormona, además de provocar la reversión de sexo, contribuye a incrementar el peso de los peces como lo señalan Tayamen y Shelton (1978), Macintosh et al. (1985), Kuwaye et al. (1993), Ladu y Madara (1994) y Delgadillo (1996), citados por Jiménez y Arredondo (2000), los mismos que concluyen que con la reversión sexual se puede obtener doble ventaja (p. 21).

Sin embargo, respecto a lo anteriormente expuesto, existe controversia ya que autores como Guerrero (1975), Owusu y Nijhar (1981), Torrans et al. (1988), Phelps et al. (1992), Vera y Mair (1994) y Jiménez et al. (1998), indicaron que dicho efecto no existe, puesto que en los ensayos realizados no encontraron diferencias en el incremento de peso entre los peces tratados con hormonas y aquellos tratados con alimento sin hormonas, es así que aún está en discusión si la mayor tasa de crecimiento que se presenta en los alevines revertidos se debe a las hormonas o al mayor crecimiento natural que tienen los machos (Jiménez y Arredondo, 2000, p. 21).

3.1.4.2 Incremento de talla

Para determinar el incremento de talla se utilizó la fórmula 2.1 y las tallas obtenidas al final del proceso de reversión sexual, en base al 10 % de peces muestreados.

En la Tabla 3.15, se detalla el incremento de talla alcanzado por las larvas de tilapia durante los 35 días de reversión sexual.

Tabla 3.15 Incremento de talla en larvas de tilapia por tratamiento

Incremento de talla				
Tratamiento	Talla Inicial (mm)	Talla Final (mm)	IT (mm)	TC (mm/día)
1	10	25	15	0,43
2	10	27	17	0,49
3	10	27	17	0,49
Control	10	25	15	0,43

Se puede observar que el crecimiento está acorde a los datos proporcionados por Marcillo y Landivar, (2008) en las tablas de alimentación establecidas en función del incremento diario de peso y talla, por lo que obtuvimos una talla promedio de 26 mm, rango esperado en el proceso de reversión sexual para climas templados (pp. 125, 126).

En la Tabla 3.16 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona, en el incremento de talla de los peces a los 35 días.

Tabla 3.16 Análisis de varianza del incremento de talla de los peces a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7,83043	3	2,61014	246,43	0,0000
Intra grupos	0,0847333	8	0,0105917		
Total (Corr.)	7,91517	11			

En la Tabla 3.16 se observa que existió una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el incremento de talla alcanzada por los peces a los 35 días, al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona.

Al igual que en el incremento de peso, se observó que las tallas obtenidas en los tratamientos 1 y control fueron menores y que las dosis de hormona aplicada también influyó en el crecimiento, ya que el tratamiento 1, a pesar de ser peces tratados con hormonas tuvo un crecimiento bajo y pudo ser debido a la dosis de hormona aplicada.

En la Tabla 3.17, se presentan los grupos homogéneos. Se han identificado 3 grupos homogéneos, los tratamientos 2 y 3 son estadísticamente iguales.

Tabla 3.17 Grupos homogéneos en el incremento de talla alcanzada por los peces a los 35 días

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	14,8	A
1	3	15,3767	B
3	3	16,5767	C
2	3	16,72	C

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$)

Se observó que las variables incremento de peso y talla se vieron afectadas en los diferentes tratamientos al presentarse una diferencia significativa entre estas, lo que indica que la alimentación hormonal a diferentes dosis de hormona 17 α -metiltestosterona afectó directamente al desarrollo de los peces, especialmente en los tratamientos 2 y 3 que obtuvieron los mejores pesos y tallas.

3.1.4.3 Mortalidad

La mortalidad fue determinada mediante la observación diaria de los estanques con los diferentes tratamientos para la verificación visual de peces muertos. La mortalidad registrada durante la investigación se debió básicamente a la manipulación, descartando la presencia de algún tipo de enfermedad en las larvas durante el cultivo.

La mortalidad presentada durante el proceso de reversión sexual se detalla en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18 Mortalidad del proceso de reversión sexual por tratamiento

Mortalidad de peces en la reversión sexual				
Tratamiento	No. Peces Inicial	No. Peces final	No. Peces Muertos	% Mortalidad
1	900	801	99	11
2	900	820	80	9
3	900	817	83	9
Control	900	791	109	12

La mortalidad que se presentó en los diferentes tratamientos hormonales se encuentra dentro de los rangos esperados para la especie como los describe Meyer (2004), donde las mortalidades presentadas en la reversión sexual se encuentran en rangos de 10 al 30 % (p. 108).

En la Tabla 3.19 se presenta el análisis estadístico de varianza, para establecer la influencia de la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona, en la mortalidad de los peces a los 35 días.

Tabla 3.19 Análisis de varianza de la mortalidad de los peces a los 35 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	186,917	3	62,3056	11,87	0,0026
Intra grupos	42,0	8	5,25		
Total (Corr.)	228,917	11			

En la Tabla 3.19 se observa que existió una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en la mortalidad de los peces a los 35 días, al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona.

En la Tabla 3.20 se presentan los grupos homogéneos. Se han identificado 2 grupos homogéneos, los tratamientos 2 y 3 son estadísticamente iguales y los tratamientos 1 y control son estadísticamente iguales.

Tabla 3.20 Grupos homogéneos en la mortalidad de los peces a los 35 días

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2	3	26,6667	A
3	3	27,6667	A
1	3	33,0	B
control	3	36,3333	B

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$)

En la Figura 3.2 se presenta el porcentaje de mortalidad registrada durante el proceso de reversión sexual.

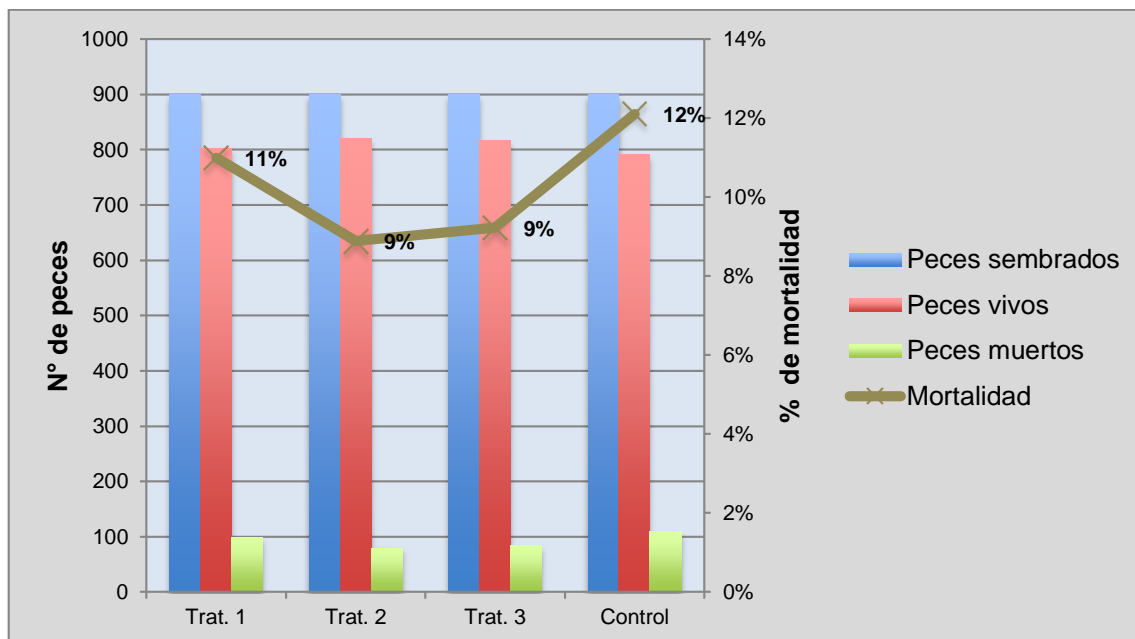


Figura 3.2 Mortalidad de larvas de tilapia a los 35 días

El bajo porcentaje de mortalidad presentado durante el proceso de reversión sexual se asumió al constante control de los parámetros fisicoquímicos del agua, especialmente de la temperatura y oxígeno, que prácticamente no presentaron variaciones que causen problemas en el desarrollo normal de los tratamientos estudiados.

3.2 ANÁLISIS DEL CULTIVO DE TILAPIA EN LA ETAPA DE PRE-ENGORDE Y ENGORDE

3.2.1 CALIDAD DEL AGUA

Con respecto a la calidad de agua, se monitorearon factores tales como la temperatura, oxígeno, pH, turbidez y total sólidos disueltos dado que como menciona Meyer (2004), un buen crecimiento de los organismos acuáticos, en este caso la tilapia depende en gran parte de la calidad de agua del cultivo, debido a que múltiples factores pueden interactuar y alterar las propiedades físico-químicas de agua, siendo la temperatura y la concentración de oxígeno los parámetros mas relevantes. Cambios repentinos en estos pueden causar una

masiva mortalidad, baja resistencia a patógenos presentes en el agua y alteración en el metabolismo normal de pez, resultando en un lento crecimiento; motivo por el cual para lograr una buena producción, es importante conservar las condiciones óptimas del agua dentro de los límites de tolerancia para la tilapia roja (p. 31).

3.2.1.1 Temperatura

La temperatura, al ser uno de los parámetros más importantes en el cultivo de tilapia, por su influencia en el retardo o aceleración de las actividades biológicas como: la absorción de oxígeno, precipitación de compuestos, sedimentación y filtración, fue monitoreada en la etapa de crecimiento cada 15 días, con el objeto de evitar que ésta varíe continuamente, tomando las medidas necesarias para mantenerla en los rangos óptimos para producción de tilapia (Bautista y Velazco, 2011, p. 11).

En la Figura 3.3 se presenta el comportamiento de la temperatura de los tratamientos 1, 2, 3 y control durante el cultivo de tilapia.

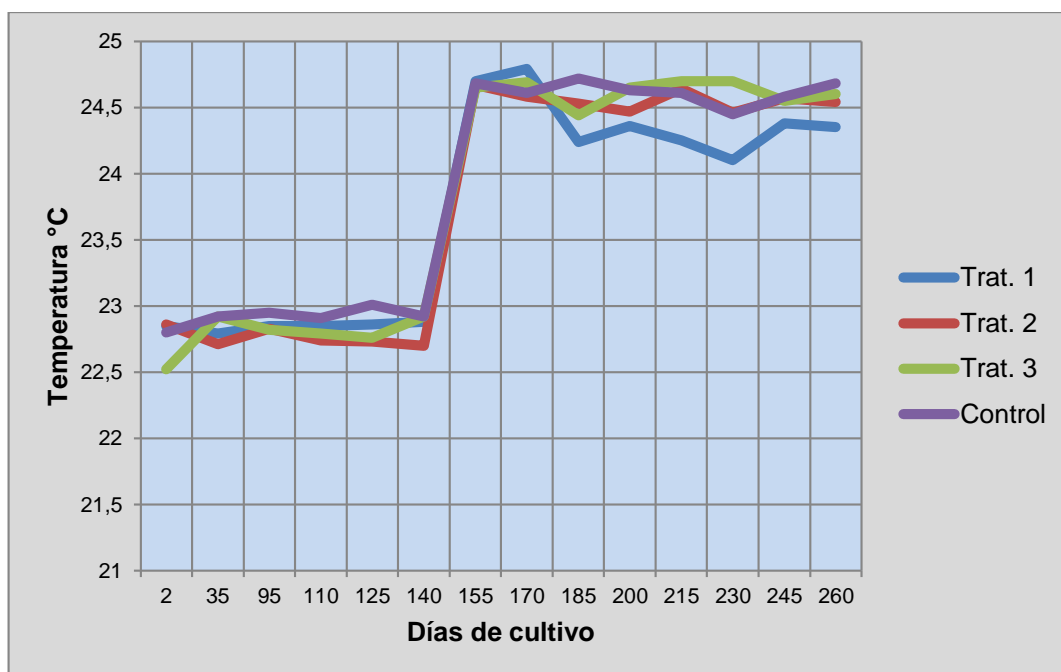


Figura 3.3 Comportamiento de la temperatura en los tratamientos 1, 2, 3 y control

La temperatura del agua para los cuatro tratamientos se mantuvo durante los primeros 139 días en un rango de 22,5 °C a 23 °C, mientras que a partir del día 140, los peces se mantuvieron en un rango de temperatura de 24 °C a 24,7 °C debido a que fueron cambiados a estanques de mayor tamaño fuera del laboratorio de reversión sexual para ser sembrados a densidades de 7 peces/m², y no afectar el ritmo de crecimiento a causa de densidades superiores a las recomendadas para un cultivo semi-intensivo de tilapia. Es por esta razón que hubo un cambio de temperatura de agua de los estanques dado que al estar a la interperie reciben la radiación solar calentando el agua. Esta práctica no afectó a los peces por lo que fueron sometidos a temperaturas mayores a las que estaban cultivados inicialmente, evitando de esta forma el shock térmico. Además como se observa en el gráfico la temperatura en los periodos de 1 a 139 días se mantuvo sin altas variaciones al igual que el periodo de 140 a 260 días de cultivo, y como lo menciona Meyer (2004), en tilapia una diferencia de 5 °C puede causar una tensión fisiológica o estrés y causar la mortalidad de los peces (p. 34).

