

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**INDUCCION SEXUAL DE *Oreochromis niloticus* POR  
ADMINISTRACION ORAL DE 17 ALFA METILTESTOSTERONA EN  
DIFERENTES INFRAESTRUCTURAS DE CULTIVO EN LA ESTACIÓN  
DE ACUICULTURA IZALCO DE AGOSTO 2006 A MARZO 2007.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:  
MENDEZ MENDEZ, MARIA ROMELIA  
QUINTANILLA MONTES, SANTOS MARTIN**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADA/O EN BIOLOGIA**

**ABRIL, 2007**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**INDUCCION SEXUAL DE *Oreochromis niloticus* POR  
ADMINISTRACION ORAL DE 17 ALFA METILTESTOSTERONA EN  
DIFERENTES INFRAESTRUCTURAS DE CULTIVO EN LA ESTACIÓN  
DE ACUICULTURA IZALCO DE AGOSTO 2006 A MARZO 2007.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:  
MENDEZ MENDEZ, MARIA ROMELIA  
QUINTANILLA MONTES, SANTOS MARTIN**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADA/O EN BIOLOGIA**

**DOCENTE DIRECTOR:  
LICDO. DAVID ROSALES AREVALO**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**



**INDUCCION SEXUAL DE *Oreochromis niloticus* POR ADMINISTRACION  
ORAL DE 17 ALFA METILTESTOSTERONA EN DIFERENTES  
INFRAESTRUCTURAS DE CULTIVO EN LA ESTACIÓN DE ACUICULTURA  
IZALCO DE AGOSTO 2006 A MARZO 2007.**

**TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:  
MENDEZ MENDEZ, MARIA ROMELIA  
QUINTANILLA MONTES, SANTOS MARTIN**

**PARA OPTAR AL GRADO DE:  
LICENCIADA/O EN BIOLOGIA**

**DOCENTE DIRECTOR: LICDO. DAVID ROSALES AREVALO**

**F. \_\_\_\_\_**

**DIRECTOR ADJUNTO: ING. SU HSIEN-TSANG**

**F. \_\_\_\_\_**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTORA:

**DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ.**

SECRETARIA GENERAL:

**LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS.**

FISCAL:

**LICDO. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA.**

**AUTORIDADES DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE OCCIDENTE**

DECANO:

**LICDO. JORGE MAURICIO RIVERA.**

VICE-DECANO:

**MSC. ROBERTO GUTIÉRREZ AYALA.**

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA:

**MSC. RICARDO FIGUEROA CERNA.**

**SANTA ANA**

**EL SALVADOR**

**CENTROAMERICA**

## DEDICATORIA

**A DIOS TODO PODEROSO:** por ser la luz que ilumina mi vida en todo momento y por permitirme alcanzar este sueño tan anhelado.

**A MIS PADRES:** Teresa Méndez Recinos y Luís Ramón Méndez, especialmente a mi madre por su sacrificio a lo largo de mis estudios y por apoyar siempre todos mis deseos de superación.

**A MIS HERMANOS:** Carlos Alfredo por su apoyo incondicional y quien ha sido más que un hermano, un padre. Y Lila Yaneth por su amistad invaluable y por incentivar-me.

**A MI SOBRINO:** Erick Alfredo Méndez por sus inquietudes inocentes y alegrar mi vida.

**A MI NOVIO:** Martín Quintanilla por ser mi amigo incondicional, por apoyarme por brindarme su amor y ser parte fundamental en mi vida y en la realización de esta meta.

**A TODOS MIS MAESTROS:** que contribuyeron en mi formación académica.

**A TODOS MIS COMPAÑEROS:** que estuvieron cerca brindándome su apoyo.

Romelia Méndez

## DEDICATORIA

**A DIOS TODO PODEROSO:** que me acompaña día con día y que me da fortaleza para alcanzar metas en mi vida.

**A MIS PADRES:** Santos Quintanilla Carranza y Lilian Ester Montes por darme su apoyo y estar siempre ahí para darme sus consejos.

**A MI HERMANO:** Víctor Manuel, por apoyarme y brindarme su amistad en este camino.

**A MI NOVIA:** Romelia Méndez, por formar parte importante y esencial de mi vida, por darme su compañía, apoyo y amor cada día para alcanzar esta meta.

**A MIS MAESTROS:** que además de orientarme de manera profesional, me dieron su amistad.

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:** que a lo largo de este camino siempre estuvieron para brindarme su apoyo.

Martin Quintanilla

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS TODO PODEROSO:** por darnos las fuerzas, la paciencia y la confianza para realizar el trabajo de campo, además mente para la elaboración del documento.

**AL DOCENTE DIRECTOR DE ESTE TRABAJO DE GRADO:** Licdo. David Rosales Arévalo, por el tiempo dado a esta investigación.

**AL DIRECTOR ADJUNTO DE ESTE TRABAJO DE GRADO:** Ing. Su Hsien-Tsang, por su asesoría técnica para la ejecución de esta investigación.

**A CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura):** en especial a la Licda. Cecilia Aguillón por facilitar el uso de las instalaciones de la Estación Acuícola de Izalco.

**A MISIÓN TÉCNICA DE TAIWAN:** por dar su apoyo en cuanto al suministro de los materiales y equipo para el desarrollo de la investigación.

**AL PERSONAL TÉCNICO DE LA ESTACIÓN DE ACUICULTURA IZALCO:** conformado por el técnico Ulises Quintanilla (Jefe de Estación), a los técnicos Sra. Yolanda Murillo, Fidel Sánchez, Rigoberto Jiménez y Víctor Martínez, además a los señores de vigilancia nocturna, por su colaboración en las actividades encaminadas a desarrollar la investigación.

**A LOS DOCENTES DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA:** en especial a los Licdos. José Santos Ortez, Carlos Linares y Ricardo Figueroa, quienes han colaborado con la revisión, corrección y aporte de conocimiento en el tema.

**A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR:** que por medio de la Unidad de Estudios Socioeconómicos nos brindaron la oportunidad de gozar de beca remunerada para realizar nuestros estudios, y al Departamento de Biología de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente que a lo largo de 5 años nos formaron de manera académica.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS .....	X
RESUMEN.....	XII
INTRODUCCION .....	1
REVISION DE LITERATURA .....	3
Características generales de la tilapia. ....	3
Características morfológicas.....	4
Hábitat.....	4
Hábitos alimenticios. ....	5
Reproducción.....	5
Determinación del sexo.....	8
Anatomía macro y microscópica de las gónadas de los teleósteos.....	9
Ovario.....	9
Testículos.....	9
Desarrollo de los productos sexuales .....	10
Ovogénesis.....	10
Espermatogenesis.....	10
Obtención de poblaciones de monosexo .....	10
1. Sexado manual.....	10
2. Hibridación.....	11
3. Reversión sexual .....	11
Proceso de Reversión (Inducción sexual).....	13
Reversión sexual (Inducción sexual) en las diferentes infraestructuras.....	14
Reversión sexual en Jaulas.....	14
Reversión sexual en estanques de concreto.....	15
Reversión sexual en estanques de tierra. ....	16
Reversión sexual espontánea .....	16
METODOLOGIA .....	18
A. Ubicación y descripción del área de trabajo .....	18
B. Diseño Experimental.....	18

C. Técnica de Campo .....	18
D. Análisis Estadístico.....	23
RESULTADOS .....	25
DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES .....	44
RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	47
ANEXOS	

## LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1: Valores promedios de parámetros físico químicos registrados (pH, oxígeno disuelto y temperatura) sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines. .... 25
- Cuadro 2: Valores promedio de crecimiento (peso y longitud) registrados en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines. .... 26
- Cuadro 3: Valores promedio de peso (g) registrados sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines. .... 26
- Cuadro 4: Velocidad de crecimiento promedio (gramos) reportado semanalmente en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines. .... 27
- Cuadro 5: Velocidad de crecimiento diaria promedio (gramos) sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines..... 27
- Cuadro 6: Factor simple de condición (K) promedio en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines..... 28
- Cuadro 7: Factor de Conversión Alimenticia (FCA) promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras al finalizar la etapa de inducción sexual de alevines..... 28
- Cuadro 8: Supervivencia promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras al finalizar la etapa de inducción sexual de alevines..... 29

Cuadro 9: Peso ganado en gramos por semana de los alevines por infraestructura en la etapa de precría.....	29
Cuadro 10: Velocidad de crecimiento diario (g/día) de los alevines en la etapa de precría .....	30
Cuadro 11: Porcentaje de inducción promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar obtenido de cada infraestructura .....	30

## RESUMEN

Este trabajo de investigación, documenta sobre la inducción sexual (reversión sexual) en *Oreochromis niloticus*. Su fase de campo se desarrolló en las instalaciones de la Estación de Acuicultura Izalco, Sonsonate, durante 6 meses, iniciando en agosto 2006 y finalizando en Enero 2007. La realización de esta fase de la investigación se dividió en 4 etapas: selección de reproductores y obtención de jaramugos, inducción sexual, precría y engorde.