En la Tabla 3.21 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la temperatura durante la etapa de pre-engorde y engorde de tilapia.

Tabla 3.21 Análisis de varianza de la temperatura durante los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,062825	3	0,0209417	0,64	0,6120
Intra grupos	0,263	8	0,032875		
Total (Corr.)	0,325825	11			

De la Tabla 3.21 se observa que no existió una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en la temperatura del medio donde se desarrollaron los peces durante los 260 días de cultivo en los tratamientos investigados.

La temperatura durante la etapa de crecimiento se mantuvo sin variaciones mayores y con un rango permitido para el cultivo de tilapia; sin embargo, estuvo por debajo de lo ideal que es de 27 a 32 °C, lo que causó que el cultivo se extienda, ya que la tilapia al ser una especie poiquiloterma, su temperatura corporal baja, influye en gran parte en su tasa metabólica y ritmo de crecimiento retardando de esta forma su normal desarrollo.

Al permanecer el cultivo de tilapia sobre los 24 °C en todos los tratamientos no se tuvo mayor dificultad, dado que los problemas metabólicos se inician a temperaturas inferiores a los 21 °C y la alimentación cesa por debajo de los 16 °C, seguida de una alta mortalidad (Poot, Gasca, y Olvera, 2012, p. 839).

Por otro lado, el aumento de temperatura incrementa el apetito y por ende su tasa metabólica y consumo de oxígeno son mayores como se comprobó en varios estudios realizados con *Oreochromis niloticus*; sin embargo, el apetito a altas temperaturas llega a un máximo al acercarse a la temperatura óptima de crecimiento del pez, para luego decaer si esta sobrepasa los niveles aceptables para esta especie, problema que no se tuvo en la presente investigación debido a que la temperatura promedio máxima obtenida en todos los tratamientos fue de 24,7 °C (González, 2007, p. 30).

3.2.1.2 Oxígeno

El oxígeno fue monitoreado durante los 260 días de cultivo, cada 15 días con el objeto de mantener los niveles óptimos para la producción de tilapia, puesto que este parámetro es considerado como uno de los más importantes en el cultivo de tilapia, debido a que actúa como indicador del metabolismo en los peces y permite determinar el flujo de agua o la aireación requerida para mantener los niveles de

oxígeno en los rangos óptimos requeridos para esta especie (Patti, Esteve, y Gaviria, 2011, p. 100).

En la Figura 3.4 se representa el comportamiento del oxígeno durante el cultivo de tilapia, en el tratamiento 1, 2, 3 y control.

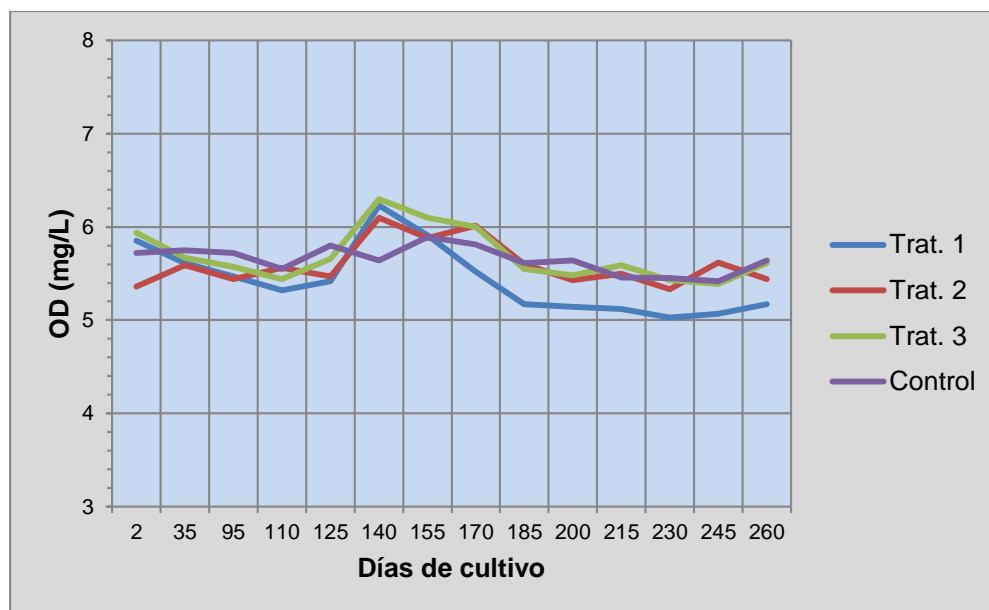


Figura 3.4 Comportamiento del oxígeno presente en los tratamientos 1, 2, 3 y control

Los niveles de la concentración de oxígeno disuelto presentados en los tratamientos tuvieron un máximo de 6,3 mg/L y un mínimo de 5 mg/L, los mismos que, como se puede observar se mantuvieron en los rangos óptimos para la producción de tilapia. Cabe recalcar que para mantener los niveles superiores a 5 mg/L de OD en el agua, se realizó especialmente en la noche y en la mañana, una inyección de aire mediante un blower de 2HP de capacidad y así evitar problemas de crecimiento y mortalidad por anoxia (falta de oxígeno) de los peces, que a pesar de ser la tilapia tolerante a bajas concentraciones de oxígeno, el exponerla a períodos extensos de anoxia, puede reducirse su crecimiento y aumentar la mortalidad si las condiciones de OD se ubican por debajo de los 5 mg/L o el 25 al 50 % de saturación (Bautista y Velazco, 2011, p. 12).

Los niveles máximos de concentración de oxígeno disuelto se encontraron al día 140, cuando los peces fueron transferidos a estanques fuera del laboratorio.

En la Tabla 3.22 se presenta el análisis estadístico de varianza, para establecer la influencia del oxígeno en el cultivo de tilapia durante la etapa de pre-engorde y engorde.

Tabla 3.22 Análisis de varianza del oxígeno durante los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,108492	3	0,0361639	2,23	0,1617
Intra grupos	0,129533	8	0,0161917		
Total (Corr.)	0,238025	11			

En la Tabla 3.22 se observa que no existió una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) del oxígeno del medio durante los 260 días de desarrollo de los peces en los diferentes tratamientos.

Al no existir una diferencia marcada entre los tratamientos con respecto al OD, se observa que se pudo controlar este factor y así se evitó causar problemas en el crecimiento de la tilapia. Además los niveles de OD se mantuvieron similares en los cuatro tratamientos mediante el uso de blower de 2HP de capacidad, motivo por cual se pudo descartar la afectación de este parámetro en la diferencia de incremento de peso o talla que se pudiere obtener en la finalización de la investigación.

3.2.1.3 pH

El pH, de igual manera que los anteriores parámetros descritos fue monitoreado cada 15 días durante los 260 días de cultivo para mantener los niveles óptimos para el crecimiento de tilapia, que como lo señala Cantor (2007) los peces sobreviven y crecen bien en aguas neutrales o ligeramente alcalinas, siendo de esta manera los rangos normales de 6,5 a 9 (p. 31)

En la Figura 3.5 se presenta el comportamiento del pH durante el cultivo de tilapia para los tratamientos 1, 2, 3 y control.

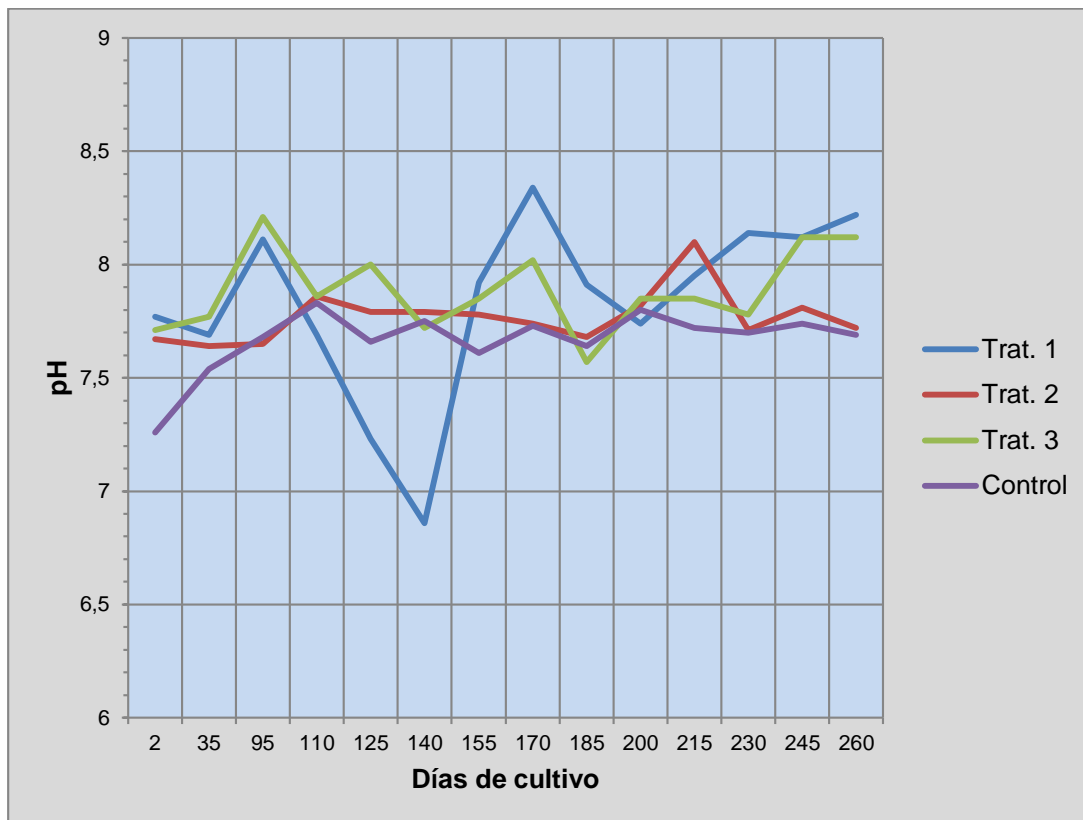


Figura 3.5 Niveles de pH en el tratamientos 1, 2, 3 y control

Los niveles de pH reportados en la presente investigación tuvieron un máximo de 8,34, y un mínimo de 6,86, los mismos que se encontraron dentro de los rangos requeridos para la producción de tilapia roja.

En el tratamiento 1 se encontró altas variaciones de pH, esto se debió a que el estanque utilizado fue una construcción nueva y estos elementos de afectaron de cierto modo el pH de agua; sin embargo, este pH se mantuvo dentro de los niveles permitidos y no afectó de manera significativa al normal desarrollo del cultivo.

En la Tabla 3.23 se presenta el análisis estadístico de varianza, para establecer la influencia del pH en el cultivo de tilapia durante la etapa de pre-engorde y engorde.

Tabla 3.23 Análisis de varianza del pH durante los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,017425	3	0,00580833	0,04	0,9871
Intra grupos	1,0692	8	0,13365		
Total (Corr.)	1,08662	11			

De la Tabla 3.23 se observa que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) del pH del medio donde se desarrollaron los peces durante los 260 días de cultivo en los diferentes tratamientos estudiados.

Como se observa en la Figura 3.5, los valores de pH se mantuvieron en niveles similares para los cuatro tratamientos. De acuerdo con Cantor (2007), aguas con baja alcalinidad no son aptas para la acuicultura, ya que al aumentar la acidez del agua el ion ferroso se vuelve soluble afectando las células branquiales que inciden en los procesos de respiración de los peces, ocasionando mortalidad por anoxia. Además estas aguas ácidas (valores menores a pH 6) reducen el crecimiento, causan problemas de inapetencia, aletargamiento y se disminuye la fecundidad; por el contrario aguas totalmente alcalinas, sobre valores de pH 11, producen una alta mortalidad (32).

3.2.1.4 Turbidez

Con respecto a la turbidez, ésta fue monitoreada cada 15 días con la finalidad de mantener los niveles aceptables para el cultivo de tilapia mediante recambios de agua si el caso lo requería.

En la Figura 3.6 se detalla el comportamiento de la turbidez en los tratamientos 1, 2, 3 y control durante el cultivo de tilapia.

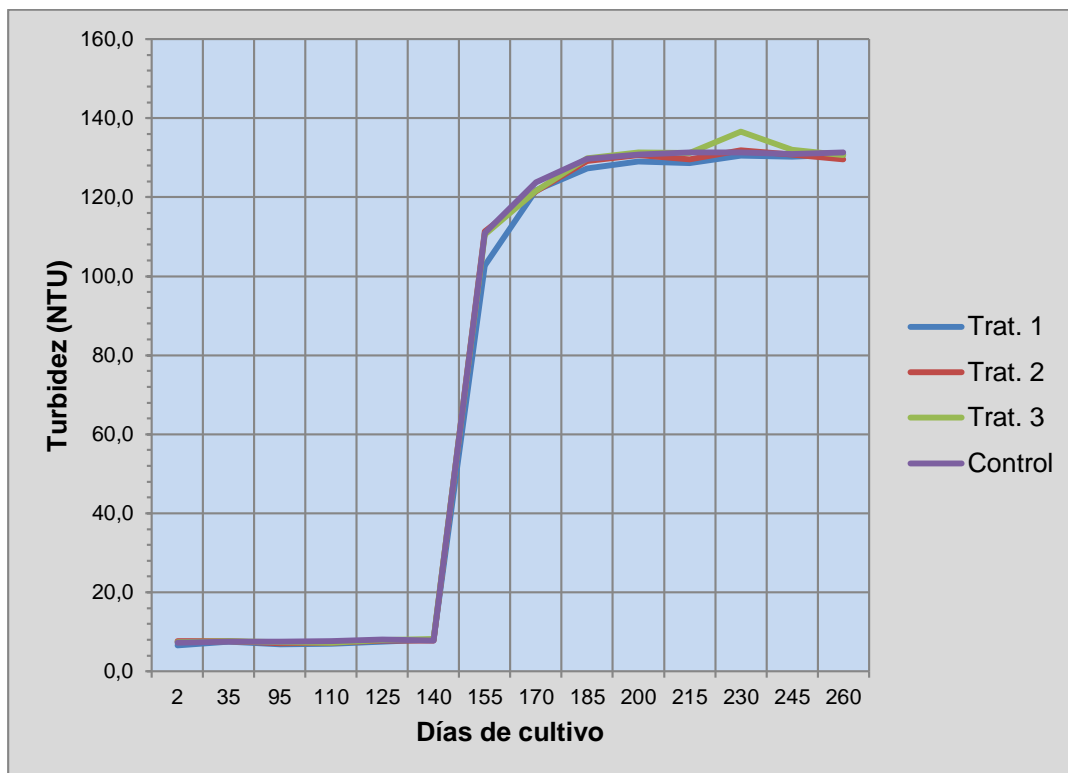


Figura 3.6 Turbidez y total de sólidos disueltos en el agua de los tratamientos 1, 2, 3 y control

La turbidez del agua se mantuvo en niveles muy bajos los primeros 139 días, por lo que prácticamente en esta etapa se encontraba en un laboratorio donde el recambio de agua era permanente y no existió producción de plancton, lo que mantuvo al agua cristalina. Durante este periodo se obtuvo una turbidez promedio máximo de 8,2 NTU y mínimo de 6,6 NTU para los cuatro tratamientos.

Como se observa en la Figura 3.6, la turbidez tuvo un aumento brusco a partir del día 140 hasta el día 155, donde se presentaron valores promedio máximo de 136,6 NTU y mínimo de 102,7 NTU. Esto se debió a que los peces fueron trasladados a otros estanques de mayores dimensiones para su normal desarrollo, debido a que las jaulas no eran lo suficientemente grandes para albergar peces mayores a 45 g de peso a una densidad aceptable.

Los estanques de pre-engorde y engorde, donde fueron trasladados los peces, tuvieron la turbidez alta, por que se encontraban con una alta producción primaria, como es el caso del plancton, lo que resulta beneficioso para el cultivo de tilapia.

Cabe aclarar que la manipulación por cambio de estanque a los peces se realizó con todas las medidas de buen manejo y no tuvo consecuencias en la tasa de crecimiento de la tilapia. Los cuatro tratamientos permanecieron con una turbidez similar, sin más variaciones que la presentada en el periodo 140 a 155 días, como se pudo observar en la Figura 3.2., lo que permitió sustentar que este parámetro no tuvo influencia particular en alguno de los tratamientos, pudiendo afectar el normal desarrollo del cultivo de tilapia roja, ya que a altos valores de turbidez (>200 NTU), indican la presencia de algas, las mismas que al morir generan gases tóxicos que consumen el oxígeno del agua produciendo una muerte masiva de los peces cultivados (Castillo, 2011, p. 50).

En la Tabla 3.24 se presenta el análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la turbidez en el desarrollo del cultivo de tilapia en las etapas de pre-engorde y engorde.

Tabla 3.24 Análisis de varianza de la turbidez durante los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1,9425	3	0,6475	0,74	0,5588
Intra grupos	7,02667	8	0,878333		
Total (Corr.)	8,96917	11			

En la Tabla 3.24 se observa que no existió una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) de la turbidez del medio donde se desarrollaron los peces durante los 260 días de cultivo entre diferentes tratamientos investigados.

3.2.1.5 Total sólidos disueltos

El total de sólidos disueltos (TDS) fue monitoreado quincenalmente para identificar la presencia de partículas de lodo o materia orgánica que se pudieran presentar y afectar de esta forma el cultivo de tilapia.

En la Figura 3.7 se detalla el comportamiento de los TDS en los tratamientos 1, 2, 3 y control durante el cultivo de tilapia.

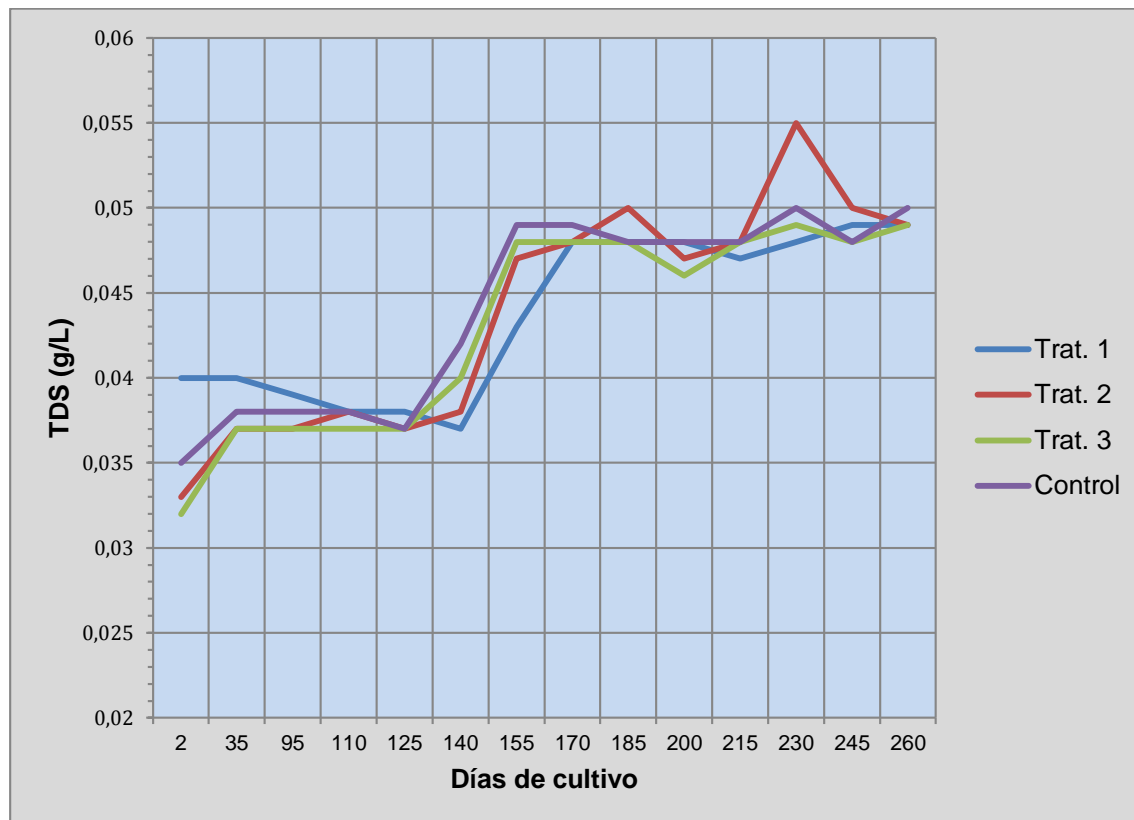


Figura 3.7 Comportamiento de los TDS para los tratamientos 1, 2, 3 y control

Los rangos registrados en lo que respecta a los TDS fueron el máximo de 0,055 g/L y un mínimo de 0,032 g/L.

Los valores mínimos se registraron en los primeros 139 días de cultivo, mientras se mantuvieron los peces en el laboratorio, y los valores máximos se obtuvieron en los estanques fuera de laboratorio, los mismos que no afectaron al desarrollo de la tilapia al encontrarse dentro de los rangos permitidos para la especie, ya que como lo señala Castillo (2011), valores altos de TDS causan efectos negativos en el balance osmótico y normal funcionamiento de las branquias (p. 51).

En la Tabla 3.25 se presenta el análisis estadístico de varianza, para establecer la influencia de los TDS del medio en el cultivo de tilapia en las fases de pre-engorde y engorde.

Tabla 3.25 Análisis de varianza de los TDS durante los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00000491667	3	0,00000163889	0,18	0,9089
Intra grupos	0,000074	8	0,00000925		
Total (Corr.)	0,0000789167	11			

En la Tabla 3.25 se observa que no existió una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en los TDS del medio donde se desarrollaron los peces durante los 260 días de cultivo en los diferentes tratamientos estudiados.

Todos los valores de TDS para cada tratamiento no tuvieron variaciones altas, con lo que se asume que este parámetro no afectó de ninguna manera el desarrollo del cultivo de tilapia investigado. Los datos de los parámetros fisicoquímicos fueron extraídos de los registros realizados en los diferentes muestreos durante el desarrollo de la investigación, los mismos que se pueden observar en los Anexos I al IV.

3.2.2 PLAN DE ALIMENTACIÓN PARA PRODUCCIÓN DE TILAPIA

3.2.2.1 Raciones y frecuencias de alimentación

Las raciones de alimentación que fueron establecidas para los tratamientos se calcularon de acuerdo con la biomasa generada en cada período de muestreo, en este caso quincenalmente, puesto que el conocimiento de la ración óptima permite suministrar el alimento necesario para alcanzar la mayor eficiencia de asimilación de nutrientes y el máximo crecimiento de los peces; además ayuda a la reducción de la sobrealimentación (Vega, et al., 2011, p. 3).

En la Tabla 3.26 se detallan las raciones alimenticias establecidas en el cultivo de tilapia roja para los tratamientos 1, 2, 3 y control.

Tabla 3.26 Raciones alimenticias para los tratamientos 1, 2, 3 y control en la etapa de crecimiento y engorde de tilapia

RACIÓN ALIMENTICIA																
Especie: Tilapia roja (<i>Oreochromis spp.</i>)																
Periodo	Biomasa				Tasa alimenticia (%)				Ración diaria de alimento (kg)				Total Alimento (kg)			
	T1	T2	T3	Control	T1	T2	T3	Control	T1	T2	T3	Control	T1	T2	T3	Control
35-95	0,26	0,3	0,29	0,22	16,0	16,	16,0	20,0	0,0416	0,048	0,0464	0,04	2,9	3,4	3,3	3,1
95-110	5,35	6,05	6,04	4,75	8,0	8,0	8,0	8,0	0,428	0,484	0,4832	0,38	6,42	7,26	7,248	5,7
110-125	8,6	9,85	9,6	8,5	8,0	8,0	8,0	8,0	0,688	0,788	0,768	0,68	10,3	11,82	11,52	10,2
125-140	14,6	16,24	15,45	13,48	6,0	6,0	6,0	5,0	0,876	0,9744	0,927	0,67	13,1	14,62	13,91	10,11
140-155	23,99	26,4	24,67	21,94	4,0	4,0	4,0	4,0	0,9596	1,056	0,9868	0,88	14,4	15,84	14,8	13,164
155-170	32,33	36,63	33,93	24,5	3,0	3,0	3,0	3,0	0,9699	1,0989	1,0179	0,74	14,5	16,48	15,27	11,025
170-185	41,82	48,21	44,79	29,58	2,8	2,8	2,8	3,0	1,17096	1,34988	1,25412	0,89	17,6	20,25	18,81	13,311
185-200	52,88	58,87	55,09	42,1	2,3	2,3	2,3	2,8	1,21624	1,35401	1,26707	1,18	18,2	20,31	19,01	17,682
200-215	64,67	71,59	67,32	52,89	2,3	2,3	2,3	2,3	1,48741	1,64657	1,54836	1,22	22,3	24,7	23,23	18,247
215-230	76,95	85,39	80,1	66,42	2,3	2,3	2,3	2,3	1,76985	1,96397	1,8423	1,53	26,5	29,46	27,63	22,915
230-245	89,76	101,29	94,64	70,28	2,0	2,0	2,0	2,3	1,7952	2,0258	1,8928	1,62	26,9	30,39	28,39	24,247
245-260	102,28	116,65	108,32	78,24	2,0	2,0	2,0	2,3	2,0456	2,333	2,1664	1,80	30,7	35	32,5	26,993
Total													204	229,5	215,6	176,7

T1: Tratamiento 1 (60 mg de hormona)

T2: Tratamiento 2 (80 mg de hormona)

T3: Tratamiento 3 (100 mg de hormona)

Control: Alimentación normal

La tabla de alimentación para los tratamientos fue determinada mediante el cálculo de la biomasa y tasa de alimentación, dependiendo del peso y edad de los peces en cada muestreo, estas raciones calculadas fueron modificadas cada quince días a excepción de la primera, que fue suministrada por 60 días, debido a que el muestreo quincenal a edades tempranas causa altas mortalidades.