Se trabajó con jaramugos obtenidos de los cruces de reproductores de la Estación de Acuicultura Izalco; dichos jaramugos fueron sometidos a un tratamiento de inducción sexual, utilizando la 17 alfa metiltestosterona diluida en etanol suministrada al alimento comercial en polvo para tilapia durante 28 días con el fin de desarrollar tilapias macho. Finalizada la etapa de inducción sexual pasaron a la etapa de precría durante 60 días, en la que se obtuvieron pesos que oscilaron entre 27.10 y 45.62 g. para poder sexarlos manualmente.

La técnica de inducción sexual es una alternativa efectiva, que nos garantiza la obtención de altos porcentajes (arriba del 99% promedio) en poblaciones de machos, los cuales para producción son los que presentan los mejores rendimientos. De acuerdo a este estudio, la inducción sexual puede realizarse en pilas, jaulas y estanques, siendo esta última en la que se obtuvo porcentajes del 100%.

## INTRODUCCION

En El Salvador los volúmenes de producción pesquera en cuanto al concepto de acuicultura continental según estadísticas de CENDEPESCA<sup>1</sup>, indican un incremento año con año a partir del 2002, la importancia de lo anterior radica en que la piscicultura como rubro de producción va ganando auge ya que por un lado se está convirtiendo en una alternativa alimenticia y por otro es una fuente de ingresos para muchas familias salvadoreñas, por lo que es esencial explotarlo.

La tilapia presenta una madurez sexual temprana, esto es un problema ya que no alcanza tallas comerciales por el gasto de energía que conlleva la reproducción. Comúnmente muchos productores utilizan la técnica de sexado manual para lidiar con este problema y obtener así cultivos monosexo (cultivo de solo machos). La técnica de inducción sexual (reversión sexual) es una alternativa que permite garantizar la obtención de altos porcentajes de machos.

La inducción sexual consiste en adicionar andrógenos (17 alfa metiltestosterona) al alimento que se le suministra diariamente a los alevines durante 28 días (después de que el alevín ha consumido su saco vitelino), ya que en este período la tilapia no ha desarrollado sus gónadas sexuales.

Se trabajó en las instalaciones de la Estación de Acuicultura Izalco con el apoyo del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura CENDEPESCA y de la Misión Técnica de Taiwán; la investigación se realizó con el fin de determinar la efectividad de la 17 alfa metiltestosterona para desarrollar alevines machos en un período de tiempo en diferentes infraestructuras de cultivo utilizando materiales e ingredientes de buena calidad.

---

<sup>1</sup> CENDEPESCA: Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, Ministerio de Agricultura y Ganadería

La investigación se dividió en 2 fases: campo y análisis de datos; la fase de campo se desarrolló en 4 etapas dentro de la estación: selección de reproductores y obtención de jaramugos<sup>2</sup>, inducción sexual, precría y engorde; la segunda fase incluye el análisis estadístico de los datos recogidos a lo largo del trabajo de campo, trabajo de laboratorio y elaboración de este documento.

Esta investigación se considera de mucha importancia ya que la información obtenida ayudó a determinar una técnica para obtener cultivos de monosexo, así también, qué infraestructura es más eficiente para llevar a cabo la inducción sexual y a evaluar la factibilidad de esta técnica, con lo que se le brinda a los piscicultores alternativas de acuerdo a los recursos con los que cuente, cumpliéndose así, con los objetivos planteados en esta investigación.

Cabe destacar que a lo largo del desarrollo de la investigación y este documento, se hace uso del término *inducción sexual* refiriéndonos al término de *reversión sexual*, esto debido a circunstancias técnicas discutidas que engloba el manejo de este estudio. Además se cuenta con el apoyo de especialistas en el área de genética y piscicultura para tomar esta determinación. A pesar de lo anterior, debido a que muchos autores citados utilizan este término (reversión sexual), no puede dejar de plantearse en este documento.

---

<sup>2</sup> Jaramugo: cría de cualquier pez, que aun cuenta con saco vitelino

## REVISION DE LITERATURA

La TILAPICULTURA como su nombre lo indica, hace referencia al cultivo artesanal y comercial de las TILAPIAS, siendo una de las actividades pertenecientes a la ACUICULTURA especializada en el cultivo de PECES, la PISCICULTURA. (Castillo Campo, 2006)

### **Características generales de la tilapia.**

Las tilapias son peces endémicos originarias de África y el Cercano Oriente, en donde se inicia la investigación a comienzos del siglo XIX, aprovechando sus características se consideró ideal para la piscicultura rural. A partir de 1924, se intensificó su cultivo en Kenia, sin embargo fue en el extremo oriente, en Malasia, en donde se obtuvieron los mejores resultados y se inició su progresivo cultivo en el ámbito mundial. La tilapia es la variedad más representativa para los cultivos acuícolas de agua dulce. Pertenece a la familia *Cichlidae*, la cual abarca más de 100 especies distribuidas ampliamente en zonas tropicales de África, América y Asia. (CIC – CORPEI, 2004).<sup>3</sup>

CIC – CORPEI (2004), menciona que las condiciones favorables que convierten a las tilapias en unos de los géneros más apropiados para los cultivos son:

- Resistencia de soportar bajas concentraciones de oxígeno
- Rangos variados de salinidad
- Gran resistencia física y a las enfermedades
- Acelerado crecimiento
- Buen aprovechamiento de las dietas artificiales suministradas.
- La excelente calidad de su carne (textura firme, coloración blanca) hace que sea un pescado apreciado y apetecido por los consumidores.

---

<sup>3</sup> CIC-CORPEI: Corporación de Investigación Científica – Comisión de pesca de Perú.

### Características morfológicas.

El cuerpo de estos peces es robusto comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado, con aleta dorsal que tiene de 23 a 31 espinas y/o radios; tiene un solo nostrilo en cada lado de la cabeza que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal; la boca es protráctil, mandíbula ancha, a menudo bordeada por labios gruesos con dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos, en otros casos puede presentar un puente carnosos (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media debajo del labio (CIC – CORPEI, 2004).

La línea lateral es bifurcada; la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, en la porción inferior, aparecen varias escamas por debajo de donde termina la línea lateral de la parte superior hasta la terminación de la aleta caudal; la aleta caudal truncada redondeada. Generalmente, el macho se desarrolla más que la hembra. Las tilapias son peces de aguas cálidas tropicales. (CIC – CORPEI, 2004).

#### Identificación según el patrón de pigmentación para las especies del género *Oreochromis*.

AREA DE PIGMENTACION	
CUERPO	Verde metálico, en el macho maduro ligeramente gris.
CABEZA	Verde metálico
COLOR DE OJOS	Cafés
REGION VENTRAL	Gris plateado
PAPILA GENITAL	Blanca
BORDE ALETA DORSAL	Negra a oscura
POSICION TERMINAL DE ALETA CAUDAL	Roja, bandas negras bien definidas y uniformes en forma circular
PERFIL DORSAL	Convexos
LABIOS	Negros

Fuente: tilapia roja 2006, una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito

### Hábitat.

Las tilapias africanas como se les conoce comúnmente, son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales. Se les encuentra habitando en aguas lénticas (lentas), principalmente someras o turbias (estancadas o inactivas) como lagos, lagunas, litorales, bordos, estanques, así como también en lólicas (aguas

corrientes) a orillas de ríos entre piedras y plantas acuáticas e inclusive en aguas marinas (Cantor Atlatenco, 2007).

El hábitat que prefieren es de fondo lodoso, toleran altas salinidades, son peces eurihalinos, o sea que pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas, el rango de tolerancia es de 0‰ a 40‰ (partes por mil) y algunos casos, se ha presentado por arriba de esta salinidad. Son especies euritéricas, siendo el rango de tolerancia de 12°C a 42°C. La temperatura ideal para su cultivo fluctúa entre 29°C, aunque se reproduce aún a los 18°C., además soportan concentraciones de oxígeno bastante bajas, su requerimiento mínimo es de 1 mg/L. Se reproducen a temprana edad, alrededor de las 8 ó 10 semanas, teniendo una talla entre 7 a 16 cm., por lo que dificulta el control de la población en los estanques donde se cultiva. Para asegurar una buena producción y sanidad, es necesario que los parámetros físico-químicos (T°, O<sub>2</sub>, pH, etc.) de la calidad del agua, se mantengan entre los límites de tolerancia de la especie a tratar. (Cantor Atlatenco, 2007)

### **Hábitos alimenticios.**

Son cíclidos considerados como omnívoros que hasta su etapa de cría de 5 cm. presenta preferencias planctófagas, puesto que su alimentación se basa en el consumo de zooplancton, insectos y vegetales acuáticos, y de alimentos artificiales como harinas y granos. Los juveniles se alimentan preferentemente de fitoplancton y zooplancton, inclusive aceptan alimentos preparados que se utilizan en la crianza de pollos. Los adultos comen plancton, algas filamentosas, algunas plantas superiores y detritus vegetal. (Cantor Atlatenco, 2007)

### **Reproducción.**

Las tilapias poseen un tipo de reproducción sexual, o sea que los espermatozoides y los óvulos se desarrollan en individuos machos y hembras separados. Las glándulas sexuales, llamadas gónadas, son los ovarios en las hembras y los testículos en el macho, a diferencia de otros seres vivos, que ya nacen con el sexo definido, en los peces como es el caso de la tilapia dichas glándulas se

empiezan a diferenciar en la etapa temprana de su desarrollo entre el día 15 al 20 después de que nacen. (Eckstein y Spira, 1965, citado por Reta Mendiola, 2004)

Varios factores deben ocurrir, para que se de la maduración sexual en la tilapia y los más importantes son: Fotoperíodo, es decir, los cambios que ocurren en la duración del día solar, temperatura, la cual debe permanecer constante en un período de tiempo por arriba de 24°C y el último y más importante es la presencia del sexo opuesto. (Reta Mendiola, 2004)

Las características y requerimientos de la *Oreochromis niloticus* sexualmente madura cultivada en estanques son:

- Edad de madurez sexual: Machos (4 a 6 meses), hembras (3 a 5 meses).
- Longitud: 10 a 12 cm.
- Peso: 50 a 100 g.
- Número de desoves: 5 a 8 veces/año.
- Temperatura de desove: Rango 25°C a 31°C.
- Número de huevos/hembra/desove: En buenas condiciones mayor de 100.
- Huevos hasta un promedio de 1.500 dependiendo de la hembra.
- Vida útil de los reproductores: 2 a 3 años.
- Tipo de incubación: Bucal.
- Tiempo de incubación: 3 a 6 días.
- Proporción de siembra de reproductores: 1.5 a 2 macho por cada 3 hembras. (NICOVITA, 2005)<sup>4</sup>

Cantor Atlatenco (2007), menciona que el apareamiento es influenciado por los hábitos reproductivos y la organización social de las tilapias, pues estos factores guardan estrecha relación con su madurez sexual y conlleva los siguientes eventos:

---

<sup>4</sup> NICOVITA: marca del negocio de nutrición animal de Alicorp S.A.A que identifica alimentos balanceados de alta calidad para animales que habitan en aguas frías y calientes.

- En la reproducción, cuando las condiciones son propicias, los machos construyen una colonia de nidos en el sustrato, mismos que se encuentran cercanos unos de otros. Cada macho construye su nido excavando una depresión en el sustrato y poniendo los escombros uniformemente alrededor del perímetro. En una sección transversal estas depresiones aparecen como un tazón, cada uno forma el centro del territorio de cada macho, del cual alejan a otros machos. El tamaño de los nidos parece estar en función de la talla y la cercanía de los nidos, lo cual permite que cada ocupante pueda ver a sus vecinos sobreguardando sus nidos.
- Estas concentraciones de machos así como su conducta, parecen servir de estímulo a las hembras y probablemente influyan para que se mantenga la actividad reproductiva y la disponibilidad de éstas.
- Al nadar las hembras cerca del nido estimulan a los machos, si están maduras entran al nido y después de una serie de cortejos rituales que realizan los machos (los cuales presentan coloración acentuada y vistosa), depositan los óvulos en el piso del nido donde son fertilizados. Una vez que esto ocurre, las hembras toman los huevos en la boca y se retiran del nido.
- Con la boca llena de huevos, la hembra de *Oreochromis* busca aislamiento y evita el contacto con los otros peces. Casi inmediatamente se distingue en su cuerpo una marca característica como banda o manchas oscuras que aparecen sobre un fondo olivo pálido o amarillento. Una o más bandas oscuras aparecen a través de la parte delantera, siendo una de ellas más prominente y corre de ojo a ojo.
- El período de incubación tarda de 60 a 72 horas, después de los cuales avivan los pequeños alevines que la hembra llevará en su boca durante 5 a 8 días. Posteriormente y al cabo de este período, las crías hacen cortas

incursiones durante los cuales abandonan su refugio bucal, retornando a él en algún momento de peligro.

- Poco a poco, las crías son liberadas por la madre formando un cardumen compacto que nada en la superficie del agua y en las orillas donde existe baja profundidad, esta característica es notable en el género *Oreochromis*.
- Una hembra volverá a desovar en un período de 4 a 6 semanas nuevamente. Durante el período de incubación las hembras no se alimentan y fácilmente pierden hasta un tercio de su peso.

### **Determinación del sexo.**

Hasta el momento se reconocen un total de 44 cromosomas autosómicos en las tilapias, y la no presencia de cromosomas sexuales. Para poder comprender los mecanismos de definición sexual en las tilapias es importante independizar los términos determinación sexual y diferenciación sexual, que son afectados por muchos factores genéticos, ambientales, de comportamiento y fisiológicos. (Castillo Campo, 2006)

El mecanismo genético tradicional para la determinación del sexo es explicado normalmente por los ejemplares heterogaméticos y determinada por dos mecanismos sexuales diferentes en el género *Oreochromis*, adicionalmente a la influencia sobre la determinación del sexo de los genes autosómicos y al Factor Determinante de Testículos (DTF). (Castillo Campo, 2006)

Pero el medio ambiente también tiene una gran influencia sobre la determinación del sexo, siendo el factor más importante la Temperatura (TSD = Temperature Sex Determination), especialmente en especies termosensitivas en los que están incluidos los Cíclidos, lo que indica una fuerte interacción entre la Temperatura y el genotipo. (Castillo Campo, 2006)

Entender las interacciones genotipo-ambiente en los peces es de gran interés no solo para la biología sino también para la gestión adecuada de la piscicultura. Actualmente se investiga qué condiciones ambientales influyen en la diferenciación sexual de los peces. Para algunas especies ya se sabe que el aumento de temperatura puede derivar en un aumento de machos en la descendencia. Si la temperatura del agua en la que se desarrollan las larvas es de unos 21°C, más elevada de lo normal la proporción de machos aumenta al 80%, 90% o incluso al 100%. (Artículo completo en Anexo 1)

### **Anatomía macro y microscópica de las gónadas de los teleósteos**

Las gónadas en los teleósteos se originan de un solo primordio germinal que evoluciona del peritoneal correspondiente al cortex en los vertebrados y no existe evidencia de que el mesonefros contribuya en su formación. (Nagahama *et al.*, 1983 & Carrillo Ávila & Rodríguez Pulido, 2001).

#### **Ovario.**

Carrillo Ávila & Rodríguez Pulido, (2001) mencionan que en general el ovario de los teleósteos se presenta como dos sacos alargados, situados a cada lado del cuerpo unidos a la cavidad corporal, en posición ventro-lateral a la vejiga hidrostática unidos a la pared celómica por el mesorquio.

#### **Testículos**

Para los autores antes citados generalmente los teleósteos presentan testículos pares de forma alargada, localizándolos en posición ventral a la columna vertebral y a la vejiga hidrostática, prolongándose en dirección caudal por el canal deferente. De la superficie medio dorsal posterior de cada testículo se origina un espermiducto que desemboca en la papila urogenital, ubicada entre el recto y los ductos urinarios.

## **Desarrollo de los productos sexuales**

### ***Ovogénesis***

Carrillo Ávila & Rodríguez Pulido (2001), afirman que el folículo ovárico es relativamente simple. En fases tempranas del desarrollo, los oocitos están rodeados por una capa de células foliculares; a medida que crece, estas células se incrementan y diferencian para formar una capa folicular continua y unicelular, llamada granulosa, separada del oocito por el tejido conectivo del estroma que se organiza formando la teca o envoltura externa.