Las frecuencias de alimentación se establecieron de acuerdo con la etapa de cultivo; es decir, en la etapa de reversión sexual, se alimentó al pez 6 veces diarias, con alimento hormonal; en la etapa de alevín con un peso promedio de 0,33 g a 7,83 g se alimentó 4 veces diarias con balanceado al 45 % de proteína, en la etapa de pre-engorde 1 cuando el pez alcanzó un peso promedio de 14,7 g a 66,04 g se alimentó 3 veces diarias con balanceado que contenía el 38 % de proteína, en la etapa de pre-engorde 2 cuando el pez alcanzó un peso promedio entre 88,22 g a 142, 77 se alimento 3 veces diarias con el balanceado de porcentaje de proteína del 32 %; en la etapa de engorde 1 cuando los peces alcanzaron un peso promedio de 173 g a 205 g, estos fueron alimentados con una frecuencia de 2 veces por día y con balanceado que contenía el 28 % de proteína; y finalmente en la etapa de engorde 2 los peces fueron alimentados 2 veces diaras y con balanceado que contenía el 24 % de proteína.

Como se pudo observar, la frecuencia de alimentación varió de acuerdo a la edad, tamaño y peso de los peces, además como lo señala Vega et al. (2011), esta también debe variar de acuerdo a la especie, factores ambientales y calidad del alimento balanceado (p. 3).

Por otra parte, a pesar de que la tilapia es una especie muy cultivada, los estudios acerca de la frecuencia de alimentación y su efecto en el crecimiento son pocos y contradictorios, como se menciona en los trabajos realizados por Magdy y Mohamend (2008), quienes probaron dos frecuencias de alimentación de 2 y 4 veces por día y encontraron que existió un aumento significativo en el incremento de peso cuando la frecuencia de alimentación aumentó, mientras que Rice y Col (2004), mencionan que no existen diferencias significativas en lo que respecta al crecimiento y eficiencia alimenticia; sin embargo, de acuerdo a estos autores,

alimentar a los peces más de una vez diaria es mucho mejor que una sola vez (Vega et al. 2011, p. 9). Todos los datos fueron extraídos de las tablas descritas en los Anexos V hasta VIII.

3.2.3 FACTORES DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE TILAPIA ROJA

3.2.3.1 Peso promedio

Los pesos promedios de los tratamientos se presentan en la Tabla 3.27.

Tabla 3.27 Pesos promedios de tilapia obtenidos por tratamiento

Pesos promedio del cultivo (g)					
Muestra	Edad (días)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Control
Mo	1	0,01	0,01	0,01	0,01
M1	35	0,33	0,37	0,36	0,28
M2	95	7,83	8,56	8,53	7,00
M3	110	14,70	16,10	16,10	14,6
M4	125	26,78	27,96	27,73	25,00
M5	140	46,59	48,36	48,00	43,44
M6	155	66,04	69,90	69,10	51,14
M7	170	88,22	93,62	93,12	63,34
M8	185	113,96	117,97	117,71	92,53
M9	200	142,77	145,22	145,41	119,67
M10	215	172,93	175,69	176,04	153,75
M11	230	204,94	211,03	211,24	165,76
M12	245	236,75	245,06	244,51	188,08
M13	260	267,23	279,31	277,12	199,02

Los tratamientos 1, 2, 3 y control se iniciaron con un peso uniforme de 0,01 g y alcanzaron pesos de 267,23 g, 279,31 g, 277,12 g y 199,02 g, al final de los 260 días de cultivo.

Los incrementos de peso fueron para el tratamiento 1, 267,22 g, tratamiento 2, 279,3 g, tratamiento 3, 277,11 g y control 199,01 g.

3.2.3.2 Talla promedio

Las tallas promedio de los tratamientos se detallan en la Tabla 3.28

Tabla 3.28 Tallas promedio de tilapia obtenidas por tratamiento

Tallas promedio del cultivo (cm)					
Muestra	Edad (días)	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Control
M0	2	1,0	1,0	1,0	1,0
M1	35	2,5	2,7	2,7	2,5
M2	95	7,5	8,3	8,2	7,1
M3	110	9,2	9,5	9,4	9,2
M4	125	10,9	11,6	11,3	10,2
M5	140	13,3	14,0	14,1	13,0
M6	155	15,6	15,9	15,7	14,1
M7	170	16,4	17,5	17,2	15,0
M8	185	18,3	19,1	19,1	17,5
M9	200	20,2	20,2	20,2	19,0
M10	215	21,4	21,5	21,3	19,4
M11	230	22,4	22,6	22,6	19,7
M12	245	23,3	23,5	23,3	19,9
M13	260	24,1	24,7	24,4	20,2

Todos los tratamientos se iniciaron con la misma talla promedio, óptima para el proceso de reversión sexual.

3.2.4 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TILAPIA

3.2.4.1 Incremento de peso

En la Tabla 3.29 se indica el incremento de peso obtenido en el tratamiento 1 en los 260 días de cultivo.

Tabla 3.29 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 1

Día	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Incremento peso total (g)	IP/ día (g)
35	0,01	0,33	0,32	0,01
95	0,33	7,83	7,50	0,13
110	7,83	14,70	6,87	0,46
125	14,70	26,78	12,08	0,81
140	26,78	46,59	19,81	1,32
155	46,59	66,04	19,45	1,30
170	66,04	88,22	22,18	1,48
185	88,22	113,96	25,74	1,72
200	113,96	142,77	28,81	1,92
215	142,77	172,93	30,16	2,01
230	172,93	204,94	32,01	2,13
245	204,94	236,75	31,81	2,12
260	236,75	267,23	30,48	2,03
Total			267,22	

Se observa que el incremento de peso del tratamiento 1 es de alrededor de 267,22 g, a razón de 1,03 g/día. Se pudo observar que el pez gana muy poco

peso durante los primeros días de cultivo hasta alcanzar la etapa de juvenil o pre-engorde.

El incremento de peso llegó a un máximo de 267,22 g a los 260 días de cultivo, el mismo que tiende a estabilizarse a partir de ese tiempo.

Los bajos incrementos de peso presentados en el día 95 pudieron ser causa de la manipulación realizada durante el muestreo para establecer la nueva ración de alimento, y el bajo incremento de peso al día 140 pudo deberse a la manipulación excesiva por causa de la identificación sexual que se le realizó al pez para determinar el porcentaje de reversión del tratamiento 1.

En la Tabla 3.30, se detallan los datos obtenidos en el cálculo del incremento de peso correspondiente al tratamiento 2.

Tabla 3.30 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 2

Día	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Incremento peso total (g)	IP/ día (g)
35	0,01	0,37	0,36	0,01
95	0,37	8,56	8,19	0,14
110	8,56	16,10	7,54	0,50
125	16,10	27,96	11,86	0,79
140	27,96	48,36	20,40	1,36
155	48,36	69,90	21,54	1,44
170	69,90	93,62	23,72	1,58
185	93,62	117,97	24,35	1,62
200	117,97	145,22	27,25	1,82
215	145,22	175,69	30,47	2,03
230	175,69	211,03	35,34	2,36
245	211,03	245,06	34,03	2,27
260	245,06	279,31	34,25	2,28
Total			279,3	

El tratamiento 2 mostró una ganancia de peso total de 279,3 g durante los 260 días de cultivo a una razón de 1,07 g/día, datos que señalan que los peces de este tratamiento fueron más eficientes en el consumo del alimento proporcionado.

De igual forma, se observó que la ganancia de peso durante los primeros días de cultivo es muy baja, hasta alcanzar su etapa juvenil.

De la misma forma que el tratamiento 1, los bajos incrementos de peso presentados en los días 95 y 140, se debió al muestreo realizado para la determinación de la nueva ración alimenticia y determinación del porcentaje de reversión sexual obtenida.

En la Tabla 3.31, se indican los datos obtenidos del incremento de peso correspondientes al tratamiento 3.

Tabla 3.31 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el tratamiento 3

Día	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Incremento peso total (g)	IP/ día (g)
35	0,01	0,36	0,35	0,01
95	0,36	8,53	8,17	0,14
110	8,53	16,10	7,57	0,50
125	16,10	27,73	11,63	0,78
140	27,73	48,00	20,27	1,35
155	48,00	69,10	21,10	1,41
170	69,10	93,12	24,02	1,60
185	93,12	117,71	24,59	1,64
200	117,71	145,41	27,70	1,85
215	145,41	176,04	30,63	2,04
230	176,04	211,24	35,20	2,35
245	211,24	244,51	33,27	2,22
260	244,51	277,12	32,61	2,17
Total			277,11	

La ganancia total de peso en el tratamiento 3 fue de 277,11 g en un periodo de 260 días de cultivo a razón de 1,07 g/día, como se observa tuvo la misma eficiencia de aprovechamiento del alimento proporcionado, que el tratamiento 2. Al igual que en los anteriores tratamientos en éste se observó que la ganancia de peso durante los primeros días de cultivo es baja hasta alcanzar la etapa juvenil.

El bajo incremento de peso en el día 95, se debió a la manipulación por efecto del muestreo realizado para establecer la nueva ración alimenticia, de igual forma sucedió al día 140, en el que el bajo incremento de peso, fue efecto de la alta manipulación del pez, puesto que a esa edad se realizó el sexaje manual para determinar el porcentaje de reversión sexual obtenido.

En la Tabla 3.32 se indican los datos calculados de la ganancia de peso del tratamiento 4.

Tabla 3.32 Incremento de peso obtenido a los 260 días en el control

Día	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Incremento peso total (g)	IP/ día (g)
35	0,01	0,28	0,27	0,01
95	0,28	7,00	6,72	0,11
110	7,00	14,60	7,60	0,51
125	14,60	25,00	10,40	0,69
140	25,00	43,44	18,44	1,23
155	43,44	51,14	7,70	0,51
170	51,14	63,34	12,20	0,81
185	63,34	92,53	29,19	1,95
200	92,53	119,67	27,14	1,81
215	119,67	153,75	34,08	2,27
230	153,75	165,76	12,01	0,80
245	165,76	188,08	22,32	1,49
260	188,08	199,02	10,94	0,73
Total			199,01	

El incremento de peso obtenido en el control es de 199,01 g en 260 días de cultivo, a razón de 0,77 g/día.

En comparación con los anteriores tratamientos, se determinó que la baja ganancia de peso de este tratamiento pudo deberse a factores tales como la presencia de una gran cantidad de hembras, que no alcanzaron los pesos comerciales en el tiempo definido de cultivo.

En la Figura 3.8 se representa el comportamiento del crecimiento con respecto al incremento diario de peso durante los 260 días de cultivo, para los tratamientos 1, 2, 3 y control

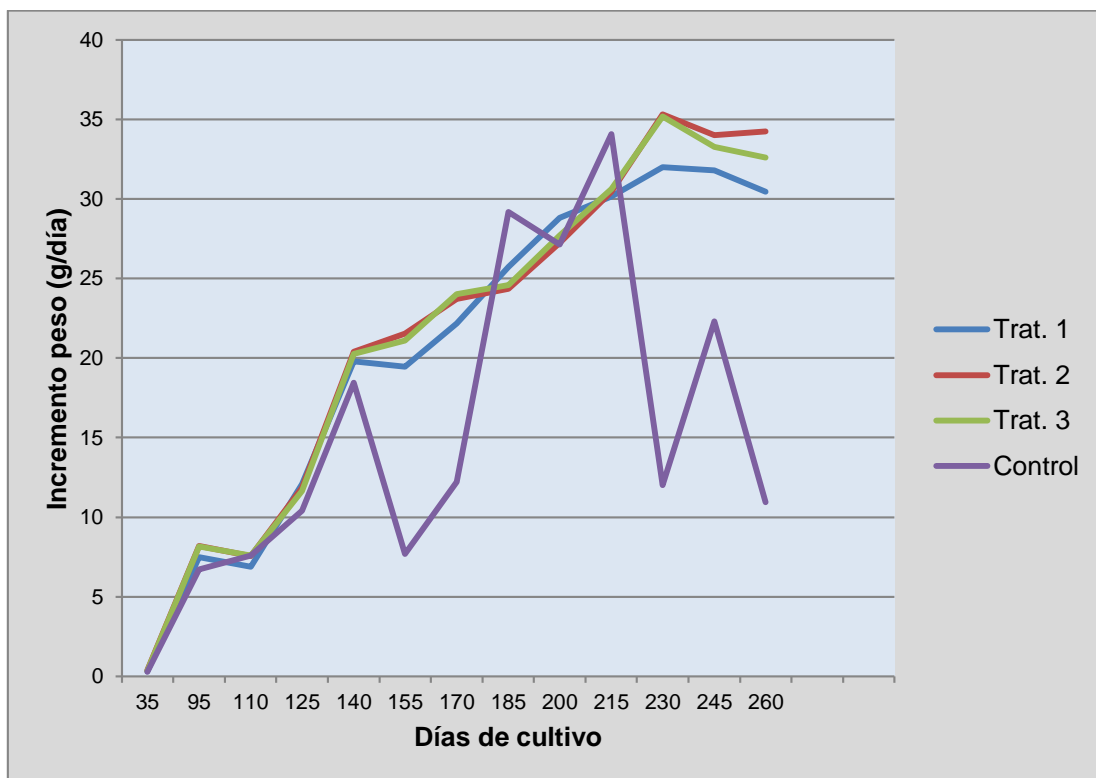


Figura 3.8 Crecimiento de tilapia en los tratamientos 1, 2, 3 y control

Se observa que el crecimiento en el control, tuvo una gran diferencia en comparación con los anteriores tratamientos, esto demostró que la influencia de la alimentación hormonal en la producción de tilapia es crucial para obtener cultivos homogéneos. Este comportamiento en el crecimiento se asume se debió a la gran presencia de hembras y alevines productos de la reproducción, los mismos que provocan una alta sobrepoblación, haciendo al cultivo inmanejable y generando pérdidas económicas y de tiempo.