### ***Espermatogenesis***

Este proceso consiste en la transformación de una espermatogonia en un espermatozoide funcional determinada por una compleja serie de eventos hormonales. En el testículo existen varios tipos de espermatogonias, dependiendo del estado de madurez sexual, las cuales proliferan en los lóbulos testiculares durante el periodo de reposo sexual. En general las escalas de maduración (inmaduro, reposo, maduración, maduro y vacío) siguen el mismo patrón tanto para hembras como para machos. (Carrillo Ávila & Rodríguez Pulido, 2001)

## **Obtención de poblaciones de monosexo**

Espejo González & Torres Quevedo (2001), mencionan que para conseguir una población de monosexo de tilapia se pueden utilizar los siguientes métodos:

1. Sexado Manual
2. Hibridación
3. Reversión sexual (Inducción sexual)

### **1. Sexado manual**

Para obtener una población 100% machos se recomienda llevar a cabo el método de sexado manual, el cual se puede realizar en ejemplares que hayan alcanzado el desarrollo de características externas en sus órganos, los que se pueden observar en animales de talla superior a 10 cm. Este método consiste en

separar los machos de las hembras por medio de la diferenciación de las papilas genitales, las cuales resaltan mediante la aplicación en ellas de algún colorante como el azul de metileno. La efectividad de este método depende principalmente de la destreza o experiencia de la persona que realice la práctica.

La diferenciación externa de los sexos se puede efectuar observando la papila genital, el macho presenta dos orificios bajo el vientre: el ano y el orificio urogenital, mientras que la hembra posee tres: el ano, el poro genital y el orificio urinario. Sin embargo una diferenciación científica requerirá de comprobaciones morfométricas muy tediosas. El dimorfismo sexual de las hembras y machos es bastante acentuado, está relacionado con el crecimiento y peso que alcanzan estos ejemplares en un mismo período de cultivo, donde los machos llegan a triplicar el peso de las hembras. (PRODUCE, 2004)<sup>5</sup>

## **2. Hibridación**

Este consiste en el cruce de dos especies diferentes etológica y genéticamente, con el fin de obtener individuos monosexo y un mejoramiento en sus características fenotípicas. Como condición especial para que este sistema funcione se necesita contar con cepas absolutamente puras de las dos especies seleccionadas. El cruce mas usado en tilapicultura es el de machos de *Oreochromis aureus* por hembras de *Oreochromis niloticus*, que garantiza una descendencia 100% de machos de excelentes condiciones y características.

## **3. Reversión sexual**

Este se realiza durante el primer mes de vida del animal una vez absorbido el saco vitelino, utilizando hormonas. Un método reciente, desarrollado para obtener una población monosexual de machos es la *reversión sexual* (Shelton y *et al*, 1978, citado por Hopher y Pruginin, 1991). Según Hopher & Pruginin 1991, esta técnica

---

<sup>5</sup> PRODUCE: Ministerio de la Producción de la Republica de Perú.  
[http://www.produce.gob.pe/mipe/dna/in\\_acuicultura.php](http://www.produce.gob.pe/mipe/dna/in_acuicultura.php)

todavía no se ha introducido a escala comercial. Dos cualidades relacionadas con la determinación del sexo de la tilapia que permiten la técnica de la reversión sexual son:

1. El sexo se determina en un estado relativamente final en el desarrollo de los alevines (durante las 3 ó 4 semanas después de la eclosión) cuando los alevines miden menos de 18 a 20 mm. de longitud.
2. El sexo es muy inestable poco después de la eclosión y puede ser afectado por factores internos y externos.

Se ha encontrado que la administración de andrógenos durante este periodo crítico puede revertir por completo a la población de alevines (o al menos a la mayoría) en machos efectivos. Esto se ha intentado de muchas maneras, como sumergiendo a los alevines a una solución de hormona acuosa (Eckstein y Spira, 1965, citado por Hepher & Pruginin, 1991) o inyectando hormonas, pero el método más conveniente y efectivo es la administración oral. Las hormonas son incorporadas en el alimento de los alevines (Guerrero, 1975; citado por Hepher & Pruginin, 1991). Además hay muchos andrógenos que pueden ser utilizados, pero cuando se suministran oralmente, los más activos son el etinilttestosterona (ET) y el metilttestosterona (MT). (Hepher & Pruginin, 1991)

Hepher & Pruginin (1991), reportan que para tratar a los alevines para la reversión sexual, deben asegurarse grandes cantidades de alevines recientemente nacidos, de una edad y tamaño más o menos uniforme. Esto se puede llevar a cabo almacenando en un pequeño estanque de reproductores de tilapia en una densidad relativamente alta. Cada 14 días el nivel del agua en el estanque disminuye y se pesca a los adultos maduros. Debido a la tensión asociada con las redes las hembras, arrojan de sus bocas a los alevines. Estos alevines se agrupan en un cardume y nadan en la capa superior del agua. Ahí, pueden ser capturados por una red de inmersión superficial con luz de malla fina. Entonces, los alevines son transferidos a los tanques de tratamiento.

### Proceso de Reversión (Inducción sexual)

Los alevines de tilapia inician su alimentación mas o menos a los 3 días después de haber absorbido todo su saco vitelino, en ese momento en que empiezan a comer no han desarrollado sus gónadas (testículos y ovarios) entonces el proceso de reversión sexual consiste en actuar en ese momento, la idea es que los alevines se desarrollen como machos, para eso al alimento concentrado que viene pulverizado se le mezcla con la hormona masculina llamada *17 alfa metiltestosterona*, y se alimentan durante el primer mes de vida, entre mas pequeño sea el tamaño del alevín, mucho mejor, lo recomendable es que no exceda de 14mm. (Popma and Green, 1994, citado por Arboleda Obregón, 2005)

Castillo Campo (2006), menciona que los procesos de inducción sexual se relacionan directamente con la DIFERENCIACIÓN GONADAL y consiste en el suministro temprano de esteroides en el alimento por un corto período.

La hormona androgénica 17 alfa metiltestosterona modifica directamente las características sexuales secundarias (Fenotipo), y tiene un efecto adicional sobre las gónadas, al afectar su normal desarrollo, pero en ningún momento afecta el Genotipo, por lo que los individuos genéticamente mantienen la segregación normal esperada en el momento de la fertilización, lo que ocasiona una disparidad de tallas típica de machos y hembras, pero con menor incidencia de enanismo. (Phelps y Popma, 2000; citado por Castillo Campo, 2006)

Según Wikipedia (2006), la **testosterona** es una hormona androgénica que en realidad es una prohormona ya que para realizar su acción fisiológica o farmacológica debe reducirse en posición 5-alfa-dihidrotestosterona, que es la hormona activa. Es una hormona propia del género *masculino*, que permite desarrollar los músculos del hombre con muy poco esfuerzo. Las mujeres producen poco o nada.

Estructura química: la testosterona es un andrógeno, esteroide derivado del ciclopentanoperhidrofenantreno, que tiene 19 átomos de carbono, un doble enlace entre C4 y C5, un átomo de oxígeno en C3 y un radical hidroxilo (OH) en C17, fórmula  $C_{19}H_{28}O_2$ . Esta estructura es necesaria para el mantenimiento de la actividad androgénica.

Los derivados de la testosterona se originan a partir de modificaciones de su estructura química, por ejemplo la Testosterona oral que es el agregado de grupos metilos en C1, C7 y C17 aumenta la actividad biológica. La 17 alfa metiltestosterona es un derivado especial porque conserva su acción androgénica y es activa por vía oral.

### **Reversión sexual (Inducción sexual) en las diferentes infraestructuras**

#### **Reversión sexual en Jaulas.**

Para, Cantor Atlatenco (2007), en la reversión sexual en jaulas debe utilizarse para su construcción una malla plástico o de pvc de 1mm de ojo, rígido que no permita deformaciones ni ampliación del ojo de malla con la limpieza. Deben situarse en un estanque no muy abonado que presente un recambio constante de agua del fondo, con el fin de que exista una corriente de agua que oxigene permanentemente las jaulas. Éstas deben quedar ancladas y estar cubiertas para evitar la depredación por aves.