La presencia de peces de varios tamaños en el control dificultó la alimentación adecuada del mismo.

Por otro lado en los tratamientos 1, 2 y 3 se mantuvo un incremento de peso promedio diario de 1,06 g, que no difiere mucho con resultados obtenidos en

estudios anteriormente realizados, que obtuvieron un crecimiento diario de 1,09 gramos (García, Tume y Victor, 2015, p. 3)

En la Tabla 3.33 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona, en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 260 días.

Tabla 3.33 Análisis de varianza en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	13084,1	3	4361,35	36332,00	0,0000
Intra grupos	0,960333	8	0,120042		
Total (Corr.)	13085,0	11			

En la Tabla 3.33 se observa que existió una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el incremento de peso alcanzado por los peces a los 260 días, al suministrarles diferentes dosis de la hormona 17 α -metiltestosterona.

En la Tabla 3.34 Se presentan los grupos homogéneos. Se han identificado 4 grupos homogéneos, los tratamientos 1, 2, 3 y control son estadísticamente diferentes.

Tabla 3.34 Grupos homogéneos en el peso alcanzada por los peces a los 260 días

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Control	3	199,013	A
1	3	267,217	B
3	3	277,11	C
2	3	279,3	D

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales ($p < 0,05$)

Se observa que finalmente la alimentación hormonal influyó de manera significativa, ya que en cuanto al crecimiento hubieron diferencias marcadas entre tratamientos, especialmente con el tratamiento control en el cual se obtuvo un cultivo muy heterogéneo a causa del bajo crecimiento de la tilapia hembra y reproducción excesiva.

3.2.4.2 Biomasa obtenida

Los resultados de la biomasa obtenida en los tratamientos se indican en la Tabla 3.35.

Tabla 3.35 Biomasa generada por los tratamientos en el cultivo de tilapia

Biomasa generada				
Tratamientos	No. Peces	Peso promedio (g)	Biomasa total (g)	Biomasa total (Kg)
1	429	267,23	114641,7	114,6
2	473	279,31	132113,6	132,1
3	439	277,12	121655,7	121,7
Control	407	199,02	81001,1	81,0

La biomasa corresponde al número de kg producidos por cada tratamiento, y como se puede observar, el tratamiento 2, fue el de mayor rendimiento al finalizar la investigación, lo que permitió asumir que éste fue el mejor tratamiento en cuanto a producción se refiere.

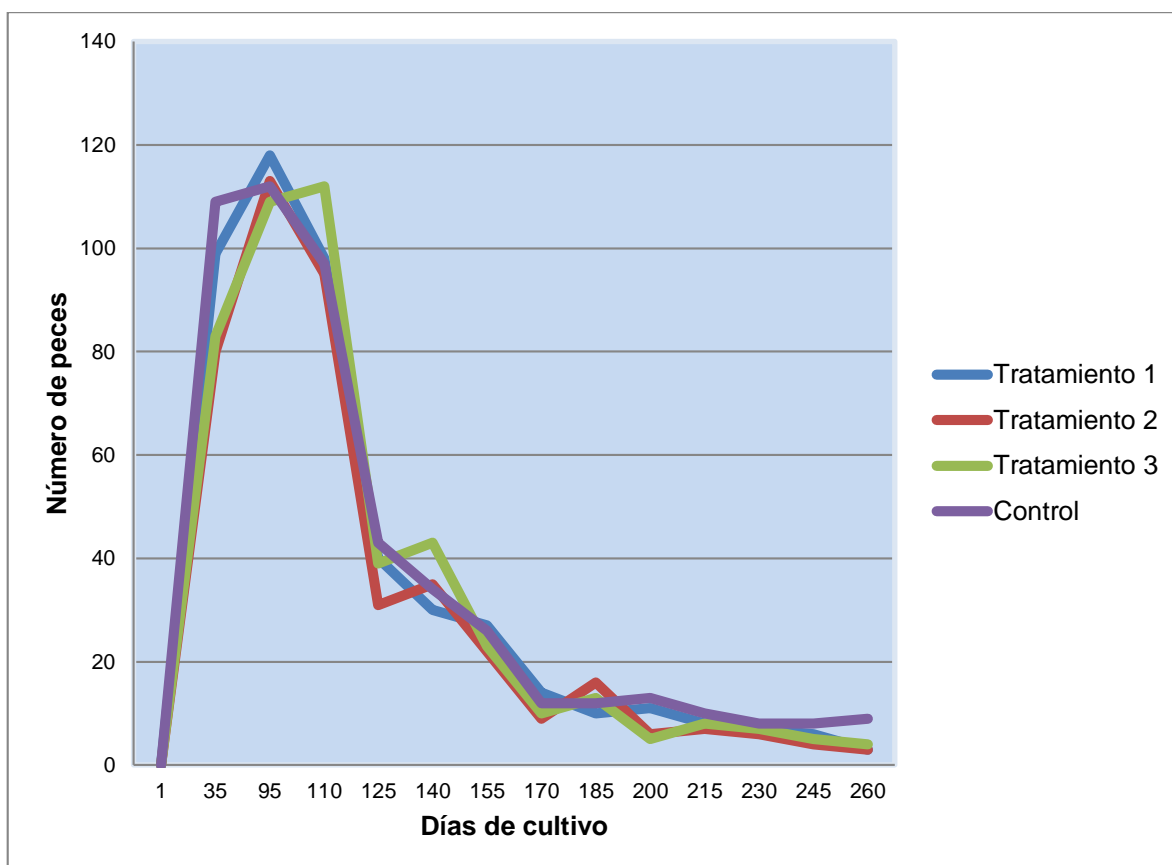
3.2.4.3 Mortalidad

En la Tabla 3.36 se detallan los porcentajes de mortalidad obtenidos en los diferentes tratamientos durante el cultivo de tilapia.

Tabla 3.36 Mortalidad de los peces a los 260 días

Tratamientos	1	2	3	Control
Peces sembrados	900	900	900	900
Total peces muertos	471	427	461	493
Mortalidad Promedio (%)	52,3	47,4	51,2	54,7

En la figura 3.9 se representa la mortalidad durante los 260 días de cultivo para cada tratamiento.

**Figura 3.9** Mortalidad registrada a los 260 días de cultivo

En la Tabla 3.37 se presentan los análisis estadísticos de varianza, para establecer la mortalidad de los peces a los 260 días.

Tabla 3.37 Análisis de varianza en la mortalidad de los peces a los 260 días

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	754,667	3	251,556	3,01	0,0943
Intra grupos	668,0	8	83,5		
Total (Corr.)	1422,67	11			

En la Tabla 3.37 se observa que no existió una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) en la mortalidad de los peces a los 260 días.

Ya que los parámetros de la calidad del agua como son la temperatura, concentración de oxígeno, pH, turbidez y el total de sólidos disueltos se mantuvieron dentro de los niveles óptimos para la producción de tilapia, se descarta la influencia de estos como causa de la mortalidad reportada para la investigación, ya que en ningún momento se observaron síntomas provocados por estos parámetros físico-químicos.

Por otro lado, al no existir una diferencia marcada en la mortalidad en los diferentes tratamientos, se puede asumir que ésta prácticamente fue causa de la alta manipulación, la misma que causó altos niveles de estrés en los animales, provocándoles la muerte.

Sin embargo, se observó que los mayores porcentajes de reversión se produjeron en edades tempranas, mismas que pueden ser causadas por el estrés que representa la alimentación hormonal.

De la misma forma, se observa que a medida que el cultivo, se desarrolló y los peces alcanzaron mayores pesos y tallas la mortalidad disminuyó gradualmente.

3.3 COSTOS

En la Tabla 3.38 se presenta el análisis del costo de producción obtenidos en los diferentes tratamientos durante los 260 días de cultivo.

Tabla 3.38 Costos de producción de los tratamientos

Costo de producción				
Rubro	T1	T2	T3	Control
Costo fijos (depreciaciones) (CF)				
Unidad de producción (USD)	24	24	24	24
Costos variables (CV)				
Alevines (USD)	45	45	45	45
Mano de Obra (USD)	56	56	56	56
Alimento (USD)	181	202,7	192	146,9
Desinfectante (USD)	4,5	4,5	4,5	4,5
Cal agrícola (USD)	0,85	0,85	0,85	0,85
Transporte (USD)	11,25	11,25	11,25	11,25
Costo Total (CF+CV) (USD)	322,6	344,3	333,6	288,5
Ingreso ventas	573	660,5	608,5	405
Ganancia (I – CT) (USD)	250,4	316,2	274,9	116,5
Rentabilidad ((I – CT)/CT) * 100	78	92	82	40
Costo por Kg de tilapia (USD)	2,82	2,61	2,74	3,56

Se determina como tratamiento con mejor resultado al tratamiento 2, el mismo que económicamente representa la más alta rentabilidad y más bajo costo de producción por kilogramo de tilapia, a pesar de ser el tratamiento con mayor cantidad de alimento consumido.

3.4 DISEÑO DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN DE ALEVINES

En el diseño de la unidad de producción se tomó en cuenta la producción de alevines esperada durante el año.

3.4.1 PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ALEVINES

La producción esperada es de 14 000 alevines de tilapia semanales, dando una producción total anual de 672 000 peces.

En base a esta producción, se realizó el diseño de una unidad de producción de alevines reversados.

Para la producción de 672 000 alevines se diseñaron 8 estanques circulares con una capacidad de 2,8 m³ los mismos que albergarán las larvas provenientes de los tanques de incubación hasta finalizar el proceso de alevinaje.

La producción programada está en función de las necesidades actuales del Centro Piscícola Nanegal, el mismo que actualmente cuenta con una producción anual de aproximadamente 200 000 alevines de tilapia reversados. Esta programación se realizó en base a la cantidad de reproductores existentes en el CPN.

En la figura 3.10 se presenta la programación de la producción de alevines de tilapia por fases durante un año.

Programación de producción anual de alevines																																																																							
Semanas																																																																							
Ciclo 1												Ciclo 2												Ciclo 3												Ciclo 4												Ciclo 5												Ciclo 6											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48																							
Estanque 1	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 2	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 3	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 4	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 5	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 6	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 7	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				
Estanque 8	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C	S	Desarrollo	C																				

S : Siembra
C: Cosecha

Figura 3.10 Programación anual de la producción de alevines

3.4.2 DIMENSIONAMIENTO DE ESTANQUES

3.4.2.1 Estanque de reversión y alevinaje

Los estanques fueron diseñados de acuerdo a la producción esperada. En la Figura 3.11 se presenta el diseño del estanque de reversión y alevinaje.

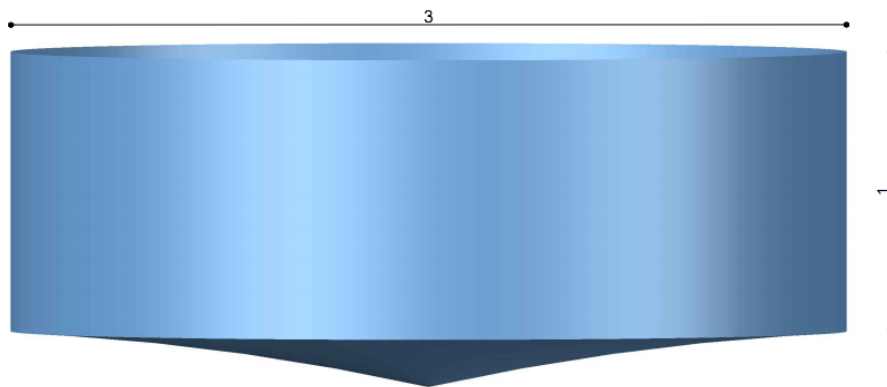


Figura 3.11 Estanque de reversión y alevinaje

Los estanques de reversión y alevinaje tienen una capacidad de $2,8 \text{ m}^3$, en los mismos que se cultivarán 5000 peces/m^3 , dando una cantidad de 14 000 peces sembrados por estanque.

Los estanques serán construidos de forma circular y cóncava, que facilitará la circulación de agua evitando los puntos muertos y así evitando la falta de oxígeno en el estanque. Además, este tipo de estanque por la circulación de agua en su interior, generará un efecto remolino que concentrará las impurezas en el centro del estanque facilitando su limpieza y evitando la formación de gases tóxicos para el pez.

3.4.2.2 Tanques de incubación de ovas de tilapia

En la Figura 3.12 se indican las dimensiones del estanque de incubación de ovas de tilapia.