Las mallas se deben limpiar periódicamente de las algas que se fijan con el fin de mantener abierto el ojo de éstas, permitiendo una libre circulación del agua. Esto es muy importante, ya que al taponarse la malla, los animales pueden morir rápidamente por anoxia, o sufrir un ataque bacterial y/o micótico, debido al deterioro de la calidad del agua en este recinto ocasionado por la acumulación de heces y alimento no consumido. Según el adecuado recambio y la calidad de agua que exista

en el sitio donde se encuentran las jaulas se puede trabajar con densidades de 500 a 3 000 alevines por m<sup>3</sup>, o más.

La cantidad de hormona a utilizar puede ser de 60 mg/Kg. de alimento, lográndose un porcentaje de reversión del 80 al 95%, dependiendo de los cuidados en la preparación del alimento, el suministro y el acceso a otras fuentes de alimento natural es importante para la nutrición de los alevines, puesto que contribuye a la disminución de la mortandad a causa de enfermedades nutricionales. Es importante garantizar el consumo de la hormona incorporada al concentrado para poder obtener un buen porcentaje de reversión.

### **Reversión sexual en estanques de concreto.**

Cantor Atlatenco, 2007, manifiesta que, en este tipo de infraestructura, la reversión es generalmente más eficiente debido a que existe más control sobre la población, pero a diferencia de las jaulas se presenta un mayor riesgo de mortandades masivas por infestación de hongos, bacterias y ciliados. Por lo anterior es de suma importancia establecer un manejo que contemple la limpieza diaria, el retiro de restos de comida y si es posible el traslado periódico de la población a otro estanque limpio y desinfectado. Las mortandades comienzan a presentarse entre el día 12 y 14 del tratamiento, especialmente en estanques que previamente a la siembra no han sido debidamente lavados y desinfectados.

En estanques recién contruidos generalmente no se presentan mortandades. Las densidades a las cuales se puede trabajar con éxito son de 500 a 2000 alevines por m<sup>2</sup> o más, dependiendo de las condiciones del agua, oxígeno disuelto, recambios de agua y aseo entre otros. Se recomienda trabajar con una dosis hormonal de 30 a 45 mg/Kg. de alimento, con lo cual se logra un porcentaje de reversión del 93 al 97%.

### **Reversión sexual en estanques de tierra.**

Este sistema presenta la ventaja de alcanzar un alta supervivencia, poca demanda de mano de obra y bajo costo de instalación, pero a su vez las densidades de siembra son menores, de 200 a 500 alevines por m<sup>2</sup>, se obtienen bajos porcentajes de reversión a razón a que consumen alimento natural por lo que es necesario aumentar la cantidad y la frecuencia de suministro del alimento. La reversión puede estar entre el 75 y el 95%, según el manejo y se utilizan dosis más altas de hormona, del orden de 60 a 100mg/Kg., para compensar los problemas anteriormente mencionados.

En general, el éxito de los tratamientos de reversión sexual tiene que ver más con el tiempo de ingestión de la hormona (21 a 60 días), la talla inicial del tratamiento (9 a 11mm) y un adecuado suministro de alimento en cuanto a calidad, cantidad y frecuencia (mientras mayor sean las veces que se les suministre, mejor), que con otros factores, como el porcentaje de proteína en el alimento, la temperatura (una temperatura alta aumenta el consumo) y la presencia de plancton (Cantor Atlatenco, 2007)

### **Reversión sexual espontánea**

Domitrovic, H. A. (2005), menciona que la reversión sexual espontánea en *Aequidens portalegrensis* fue reportada por Polder (1971), quien observó hembras de esta especie que cambiaban su morfología externa y su comportamiento, adquiriendo las características de machos. Al examinar las gónadas halló que correspondían a testículos, con restos de tejido ovárico en la parte más craneal; observando además que el tejido testicular tenía una apariencia vital, mientras que los ovocitos presentaban atresia con degeneración y reabsorción.

El proceso de reversión sexual en *Aequidens portalegrensis* se produciría en hembras cuyas gónadas solo contienen tejido ovárico, las que se transforman en machos con gónadas que contienen solo tejido testicular. La apariencia intersexual de las gónadas representaría diferentes estadios del proceso de reversión sexual.

Aunque las causas que inducen la reversión sexual no están claras, se propuso que la sobrepoblación, la inhibición del desove, la presencia de muchos machos y la dominancia pueden ser factores que influyen en su desarrollo (Polder, 1971, citado por Domitrovic, 2005).

Durante la reversión sexual espontánea, que se produce en hembras cuyas gónadas solo contienen tejido ovárico y que se transforman en machos con gónadas que contienen solo tejido testicular, se pueden observar ovocitos intercalados entre el epitelio del túbulo seminífero.

## METODOLOGIA

### A. Ubicación y descripción del área de trabajo

El trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Estación de Acuicultura Izalco ubicada en Cantón Talcomunca, Caserío El CEGA Izalco, Municipio de Izalco, Sonsonate (Quintanilla, comunicación personal, 2006)<sup>6</sup>, a una altura de 402.95 *msnm* a 13°45'40" latitud norte y 89°42'07" longitud oeste. (Anexo 2). El proyecto se ejecutó en 8 meses (6 meses constituyen la fase de campo y 2 el análisis de datos) iniciando en Agosto de 2006 y finalizando en Marzo de 2007.

La estación cuenta con un total de 21 estanques de tierra, 11 pilas de concreto, y todos los requerimientos para su buen funcionamiento. Para ejecutar este estudio se hizo uso de 2 estanques en la etapa de reproducción; 2 estanques (uno se dividió y en el otro se instalaron 2 jaulas) y 2 pilas en la etapa inducción sexual, de 3 estanques para la etapa de precría y 2 para engorde.

### B. Diseño Experimental

Esta investigación se realizó empleando el método hipotético deductivo, ya que se trabajó en base a la comprobación de hipótesis. Se trabajo en base a un diseño experimental aleatorio con 3 tratamientos (3 infraestructuras) y 2 repeticiones.

### C. Técnica de Campo

De acuerdo al sistema de trabajo que se realiza en la Estación de Acuicultura Izalco, para el desarrollo de la investigación se hizo necesario dividirla en cuatro etapas, estas son: selección de reproductores y obtención de jaramugos, inducción sexual (reversión sexual), precría y engorde.

---

<sup>6</sup> Quintanilla, E.U. 2005. CENDEPESCA. Comunicación personal, Estación de Acuicultura Izalco

**a. Selección de reproductores y obtención de jaramugos:** para esta etapa los reproductores fueron seleccionados de los estanques de la estación de Acuicultura Izalco y sembrados posteriormente en estanques de tierra de esta misma (anexo 3).

Características técnicas para la selección de reproductores y obtención de jaramugos.

Especie	<i>Oreochromis niloticus</i>
Cantidad de Reproductores	150
Relación hembra : macho	2:1
Peso promedio	400 g.
Longitud	25 cm.
Tiempo	30 días
Jaramugos a utilizar	75000
Edad de jaramugos	No mayor de 3 días
Peso de jaramugos	0.013 a 0.018 g

Se utilizaron 150 tilapias a una relación de 100 hembras por 50 machos (2:1), con un peso promedio de 400 g y una longitud de 25 cm. los primeros alevines se comenzaron a cosechar en la orilla del estanque 15 días después de la siembra hasta coleccionar 75,000 jaramugos los cuales se repartieron en las diferentes infraestructuras.

### **Muestreos.**

Se hicieron muestreos semanales durante las tres siguientes etapas: inducción sexual, precría y engorde. Se tomó una muestra representativa al total de la población de alevines (10%), la cual fue pesada para controlar el crecimiento, cabe mencionar que, en la etapa de inducción sexual por ser la de mayor importancia para esta investigación, también se tomó la talla en centímetros de estos. Además se realizaron muestreos de los parámetros físico-químicos (semanalmente a las 2:00p.m.) como temperatura, pH y oxígeno disuelto en cada una de las infraestructuras durante las tres etapas (Anexo 4).

También se llevó control diario de alevines muertos con el único fin de determinar semanalmente la población actual de individuos por infraestructura. Los datos fueron recolectados en tablas diseñadas por los investigadores (Anexo 5)

**b. Inducción sexual:** esta técnica consistió en desarrollar alevines machos, alimentándolos después de haber absorbido su saco vitelino con una mezcla de alimento concentrado y hormona masculina (17 alfa metiltestosterona).

Los jaramugos fueron recogidos de los estanque de cruzamiento de un tamaño aproximado de 3 a 5mm. Seleccionando únicamente aquellos que pasaron a través de un tamiz de 5mm. Luego fueron sembrados en cada una de las infraestructuras a densidades de 400 jaramugos por  $m^3$  para estanque y 3000 para Jaulas y pilas (conteo volumétrico). Estos alevines fueron alimentados por un periodo de 28 días con alimento artificial balanceado de 50% de proteína cruda al cual se le adicionó la hormona masculina 17 alfa-metiltestosterona.

### ***Descripción de las infraestructuras***

La investigación constó de dos repeticiones por infraestructura:

**Pilas:** se utilizaron dos pilas de concreto (de forma rectangular); la primera de 1.75x4.69x1.26 metros haciendo un volumen total de  $10.26 m^3$  y la segunda de 1.84x4.69x1.23 metros con un volumen total de  $10.61 m^3$ . Las pilas fueron lavadas y desinfectadas, se instaló el sistema de aireación (constó de un aireador de 3.5 HP, tuberías pvc, mangueritas flexibles de 5mm, plomos y piedras aireadoras), posteriormente se llenaron a 0.50m de volumen de agua para la siembra. En la pila 1 se trabajo con un volumen de agua de  $4.1m^3$  y la 2 con  $4.31m^3$ . Luego de la siembra las pilas fueron cubiertas con plástico con el fin de generar un efecto invernadero y poder mantener una temperatura adecuada para los alevines (Anexo 6).

**Jaulas:** se ocuparon dos jaulas de malla fina de nylon de forma rectangular, la primera con un volumen de  $3.92m^3$  (4.90x1.60x0.5 m) y la segunda con  $3.29m^3$

(4.25x1.55x0.5 m). Estas fueron ancladas con varillas en un estanque el cual se desinfecto y se llenó a un nivel de 1m de agua del cual las jaulas solo alcanzaron 0.50m (Anexo 6).

**Estanque:** se utilizó el estanque No 3 de la estación, este posee un área total de 111.46m<sup>2</sup>, el cual se dividió en 2 partes iguales separado con malla plástica de 1mm de luz; quedando de 55.73 m<sup>2</sup> cada una. El nivel de agua de este fue de un metro.

Posteriormente en cada una de las infraestructuras (pilas, jaulas y estanque) se colocaron seis comederos (platos) por repetición, en estanques se colocaron además de platos tubos de pvc cortados a la mitad (2 por cada lado) (Anexo 6)

### ***Preparación de alimento.***

La hormona se disolvió en etanol al 90% (700ml) y se mezcló con el alimento concentrado al 50% de proteína cruda. La cantidad de hormona utilizada fue de 60mg por kilogramo de alimento. La mezcla de la hormona-etanol-alimento se dejó secando durante 24 horas a la sombra y a temperatura ambiente, moviéndola constantemente, para evaporar el alcohol y que las partículas de la hormona se adhirieran completamente al alimento, y luego fue refrigerado para conservarlo en buen estado durante el proceso de inducción sexual (Anexo 7).

Se procedió a alimentar a partir del segundo día de siembra, con una proporción del 20% de biomasa corporal en base a tasa alimenticia proporcionada por la Misión Taiwán (Anexo 5). Las primeras dos semanas se alimentó tres veces al día, la tercera semana cuatro veces y posteriormente la cuarta semana cinco veces al día. Además se fue aumentando la cantidad de alimento según fueron consumiendo los alevines; es decir se controló el tiempo en que los alevines se terminaban el alimento para luego aumentar la cantidad de este (Anexo 8).

La forma de alimentar en esta etapa consistió en remojar el alimento preparado con agua haciendo una masa y formar bolitas, para después colocarlas en los comederos, esto se hizo debido que el alimento esta en polvo y al aplicarlo en esta forma (polvo), éste se esparciría y no seria aprovechado por los alevines.

**c. *Precria:*** terminada la etapa de inducción sexual en todas las infraestructuras (28 días) los alevines fueron cosechados de cada infraestructura y posteriormente sembrados en estanques de tierra a una densidad de 5 por m<sup>3</sup>. Al azar se seleccionaron 600 alevines procedentes de cada una de las infraestructuras. Se utilizaron tres estanques, los cuales fueron divididos en dos partes cada uno de ellos por medio de una malla plástica de 1mm., con el fin de realizar dos repeticiones. (anexo 9)

Para un mejor manejo de estos estanques y llevar control relacionado de las infraestructuras de donde procedían los alevines, fue necesario asignar a cada repetición nombres que incluyeran el número del estanque donde se sembraron y el número del lado donde se ubicaron, por ejemplo: los alevines correspondiente a estanque lado 1 y 2 en etapa de inducción sexual, se ubicaron en el estanque 4 lados 1 y 2, determinándose de la siguiente manera: E4L1 y E4L2; la “E” corresponde a estanque y la “L” a lado. En el caso de pilas 1 y 2, estas se ubicaron en el estanque 12 lados 1 y 2 respectivamente (E12L1 y E12L2) y los alevines de las jaulas 1 y 2 pasaron al estanque 13 lados 1 y 2 (E13L1 y E13L2).

Para la alimentación se utilizó alimento peletizado de 5mm al 40% de proteína, pero debido al tamaño de los alevines este fue molido a un tamaño entre 0.5 a 1mm y según fueron creciendo así se fue aumentando el tamaño del pellet y la proporción fue según su peso corporal.

Una vez completado este tiempo (60 días) se cosecharon para su conteo y determinar el porcentaje de machos por medio del sexado manual y haciendo uso de azul de metileno. Aquellos que no pudieron ser identificados por el método antes

mencionado, se procedió a la disección de estos individuos para su posterior identificación por medio de un microscopio compuesto tratando de identificar tejido testicular (anexo 10)

**d. Engorde:** esta etapa se realizó en 30 días. Se utilizaron 2 estanques de tierra ya divididos en la etapa de precría (12 y 13 con sus respectivos lados). Se proporciono alimento paletizado al 32% de proteína cruda y alimentación en base a peso corporal. La realización de esta etapa tuvo como objetivo el observar nada más el peso que puede ganar cada individuo, la cual no resulto de importancia para la investigación.

#### D. Análisis Estadístico

Los análisis estadísticos empleados en este estudio fueron:

- Medidas de tendencia central: se empleo la media aritmética para calcular promedios en la mayoría de resultados.

$$\text{Promedio} = \frac{\text{S datos}}{\text{n datos}}$$

n= cantidad de datos tomados

- Calculo del Factor simple de condición (K): que nos indica la relación entre peso y longitud del pez.

$$K = (W/L^b) * 100$$

Donde:

K= factor de condición

W= peso en gramos

L = longitud en centímetros

b = pendiente de la regresión peso longitud que generalmente es 3

- Velocidad de crecimiento diario: es el peso en gramos aproximado que los peces ganan diariamente:

$$VC = (pa - pa^2)/n$$

Donde:

VC= velocidad de crecimiento

pa= peso final

pa<sup>2</sup>= peso inicial

n = numero de días entre peso actual y peso anterior

- El factor de conversión alimenticia (FCA): el cual considera la ganancia en peso en comparación con la cantidad de alimento suministrado, sin corrección por el alimento sobrante (Kuri-Nivon, 1979 citado por Martínez Contreras 2003).

$$FCA = \text{taspt} / (p1 - p2) * \text{población total}$$

Donde:

taspt: total de alimento suministrado en un periodo de tiempo

p1= peso final

p2= peso inicial

- Statistical Analysis System (SAS): éste software se utilizó para determinar diferencias significativas entre tratamientos.
- Microsoft Excel 2003: programa utilizado para la aplicación de formulas y cálculos estadísticos como desviación estándar.
- Microsoft Word 2003: programa utilizado para la edición de este documento.

La interpretación de algunos datos en los resultados es:

**0.64<sup>a</sup>** ← Diferencia significativa  
**(0.02)** ← Promedio  
 ← Desviación estándar (DESVEST)

## RESULTADOS

Los resultados a continuación planteados son los promedios obtenidos de las operaciones matemáticas y análisis estadístico de los datos recogidos a lo largo de la investigación. La tabla con todos los datos recolectados puede observarse en el anexo 12. Los resultados para cada una de las etapas de estudio son los siguientes:

### Etapa de Inducción sexual

En el cuadro 1, se muestran los niveles promedio de pH, oxígeno disuelto y temperatura. En el caso del pH, la menor lectura fue de 8.30 (pilas) y la mayor de 9.17 (jaulas). La prueba de análisis SAS denotó diferencia significativa entre las pilas con respecto a las jaulas y estanques, además el menor valor de desviación estándar se dio en los estanques. El oxígeno disuelto para las pilas fue de 8.41 mg/L (mínimo) y de 10 mg/L (máximo) en jaulas y estanques; para este parámetro no se encontró diferencia significativa entre infraestructuras y el menor grado de disparidad se obtuvo en las pilas. En cuanto a la temperatura, respectivamente los niveles promedios para las pilas, jaulas y estanques fueron de 27.35, 32.9 y 32 C, mostrando diferencia significativa nuevamente entre las pilas con respecto a las jaulas y estanques, la menor desviación estándar fue en pilas.