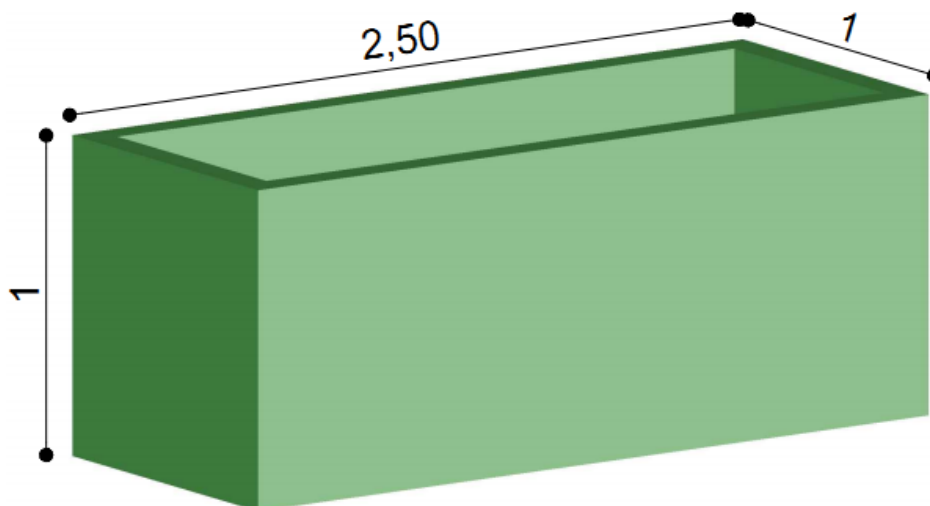


Figura 3.12 Tanque de incubación

Los tanques de incubación constarán con una incubadora Mcdonald con capacidad de 80 000 a 100 000 ovas, de las mismas que se estima un porcentaje de eclosión que varía entre el 50 y el 100 %, por lo que se estima trabajar en el peor de los casos con al menos 40 000 larvas eclosionadas por tanque de incubación.

3.4.2.3 Tanque de distribución de agua

En la Figura 3.13 se indican las dimensiones del tanque de distribución de agua.

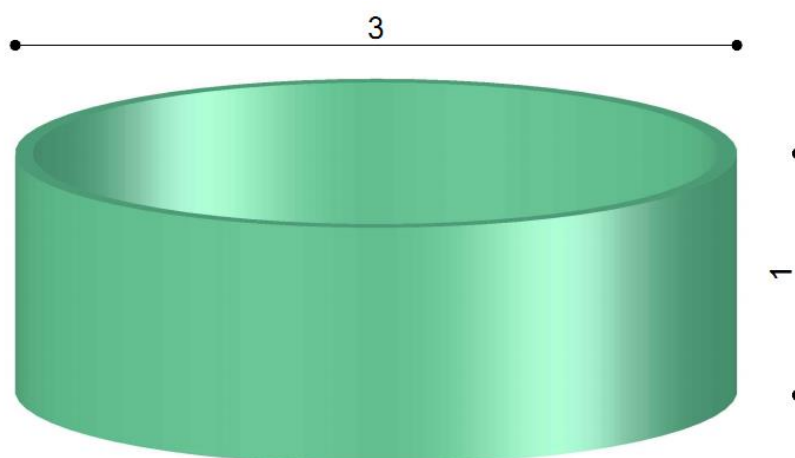


Figura 3.13 Tanque de distribución de agua

Los tanques de distribución de agua fueron diseñados para realizar un recambio de agua del 50 % de la unidad de producción de alevines. Estos tienen un volumen de 5,5 m³ cada tanque, los mismos que evitaban la existencia de cambios bruscos de temperatura del agua.

3.4.3 DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ALEVINES

En el diseño de la planta de producción de alevines, se tomó en cuenta el caudal de agua disponible en la zona, el mismo que está en un promedio de 15 L/s durante todo el año, lo que permitirá manejar una hectárea de espejo de agua.

La toma de agua se realizará desde una vertiente que se encuentra a 50 m de la planta de producción de alevines, con una tubería de 3 pulg de diametro.

Es importante recalcar que antes de realizar el entubamiento del agua se construirá un canal abierto con gradas no mayores a 30 cm de altura con el objeto de oxigenar el agua, para en lo posible evitar el uso de equipos de aireación y poder aumentar las densidades de siembra.

El diseño se realizó con el objetivo de aprovechar la gravedad del lugar.

El agua se recolectará en los tanques de distribución, los mismos que cuentan con una tubería de salida de agua de 2 pulg. Esta tubería se instalará a lo largo de los estanques de incubación y alevinaje, permitiendo una entrada independiente de agua a cada estanque.

Los desagües de los estanques se realizarán con una tubería de 3 pulg, los mismos que llegarán a un desagüe principal que finalmente terminará recolectando el agua de desecho de cada uno de los estanques de producción, para posteriormente utilizar esta agua como riego para cultivos agrícolas que se encuentran en el CPN.

En la Figura 3.14 se presenta el “layout” de la planta de producción de alevines.

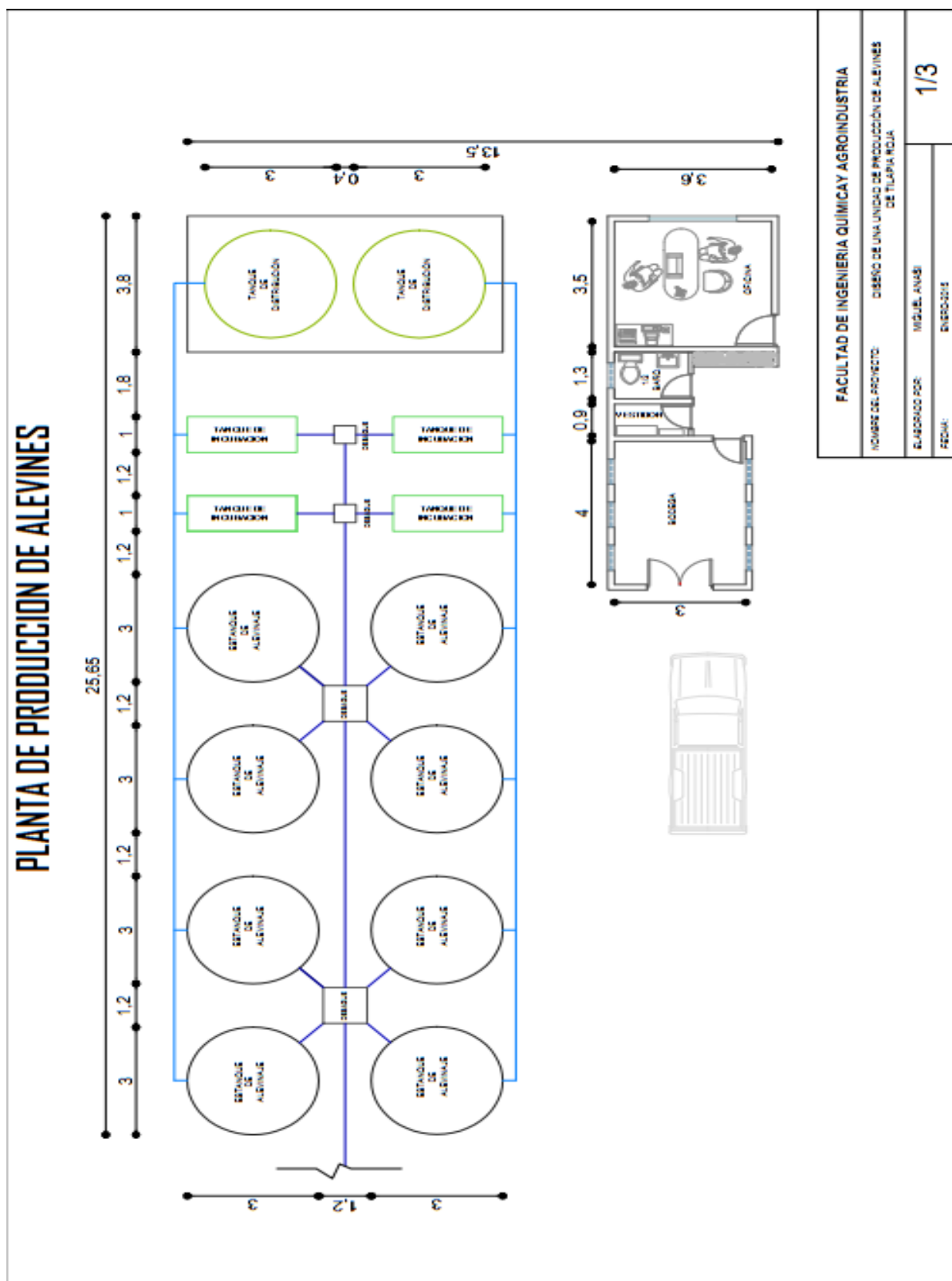


Figura 3.14 Layout de planta de producción de alevines

En la Figura 3.16 se presenta la vistas frontal y laterla de la unidad de producción de alevines.

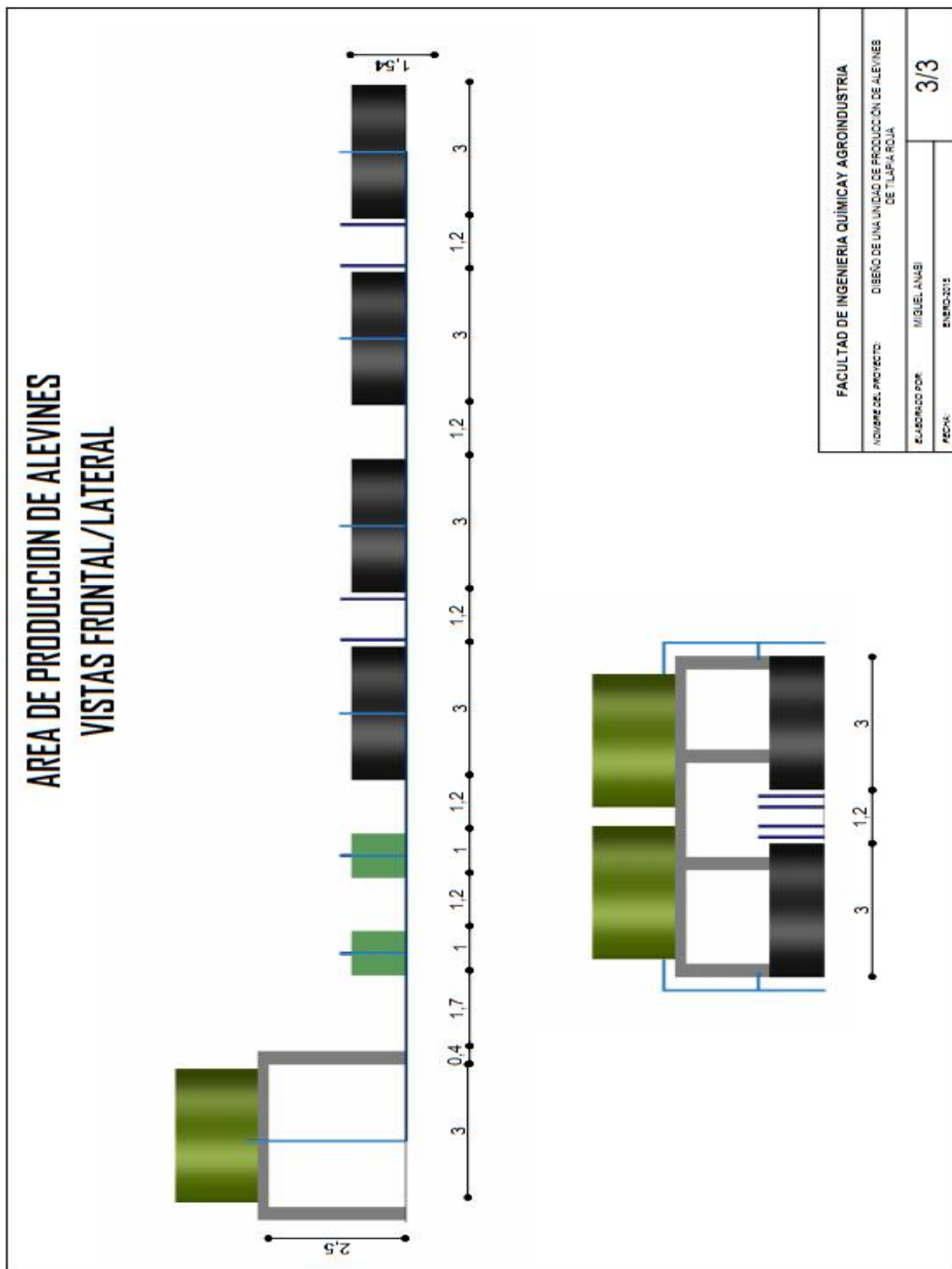


Figura 3.16 Vista frontal y lateral del área de producción de alevines

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

1. Los tres tratamientos en los que se utilizó alimentación hormonal presentaron una diferencia significativa en cuanto a la proporción de machos y hembras dentro del cultivo de tilapia, con respecto al tratamiento testigo en el que se alimentó sin hormona a los peces. Este último grupo de peces tuvo una alta presencia de hembras de alrededor del 40 %, lo que dificulta el manejo adecuado de los peces en cuanto a alimentación y control de reproducción.
2. Entre los tres tratamientos con dosis de 60 mg, 80 mg y 100 mg de hormona 17α -metiltestosterona por kilogramo de alimento se lograron obtener reversiones sexuales del 97 %, 99 % y 100 % respectivamente, siendo los dos últimos tratamientos estadísticamente homogéneos.
3. En cuanto al incremento de peso y talla entre los cuatro tratamientos, no se obtuvo una diferencia significativa durante el proceso de reversión, todos los tratamientos obtuvieron aproximadamente la misma talla y peso al finalizar los 35 días de reversión sexual.
4. Al controlar los parámetros fisicoquímicos del agua mediante los recambios permanentes y monitoreo frecuente, especialmente de la temperatura se logró mantener un promedio no menor a los 22 °C en la etapa de reversión sexual y 23,5 °C en la etapa de pre-engorde y engorde del cultivo; el oxígeno se mantuvo en rangos no inferiores a 5 mg/l y el total de sólidos disueltos prácticamente permaneció constante durante todo el cultivo. Sin embargo, la turbidez tuvo un cambio brusco por la presencia de producción primaria como el plancton en los estanques, el mismo que no afectó al pez en su desarrollo normal.

5. Al establecer las tablas y frecuencias de alimentación, se pudo observar que a pesar de que todos los tratamientos recibieron el mismo alimento en iguales cantidades respecto a la biomasa presente en el estanque, la ganancia de peso fue diferente en cada uno de los tratamientos, especialmente en el tratamiento testigo, el cual tuvo muy bajos registros de peso y talla promedio con respecto a los tratamientos inicialmente tratados con hormona. Esta diferencia presentada se debió a la presencia de mayor cantidad de hembras que no desarrollan de la misma forma que los machos.
6. La producción total en kilogramos de los tratamientos 1, 2, 3 y control fue de 114,6 kg, 132,3 kg, 121,2 kg y 199,6 kg respectivamente, en los mismos que se determinó que el tratamiento 2 tuvo el más alto registro de peso producido durante la investigación.
7. La mortalidad presentada en las primeras etapas de cultivo se concluye fue por razones de manipulación excesiva de los peces a causa de los muestreos que se realizaron durante la investigación; sin embargo, se observó que esta se presenta con mayor frecuencia a edades tempranas puesto que conforme van creciendo los peces, la mortalidad baja considerablemente.

4.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar una malla plástica no mayor a un ojo de luz de 3 mm para obtener peces con tallas aproximadas de 7 a 11 mm, a fin de garantizar la efectividad de la hormona, ya que a tallas mayores, esta baja considerablemente.

2. Se recomienda que las frecuencias de alimentación no sean menores a 5 o 6 veces por día para mantener el nivel de hormona adecuado en la sangre de los peces.

3. En caso de tener temperaturas del agua menores a los 23 °C, como en la investigación realizada, se recomienda la instalación de calentadores para poder obtener temperaturas superiores a los 24°C y garantizar la inducción sexual.

4. Para establecer una explotación de tilapia se recomienda realizarlo en zonas tropicales con temperaturas del agua superiores a los 26 °C con el fin de obtener ciclos cortos de cultivo y al menos dos cosechas por año, lo que aumentará la rentabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilera, P. H., Noriega, C. P., & Guzman, C. J. (2000). *Que es la acuicultura*. Tepeyac - México: Impresos publicitarios y formatos comerciales S.A de C.V.
2. Amado, J. A., & Flórez, J. (2015). *Hormonas sexuales: estrógenos, gestágenos, andrógenos y anticonceptivos hormonales*. Recuperado de www.hvil.sld.cu/bvs/archivos/641_50hormonas%252520sexuales%252520estrogenos,%252520gestagenos,%252520androgenos.pdf (Septiembre, 2014)
3. Arboleda, O. D. (2005). Reversión de tilapia roja (*Oreochromis spp*), una guía básica para el acuicultor. *Revista electrónica de Veterinaria REDVET*, Volumen VI, No. 12, 1-5. Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n121205/120508.pdf> (Enero, 2015)
4. Arias, H. A., Marcillo, G. E., & Freire, C. G. (2015). *Efecto de la estrategia de alimentación con tiempo definido sobre el crecimiento y la conversión alimenticia para tilapia roja (Oreochromis spp) fase de engorde*. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1712/1/3317.pdf> (Septiembre, 2014)
5. Azañero, D. R., Cárdenas, F. E., Flores, M. M., Guevara, M. G., Lamas, C. P., & Vigil, V. S. (2010). *Plan de negocios para la exportación de filete de tilapia congelado al mercado de Ohio-Estados Unidos*. Recuperado de <http://www.youblisher.com/p/389780-Exportacion-de-tilapia-a-EEUU/> (Septiembre, 2014)
6. Balbuena, E. (2011). *Manual básico de piscicultura para Paraguay*. Recuperado de <http://www.mag.gov.py/VMG/Manual%20Basico%20Piscicultura%202011.ppd> (Septiembre, 2014)

7. Baltazar, P., & Palomino, A. (2004). *Manual de Cultivo de Tilapia*. Lima: FONDEPES.
8. Bautista, C. J., & Velazco, A. J. (2011). *Calidad de agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana*. Recuperado de <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf> (Abril, 2015)
9. Bortone, E. (2001). *Diseño de plantas de alimentos balanceados especializados para peces y crustáceos*. Recuperado de www.los-seibos.com/teoria/peces.pdf (Abril, 2015)
10. Buxadé, C. C. (1997). *Producción Animal Acuática*. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa.
11. Cantor, A. F. (2007). *Manual de producción de tilapia*. Recuperado de http://api.ning.com/files/XsdzssQlml1ERp3x3LhIH-SLJK1Wcw83ulQ1at9BVNoQV6IUZ*H-IdRLhkoJbQUtNs7ZNVJX4JC3gDsBVHw7keD7TgsUOzxl/ManualdeculativoManualdec.pdf (Noviembre, 2014)
12. Castillo, C. L. (2011). *Tilapia roja 2011*. Recuperado de ag.arizona.edu/azaqua/lista/reports/TILAPIAROJA2010.doc (Noviembre, 2014)
13. Delgadillo, S. (2006). *Proceso de hormonización de crías de tilapia: Análisis y alternativas*. Recuperado de https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ISTA/Memorias/soledad_delgadillo.doc (Noviembre, 2014)
14. Devlin, R. H., & Nagahama, Y. (2002). *Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and enviromental influences*. Revista Elsevier, Volumen 7, No. 6, 191-364
15. Escobar, N.-H. C. (2010). *Pargo-UNAM: Una alternativa en el mundo de la acuicultura tropical*. Recuperado de www.siac.org.mx/fichas/54%20Veracruz%20Pargo-UNAM%20VF.pdf (Noviembre, 2014)

16. García, A., Tume, J., & Victor, J. (2015). *Determinación de los parámetros de crecimiento de la Tilapia Nilótica (Oreochromis niloticus) en un estanque revestido con geomembrana y abastecido con agua de subsuelo.* Recuperado de http://www.uap.pe/investigaciones/Esp/Revista_15-02_Esp_05.pdf (Abril, 2015)
17. González, M. G. (2007). *Efectos de la temperatura sobre la alimentación y la respiración de los gupis Poecilia reiculada (Pisces: Poeciliidae).* Recuperado de <http://www.webs.ulpgc.es/etologia/Revistas/GonzalezMayorG.pdf> (Abril, 2015)
18. Gunter. (2000). *Guía para el cultivo de tilapia.* Tlalpan. México: Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca.
19. Hsien-Tsang, S., & Quintanilla, M. (2008). *Manual sobre reproducción y cultivo de tilapia.* Recuperado de http://www.mag.gob.sv/phocadownload/Apoyo_produccion/manual%20reproduccion%20y%20cultivo%20tilapia.pdf (Noviembre, 2014)
20. Hurtado, N. (2005). *Inversión sexual en tilapias.* Recuperado de http://www.ciclididos-mexico.com/articulos/nh_invsextilapia.pdf (Noviembre, 2014)
21. Hurtado, N. (2015). *Tilapia: La alternativa social y económica del tercer milenio.* Recuperado de http://www.revistaaquatic.com/documentos/docs/nh_tilapia3milenio.pdf (Noviembre, 2014)
22. Jiménez, B. M., & Arredondo, F. J. (2000). *Manual técnico para la reversión sexual de tilapia.* Recuperado de www.izt.uam.mx/pexpa/pdf/tilapia.pdf (Diciembre, 2014)
23. Jover, M., Martínez, S., Tomás, A., & Pérez, L. (2003). *Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas.* Revista

- Aquatic, No. 19, 17-26. Recuperado de http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/19_3.pdf (Enero, 2015)
24. Logato, P., Murgas, L., & de Souza, F. (2004). *Estudio del efecto de la relación macho hembra en la puesta natural y dosis de 17-alfa-metiltestosterona en la reversión sexual de tilapia de nilo (Oreochromis niloticus) linaje Tailandés.* Recuperado de <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/513/1/AV20%20%282004%29%20p%2095-103.pdf> (Diciembre, 2014)
25. Lopategui, C. E. (2012). Recuperado de www.saludmed.com/articulos/Fisiologia_del_Ejercicio/Ergogenia_y_Do_paje.html (Diciembre, 2014)
26. López, C., Carvajal, D., & Botero, M. (2007). Mazculinización de tilapia roja (*Oreochromis spp*) por inmersión utilizando 17 alfa-metiltestosterona. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, No. 20, 318-326.
27. Lozano, D., & López, F. (2001). *Manual de Piscicultura para la Región Amazónica.* Quito: MOSSAICO.
28. Luna, S. L., & Domínguez, M. R. (2015). *Estudio del sector acuícola.* Recuperado de http://www.planacuicultura.es/doc/ecuador/INFORME_ECUADOR_DEF_INIDEFI.pdf (Diciembre, 2014)
29. Llanes, J., Toledo, J., Fernández, I., & Lazo de la Vega, J. (2006). *Nutrición y alimentación de tilapias:* Recuperado de www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2006/REVISTA%2004/27%20NUTRICION%20TILAPIAS.pdf (Abril, 2015)
30. Marcillo, G. E., & Landivar, Z. J. (2008). *Tecnología de Producción de alevines monosexo de tilapia.* Guayaquil: Artes Gráficas Senefelder C.A.
31. Meyer, D. (2004). *Introducción a la acuicultura.* Recuperado de http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/featured_titles/Introduccion%20Acuacuacu.pdf (Diciembre, 2014)

32. Meyer, D. E., & Suyapa, T. M. (2007). *Reproducción y cría de alevines de tilapia*. Recuperado de http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/featured_titles/Fingerling_Spanish.pdf (Diciembre, 2014)
33. Olvera, N. (2005). *Guía Práctica para el Cultivo de Tilapia*. Mérida: CONAPESCA.
34. Ortiz, J. (2009). *Producción dulce acuícola en el Ecuador 1*. Quito: RAAE.
35. Pardo, R. N. (2007). *Manual de Nutrición Animal*. Quito: Grupo Latino Editores Ltda.
36. Patti, J., Esteve, M., & Gaviria, J. I. (2011). *Consumo de oxígeno del híbrido de tilapia roja florida Oreochromis sp. en agua de mar, bajo condiciones de laboratorio*. Revista Agrobiología, Volumen. 23, No.2, 99-106. Recuperado de http://ri.biblioteca.udo.edu.ve/bitstream/123456789/3531/1/%5B14%5D-Vol_23-Nro_2-2011-79-250-1-SM.pdf (Mayo, 2015)
37. Poot, L. G., Gasca, L. E., & Olvera, N. M. (2012). *Producción de tilapia nilótica (Oreochromis niloticus L.) utilizando hojas de chaya (Cnidoscolus chayamansa Mc Vaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado*. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/lajar/v40n4/art02.pdf> (Mayo, 2015)
38. Ramos, M. F., Triminio, M. S., Meyer, D., & Barrientos, A. (Marzo de 2006). *Determinación de costos del cultivo de tilapia a pequeña y mediana escala*. Recuperado de http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/featured_titles/Determinacion_Meyer000.pdf (Diciembre, 2014)
39. Saavedra, M. M. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Recuperado de http://csptilapianayarit.org/informacion/Generalidades_del_cultivo_de_TilapiaT.pdf (Diciembre, 2014)

40. SAGARPA. (2009). *Modelo tecnológico para el cultivo de tilapia (Oreochromis sp.) en jaulas*. México: Comité Sistema Producto de Tilapia México, AC.
41. SAGARPA. (2011). *Guía empresarial para el cultivo, engorda y comercialización de la tilapia (mojarra)*. México D.F.: Impresos publicitarios y formatos comerciales S.A de C.V.
42. Santamaría, M. A., Heredia, B. J., Apún, M. P., Román, V. M., García, R. L., & Trigueros, S. J. (2012). Masculinización de la tilapia roja (*Oreochromis spp*) con el esteroide acetato de trembolona (ATB) suministrada en el alimento. *Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable*, Volumen 8, No. 3, 137-142.
43. Torres, H. P., Nucamendi, R. G., Pintos, T. P., & Montoya, M. J. (2010). *Masculinización de tilapia del nilo (Oreochromis niloticus) por inmersión en Fluoximesterona y Testosterona enantato*. Recuperado de <http://www.bioline.org.br/request?zt10034> (Diciembre, 2014)
44. Valsecia, & Malgor. (2015). *Hormonas sexuales masculinas*. Recuperado de med.unne.edu.ar/sitio/multimedia/imagenes/ckfinder/files/files/cap27_masc.pdf (Diciembre, 2014)
45. Vega, V. F., Rojas, S., Espinosa, C., Zúñiga, M., & Nolasco, S. H. (2011). *Efecto de la frecuencia de alimentación sobre el crecimiento y supervivencia de Oreochromis aureus en cultivos experimentales*. *Revista REDVET*, Volumen 12, No. 6, 1-13. Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060611/061115.pdf> (Mayo, 2015)
46. Vidal, L. J., Contreras, S. W., Álvarez, G. C., Hernández, F. A., & Hernández, V. U. (2015). *Técnicas de reversión sexual aplicadas en acuicultura*. Recuperado de www.publicaciones.ujat.mx/publicaciones/kuxulkab/ediciones/27/08_TecnicaTe%20de%20Reversion%20Sexual%20Aplicadas%20en%20Acuicultura.pdp (Diciembre, 2014)