Cuadro 1: Valores promedios de parámetros físico químicos registrados (pH, oxígeno disuelto y temperatura) sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>pH</b>	8.30 <sup>b</sup> (0.23)	9.17 <sup>a</sup> (0.75)	8.97 <sup>a</sup> (0.15)
<b>Oxígeno Disuelto (mg/L)</b>	8.40 <sup>a</sup> (1.2)	10.00 <sup>a</sup> (3.8)	10.00 <sup>a</sup> (2.4)
<b>Temperatura (°C)</b>	27.30 <sup>b</sup> (0.78)	32.90 <sup>a</sup> (3.24)	32.0 <sup>a</sup> (2.20)

Simbología: (mg/L): miligramos por litro; (C°): grados centígrados; letras: diferencia significativa; entre paréntesis la desviación estándar

En el cuadro 2 se enlistan las ganancias de peso promedio semanal de los alevines en cada una de las infraestructuras a lo largo de 28 días. En donde se muestra el peso ganado en gramos y su respectiva longitud en centímetros. Los alevines sembrados en pilas alcanzaron un peso promedio de 0.51g midiendo 4.8cm, los de las jaulas 0.53g y 2.25cm y finalmente en los estanques 0.64g y 4.9cm. El cuadro 3, hace referencia solo a los valores de peso promedio obtenidos al final de la etapa de inducción sexual, los pesos finales obtenidos en pilas y jaulas son significativamente similares, pero estos difieren de los valores obtenidos en los estanques los cuales presentaron también la menor disparidad de datos.

Cuadro 2: Valores promedio de crecimiento (peso y longitud) registrados en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

SEMANA	INFRAESTRUCTURAS					
	Pila		Jaula		Estanque	
	(g)	(cm.)	(g)	(cm.)	(g)	(cm.)
<b>S1</b>	0.016	0.50	0.015	0.51	0.013	0.50
<b>S2</b>	0.045	0.75	0.053	0.74	0.050	0.75
<b>S3</b>	0.050	0.93	0.107	1.00	0.175	1.50
<b>S4</b>	0.076	1.10	0.209	1.58	0.415	3.10
<b>S5</b>	0.510	4.80	0.528	2.25	0.643	4.90

Simbología: (g): gramos; (cm.): centímetros; Estanq: estanque

Cuadro 3: Valores promedio de peso (g) registrados sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>Peso final (g)</b>	0.51 <sup>b</sup> (0.04)	0.53 <sup>b</sup> (0.04)	0.64 <sup>a</sup> (0.02)

Simbología: (mg/L): miligramos por litro; (C°): grados centígrados;  
letras: diferencia significativa; entre paréntesis la desviación estándar de pesos finales

El cuadro 4, muestra la velocidad de crecimiento promedio que se resume en el peso ganado en gramos por día en cada semana el cual reporta un incremento en

cada muestreo. Únicamente en las pilas se reporta una disminución en el peso ganado en la semana 3. Cuadro 5 se refiere a la velocidad de crecimiento diaria promedio reportada en la etapa de inducción, mostrando que para pilas la velocidad de crecimiento fue de 0.0180g diarios, en jaulas 0.0185g y en estanques 0.0225g. Pilas y jaulas no presentan diferencia significativa, pero ambas si presentan diferencia significativa con respecto a estanques. La disparidad de datos menor fue en estanques.

Cuadro 4: Velocidad de crecimiento promedio (gramos) reportado semanalmente en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

SEMANA	INFRAESTRUCTURAS		
	<i>Pila</i>	<i>Jaula</i>	<i>Estanque</i>
S1	0.000	0.000	0.000
S2	0.005	0.006	0.006
S3	0.001	0.008	0.018
S4	0.004	0.015	0.034
S5	0.062	0.046	0.033

Cuadro 5: Velocidad de crecimiento diaria promedio (g/día) sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>Velocidad de crecimiento (g/día)</b>	0.0180 <sup>b</sup> (0.0014)	0.0185 <sup>b</sup> (0.0021)	0.0225 <sup>a</sup> (0.0007)

El cuadro 6 detalla el factor simple de condición (K) calculado a partir del peso promedio en gramos y la talla en centímetros, indicando la relación que hay entre el peso y longitud del pez. A menor "K" mayor relación entre estos parámetros, por eso a medida transcurre el tiempo este valor (K) tiende a disminuir.

Cuadro 6: Factor simple de condición (K) promedio en las diferentes infraestructuras durante la etapa de inducción sexual de alevines.

SEMANA	INFRAESTRUCTURAS		
	<i>Pila</i>	<i>Jaula</i>	<i>Estanque</i>
<b>S1</b>	12.0	11.0	10.4
<b>S2</b>	10.9	13.2	11.9
<b>S3</b>	6.3	10.7	6.0
<b>S4</b>	5.8	5.8	1.4
<b>S5</b>	0.5	5.0	0.5

El cuadro 7 muestra el factor de conversión alimenticia (FCA) que valora la relación entre peso seco de alimento y peso húmedo de la especie alimentada, es decir, que indica la cantidad de alimento utilizado o necesario para obtener un determinado peso del pez. El FCA obtenido en las pilas fue de 2.25, en jaulas y estanques de 1.50 y 3.48 respectivamente. El análisis con SAS confirma diferencia significativa entre los estanques y los valores de pilas y jaulas.

Cuadro 7: Factor de Conversión Alimenticia (FCA) promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras al finalizar la etapa de inducción sexual de alevines

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>FCA</b>	2.25 <sup>b</sup> (0.014)	1.50 <sup>b</sup> (0.049)	3.48 <sup>a</sup> (0.417)

La sobrevivencia (cuadro 8) obtenida en pilas fue del 36.26%, en jaulas del 97.11% y en estanques del 98.72%. El análisis realizado con SAS muestra que la sobrevivencia en jaulas y estanques es similar, por otro lado si se encontró diferencia significativa entre estas dos infraestructuras y las pilas teniendo también esta última la mayor desviación estándar lo que nos indica que la mortalidad en esta infraestructura se mantuvo constante a lo largo del desarrollo del proceso de inducción.

Cuadro 8: Supervivencia promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar en las diferentes infraestructuras al finalizar la etapa de inducción sexual de alevines

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>Sobrevivencia (%)</b>	36.26 <sup>b</sup> (5.89)	97.11 <sup>a</sup> (0.96)	98.72 <sup>a</sup> (1.17)

#### Etapa de precría

Finalizados los 28 días de la etapa de inducción se pasó a la etapa de precría, ésta se desarrolló en 8 semanas (2 meses) y los datos evaluados son: peso individual (en gramos) y la velocidad de crecimiento diario (g/día). La realización de esta etapa tuvo como fin que los alevines alcanzaran un peso adecuado para poder sexarlos manualmente. El cuadro 9 muestra la ganancia de peso que los alevines obtenían por semana, logrando al final individuos entre los 27.10 y 45.62g.

Cuadro 9: Peso ganado en gramos por semana de los alevines por infraestructura en la etapa de precría

SEMANA	INFRAESTRUCTURAS					
	E12L1 (Pila 1)	E12L2 (Pila 2)	E13L1 (Jaula 1)	E13L2 (Jaula 2)	E4L1 (Estanq 1)	E4L2 (Estanq 2)
<b>S1</b>	0.54	0.48	0.50	0.56	0.66	0.63
<b>S2</b>	3.09	1.98	0.81	1.83	2.23	2.13
<b>S3</b>	4.20	3.53	2.14	2.82	3.90	4.53
<b>S4</b>	6.20	6.10	3.80	5.81	7.56	8.62
<b>S5</b>	9.00	9.79	6.73	8.27	13.33	13.25
<b>S6</b>	15.32	13.86	10.46	15.53	17.60	20.27
<b>S7</b>	22.53	22.75	13.65	15.90	19.95	25.92
<b>S8</b>	25.07	31.47	23.48	21.50	24.31	32.83
<b>COSECHA</b>	37.43	37.26	33.32	27.10	38.98	45.62

Simbología: E: estanque; L: lado; estanq: estanque

El cuadro 10 muestra el peso que diariamente ganaban los alevines en cada una de las infraestructuras, notándose que a medida transcurre el tiempo esta ganancia es mayor.