47. Vinther, J. J. (2006). *Introducción a la producción de alimentos balanceados*. Recuperado de www.los-seibos.com/teoria/intrprodba (Mayo, 2015)
48. Von-Hessberg, C. M., Grajales, Q. A., & Restrepo, M. M. (2012). *Monografía de protocolos para obtener poblaciones monosexo de tilapia nilótica (oreochromis niloticus)*. Recuperado de 200.21.104.25/boletincientifico/downloads/Boletin%2816%291_13.pdf (Diciembre, 2014)
49. Wassermann, G. J., & Bertolla, A. L. (2002). *Validation of the acetato - carmine technique for evaluating phenotypic sex in nile tilapia (Oreochromis niloticus) fry*. Recuperado de www.scielo.br/pdf/cr/v32n1/a23v32n1.pdf (Enero, 2015)
50. Zimmermann, S. (2005). *Reproducción de los peces en el trópico*. Recuperado de <http://www.scribd.com/doc/239676887/Reproduccion-peces-tropico-pdf> (Enero, 2015)

ANEXOS

ANEXO I Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 1

Registro Parámetros Fisicoquímicos del agua						
Especie: Tilapia		Dosis: 60 mg de hormona				
Muestreo	Días	Tratamiento 1				
		Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l de OD)	pH	Turbidez (NTU)	TDS (g/l)
M0	1	22,85	5,85	7,77	6,6	0,04
M1	35	22,79	5,61	7,69	7,5	0,04
M2	95	22,85	5,47	8,11	6,9	0,039
M3	110	22,85	5,32	7,69	7,0	0,038
M4	125	22,86	5,42	7,23	7,5	0,038
M5	140	22,88	6,23	6,86	8,1	0,037
M6	155	24,7	5,91	7,92	102,7	0,043
M7	170	24,79	5,52	8,34	121,7	0,048
M8	185	24,24	5,17	7,91	127,3	0,048
M9	200	24,36	5,14	7,74	129,1	0,048
M10	215	24,25	5,12	7,95	128,6	0,047
M11	230	24,1	5,03	8,14	130,5	0,048
M12	245	24,38	5,07	8,12	130,3	0,049
M13	260	24,35	5,17	8,22	130,8	0,049

ANEXO II Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 2

Registro Parámetros Fisicoquímicos del agua						
Especie: Tilapia		Dosis: 80 mg de hormona				
Muestreo	Días	Tratamiento 2				
		Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l de OD)	pH	Turbidez (NTU)	TDS (g/l)
M0	1	22,86	5,36	7,67	7,6	0,033
M1	35	22,71	5,59	7,64	7,6	0,037
M2	95	22,83	5,44	7,65	7,1	0,037
M3	110	22,74	5,56	7,86	7,2	0,038
M4	125	22,73	5,47	7,79	7,8	0,037
M5	140	22,7	6,10	7,79	7,8	0,038
M6	155	24,67	5,88	7,78	111,3	0,047
M7	170	24,58	6,01	7,74	121,5	0,048
M8	185	24,53	5,60	7,68	129,2	0,05
M9	200	24,47	5,43	7,82	130,7	0,047
M10	215	24,64	5,50	8,1	129,6	0,048
M11	230	24,46	5,33	7,71	131,9	0,064
M12	245	24,57	5,62	7,81	130,8	0,05
M13	260	24,54	5,44	7,72	129,6	0,049

ANEXO III Parámetros fisicoquímicos del agua tratamiento 3

Registro Parámetros Fisicoquímicos del agua						
Especie: Tilapia		Dosis: 100 mg de hormona				
Muestreo	Días	Tratamiento 3				
		Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l de OD)	pH	Turbidez (NTU)	TDS (g/l)
M0	2	22,52	5,94	7,71	7,4	0,032
M1	35	22,92	5,67	7,77	7,7	0,037
M2	95	22,82	5,57	8,21	7,4	0,037
M3	110	22,79	5,44	7,86	7,3	0,037
M4	125	22,76	5,66	8	7,9	0,037
M5	140	22,92	6,30	7,72	8,2	0,04
M6	155	24,65	6,10	7,85	110,6	0,048
M7	170	24,69	6,00	8,02	121,6	0,048
M8	185	24,44	5,55	7,57	129,9	0,048
M9	200	24,65	5,48	7,85	131,3	0,046
M10	215	24,7	5,59	7,85	131,2	0,048
M11	230	24,7	5,43	7,78	136,6	0,049
M12	245	24,55	5,39	8,12	132	0,048
M13	260	24,6	5,61	8,12	130,6	0,049

ANEXO IV Parámetros fisicoquímicos del agua Control

Registro Parámetros Fisicoquímicos del agua						
Especie:		Dosis: 0 mg de hormona				
Muestreo	Días	Control				
		Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l de OD)	pH	Turbidez (NTU)	TDS (g/l)
M0	2	22,8	5,72	7,26	7,2	0,035
M1	35	22,92	5,75	7,54	7,5	0,038
M2	95	22,95	5,72	7,68	7,5	0,038
M3	110	22,91	5,55	7,83	7,7	0,038
M4	125	23,01	5,80	7,66	8,1	0,037
M5	140	22,92	5,64	7,75	7,75	0,042
M6	155	24,68	5,89	7,61	110,9	0,049
M7	170	24,61	5,81	7,73	123,8	0,049
M8	185	24,72	5,61	7,64	129,7	0,048
M9	200	24,63	5,64	7,8	130,8	0,048
M10	215	24,61	5,46	7,72	131,4	0,048
M11	230	24,45	5,45	7,7	131,33	0,05
M12	245	24,58	5,42	7,74	131	0,048
M13	260	24,68	5,64	7,69	131,4	0,05

ANEXO V Tabla de alimentación para el tratamiento 1

Tratamiento 1							
Periodo	No Individuos	Peso promedio (g)	Biomasa (g)	Tasa de alimento (%)	Alimento (g)	Tipo Alimento	Frecuencia de alimentación
1 a 35	900	0,01	9,00	20,0	1,8	Reversión	6
35 a 95	801	0,33	264,33	16,0	42,3	Iniciador #3	4
95 a 110	683	7,83	5347,89	8,0	427,8	Iniciador #5	4
110 a 125	585	14,70	8599,5	8,0	688,0	T-380	3
125 a 140	545	26,78	14595,1	6,0	875,7	T-380	3
140 a 155	515	46,59	23993,85	4,0	959,8	T-380	3
155 a 170	488	66,04	32227,52	3,0	966,8	T-380	3
170 a 185	474	88,22	41816,28	2,8	1170,9	T-320	3
185 a 200	464	113,96	52877,44	2,3	1216,2	T-320	3
200 a 215	453	142,77	64674,81	2,3	1487,5	T-320	3
215 a 230	445	172,93	76953,85	2,3	1769,9	T-280	2
230 a 245	438	204,94	89763,72	2,0	1795,3	T-280	2
245 a 260	432	236,75	102276	2,0	2045,5	T-240	2

ANEXO VI Tabla de alimentación para el tratamiento 2

Tratamiento 2							
Periodo	No Individuos	Peso promedio (g)	Biomasa (g)	Tasa de alimento (%)	Alimento (g)	Tipo Alimento	Frecuencia de alimentación
1 a 35	900	0,01	9,00	20,0	1,8	Reversión	6
35 a 95	820	0,37	303,4	16,0	48,5	Iniciador #3	4
95 a 110	707	8,56	6051,92	8,0	484,2	Iniciador #5	4
110 a 125	612	16,1	9853,2	8,0	788,3	T-380	3
125 a 140	581	27,96	16244,76	6,0	974,7	T-380	3
140 a 155	546	48,36	26404,56	4,0	1056,2	T-380	3
155 a 170	524	69,9	36627,6	3,0	1098,8	T-380	3
170 a 185	515	93,62	48214,3	2,8	1350,0	T-320	3
185 a 200	499	117,97	58867,03	2,3	1353,9	T-320	3
200 a 215	493	145,22	71593,46	2,3	1646,6	T-320	3
215 a 230	486	175,69	85385,34	2,3	1963,9	T-280	2
230 a 245	480	211,03	101294,4	2,0	2025,9	T-280	2
245 a 260	476	245,06	116648,56	2,0	2333,0	T-240	2

ANEXO VII Tabla de alimentación para el tratamiento 3

Tratamiento 3							
Periodo	No Individuos	Peso promedio (g)	Biomasa (g)	Tasa de alimento (%)	Alimento (g)	Tipo Alimento	Frecuencia de alimentación
1 a 35	900	0,01	9,00	20,0	1,8	Reversión	6
35 a 95	817	0,36	294,12	16,0	47,1	Iniciador #3	4
95 a 110	708	8,53	6039,24	8,0	483,1	Iniciador #5	4
110 a 125	596	16,1	9595,6	8,0	767,6	T-380	3
125 a 140	557	27,73	15445,61	6,0	926,7	T-380	3
140 a 155	514	48	24672	4,0	986,9	T-380	3
155 a 170	491	69,1	33928,1	3,0	1017,8	T-380	3
170 a 185	481	93,12	44790,72	2,8	1254,1	T-320	3
185 a 200	468	117,71	55088,28	2,3	1267,0	T-320	3
200 a 215	463	145,41	67324,83	2,3	1548,5	T-320	3
215 a 230	455	176,04	80098,2	2,3	1842,3	T-280	2
230 a 245	448	211,24	94635,52	2,0	1892,7	T-280	2
245 a 260	443	244,51	108317,93	2,0	2166,4	T-240	2

ANEXO VIII Tabla de alimentación para el control

Control							
Periodo	No Individuos	Peso promedio (g)	Biomasa (g)	Tasa de alimento (%)	Alimento (g)	Tipo Alimento	Frecuencia de alimentación
1 a 35	900	0,01	9	20,0	1,8	Reversión	6
35 a 95	791	0,28	221,48	20,0	44,3	Iniciador #3	4
95 a 110	679	7	4753	8,0	380,2	Iniciador#5	4
110 a 125	582	14,6	8497,2	8,0	679,8	380	3
125 a140	539	25	13475	5,0	673,8	380	3
140 a 155	505	43,44	21937,2	4,0	877,5	380	3
155 a 170	479	51,14	24496,06	3,0	734,9	380	3
170 a 185	467	63,34	29579,78	3,0	887,4	320	3
185 a 200	455	92,53	42101,15	2,8	1178,8	320	3
200 a 215	442	119,67	52894,14	2,3	1216,6	320	3
215 a 230	432	153,75	66420	2,3	1527,7	280	2
230 a 245	424	165,76	70282,24	2,3	1616,5	280	2
245 a 260	416	188,08	78241,28	2,3	1799,5	240	2

ANEXO IX Mortalidad tratamiento 1

Registro de mortalidad			
Especie:		Tilapia	Dosis: 60 mg de hormona
Muestras	Edad	Tratamiento 1	
		No. de peces	Total peces muertos
M0	1	900	0
M1	35	801	99
M2	95	683	118
M3	110	585	98
M4	125	545	40
M5	140	515	30
M6	155	488	27
M7	170	474	14
M8	185	464	10
M9	200	453	11
M10	215	445	8
M11	230	438	7
M12	245	432	6
M13	260	429	3
Total de peces muertos			471
Porcentaje de mortalidad T1			52%

ANEXO X Mortalidad tratamiento 2

Registro de mortalidad			
Especie:		Tilapia	Dosis: 80 mg de hormona
Muestras	Edad	Tratamiento 2	
		No. de peces	Total peces muertos
M0	1	900	0
M1	35	820	80
M2	95	707	113
M3	110	612	95
M4	125	581	31
M5	140	546	35
M6	155	524	22
M7	170	515	9
M8	185	499	16
M9	200	493	6
M10	215	486	7
M11	230	480	6
M12	245	476	4
M13	260	473	3
Total de peces muertos			427
Porcentaje de mortalidad T2			47%

ANEXO XI Mortalidad tratamiento 3

Registro de mortalidad			
Especie:		Tilapia	Dosis: 100 mg de hormona
Muestras	Edad	Tratamiento 3	
		No. de peces	Total peces muertos
M0	1	900	0
M1	35	817	83
M2	95	708	109
M3	110	596	112
M4	125	557	39
M5	140	514	43
M6	155	491	23
M7	170	481	10
M8	185	468	13
M9	200	463	5
M10	215	455	8
M11	230	448	7
M12	245	443	5
M13	260	439	4
Total de peces muertos			461
Porcentaje de mortalidad T3			51%

ANEXO XII Mortalidad Control

Registro de mortalidad			
Especie:		Tilapia	Dosis: 0 mg de hormona
Muestras	Edad	Control	
		No. de peces	Total peces muertos
M0	1	900	0
M1	35	791	109
M2	95	679	112
M3	110	582	97
M4	125	539	43
M5	140	505	34
M6	155	479	26
M7	170	467	12
M8	185	455	12
M9	200	442	13
M10	215	432	10
M11	230	424	8
M12	245	416	8
M13	260	407	9
Total peces muertos			493
Porcentaje de mortalidad Control			55%