Cuadro 10: Velocidad de crecimiento diario (g/día) de los alevines en la etapa de precría

SEMANA	INFRAESTRUCTURAS					
	<i>E12L1 (Pila 1)</i>	<i>E12L2 (Pila 2)</i>	<i>E13L1 (Jaula 1)</i>	<i>E13L2 (Jaula 2)</i>	<i>E4L1 (Estanq 1)</i>	<i>E4L2 (Estanq 2)</i>
<b>S1</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>S2</b>	0.36	0.21	0.09	0.21	0.22	0.22
<b>S3</b>	0.16	0.22	0.19	0.14	0.24	0.34
<b>S4</b>	0.29	0.37	0.24	0.43	0.52	0.58
<b>S5</b>	0.40	0.53	0.42	0.35	0.82	0.66
<b>S6</b>	0.90	0.58	0.53	1.04	0.61	1.00
<b>S7</b>	1.03	1.27	0.46	0.05	0.34	0.81
<b>S8</b>	0.36	1.25	1.40	0.80	0.62	0.99

Simbología: E: estanque; L: lado; estanq: estanque

Al finalizar la etapa de precría los alevines tenían pesos entre 27.1 y 45.62g con una longitud de 9 a 12cm.; con estas características es fácil identificarlos manualmente por medio de la observación de sus órganos genitales. El porcentaje de machos obtenidos se muestra en el cuadro 11, tomando en cuenta que todas las infraestructuras dieron arriba del 99% de inducción. Al someter estos porcentajes a análisis los resultados no indicaron diferencia significativa entre las 3 infraestructuras.

Cuadro 11: Porcentaje de inducción promedio sometidos a análisis con SAS y desviación estándar obtenido de cada infraestructura

	INFRAESTRUCTURA		
	PILA	JAULA	ESTANQUE
<b>Inducción (%)</b>	99.82 <sup>a</sup> (0.28)	99.91 <sup>a</sup> (0.14)	100.00 <sup>a</sup> (0.00)

## DISCUSIÓN

Los resultados fueron satisfactorios en la obtención de jaramugos que se necesitaban para esta investigación, a pesar de que se trabajó con reproductores con peso promedio de 400g y 25cm de longitud, lo que contrasta con lo establecido por Espejo González & Torres Quevedo, (2001), que mencionan que los reproductores que exceden los 300g de peso promedio presentan inconvenientes de manejo y fisiología reproductiva.

En base a los resultados obtenidos:

Se puede observar en el cuadro 1, que los niveles de pH promedio para este estudio estuvieron dentro del rango de 8.30 y 9.17 en la etapa de inducción. Según Anzola Escobar & Rodríguez Gómez (2001), los estanques presentan valores de pH entre 6 a 7.2 en las primeras horas del día, pero este valor se puede elevar a 10 o mas en las horas de la tarde, por lo que el pH para esta investigación se mantuvo dentro de los rangos óptimos.

De acuerdo a lo analizado con SAS, el pH promedio de jaulas (9.17<sup>a</sup>) y estanques (8.97<sup>a</sup>) no presenta diferencia significativa, pero si hay diferencia de estas 2 infraestructuras con las pilas (8.30<sup>b</sup>). El motivo de que el pH sea mayor en los estanques que en las pilas radica en la presencia de algas en los estanques (coloración verde del agua); las algas durante el proceso fotosintético consumen dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) el cual es fuertemente ácido, cuando disminuyen los niveles de CO<sub>2</sub> los niveles de pH aumentan. Con respecto al grado de disparidad entre infraestructuras el estanque es el que presenta la menor (0.15) lo que pudo deberse también por la presencia de algas.

Lo anterior concuerda con lo establecido por Anzola Escobar & Rodríguez Gómez (2001) que mencionan que los cambios de pH en un mismo cuerpo de agua están relacionados con la concentración de dióxido de carbono. Los organismos vegetales demandan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, de tal forma que

este proceso determina en parte la fluctuación de pH y es así como se eleva durante el día y disminuye durante la noche.

Al analizar el efecto del pH sobre los peces, los límites deseables para cría de peces es de 6.6 a 9; comparando estos límites con los obtenidos en la investigación el pH se mantuvo dentro de los rangos deseados, a excepción de las jaulas que presentan valores que sobrepasa mínimamente estos datos sin causar altas repercusiones al desarrollo de estos ya que al final se obtuvieron individuos con peso promedio de 0.51g.

En cuanto a los niveles de oxígeno disuelto (cuadro 1) tanto pilas (8.41 mg/L) como jaulas y estanques (10.0 mg/L) no presentan diferencia marcada de acuerdo a lo analizado por SAS; en el caso de las pilas a pesar de no contar con la presencia de algas, si contaban con un sistema de aireación lo que mantuvo este nivel dentro del rango deseado; para las jaulas y los estanques, siempre el alto nivel de oxígeno tiene que ver con las algas ya que estas en el proceso de fotosíntesis se vuelven productoras de oxígeno. De acuerdo al resultado dado del cálculo de la desviación estándar las pilas son las que presentan el valor más bajo (1.2), lo que tiene relación con la continua de aireación que se le daba a estas infraestructuras.

El nivel de oxígeno disuelto (OD) presente en un estanque de acuicultura es el parámetro mas importante en la calidad del agua. Se ha comprobado que los peces no aceptan alimento cuando se presentan niveles bajos de oxígeno, lo cual lleva a la pérdida de este insumo, afectando el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia (Anzola Escobar & Rodríguez Gómez, 2001). Al no alimentarse, esto generaría problemas en los resultados de inducción, ya que es al alimento al que se le aplica la hormona para que los alevines la consuman.

Nuevamente los niveles promedio de temperatura (cuadro 1) en jaulas (32.9°C) y estanque (32.0°C) no presentan diferencia significativa, si embargo ambas no se relacionan con las pilas (27.30°C), en primer lugar los estanques (jaulas y

estanques) tenían contacto directo con los rayos solares (radiación solar) que corresponden a la principal fuente de energía calórica, la cual es absorbida por el agua, además el color del agua (presencia de materia en suspensión) influye sobre la penetración de estos rayos. Otro factor que beneficia a los estanques es el espacio que es mayor que el de las pilas. La baja temperatura reportada en las pilas posiblemente se dio ya que estas infraestructuras no tenían contacto directo con los rayos del sol, a pesar de que estas infraestructuras se cubrieron con plástico para generar un efecto invernadero, no se alcanzó el rango óptimo para el desarrollo del cultivo, pero también esta medida ayudo a que la temperatura no fuera menor. A pesar de lo anterior fueron las pilas la que mantuvieron su temperatura más constante, pudo ser que la presencia de plástico que cubría las pilas hiciera ésta diferencia.

La temperatura es un parámetro que se debe verificar en cualquier cuerpo de agua donde se quiera realizar un cultivo de peces. Para Reta Mendiola (2004) NICOVITA (2005) & Cantor Atlatenco (2007) el rango optimo de temperatura es de 28 a 32°C. Cuando la temperatura disminuye a los 15°C los peces dejan de comer y cuando desciende a menos de 12°C los peces no sobreviven por mucho tiempo. La tilapia es en general, altamente tolerante a temperaturas altas, bajas concentraciones de oxígeno, sin embargo, tienen poca resistencia a las bajas temperaturas. De acuerdo a los autores antes expuestos, la temperatura también influye en la ingestión de alimento por parte de los alevines.

Cantor Atlatenco (2007) menciona que el crecimiento de los peces está determinado fundamentalmente por la cantidad de alimento ingerido (energía y nutrientes) y por la temperatura del agua. Los peces, como animales poiquiloterms son incapaces de regular su temperatura corporal, por lo que su metabolismo únicamente funciona de forma óptima dentro de un rango de temperaturas adecuadas, dentro del cual la ingestión y el crecimiento son máximos, pero disminuyen cuando la temperatura esta por encima o por debajo del rango óptimo.

En el cuadro 2, se observan los valores de peso (g) y longitud (cm.) registrados. En todas las infraestructuras se muestra un incremento relacionado entre estos dos parámetros (peso y longitud); el mayor crecimiento se mostró en los estanques, con individuos que alcanzaron los 0.64g y 4.9cm. en promedio. Los datos de crecimiento más bajos en lo que a longitud respecta se dieron en las jaulas (2.25cm), cabe mencionar que el peso promedio de estos fue de 0.52g (inferior a estanques y superior a pilas), esta deficiencia de longitud hace suponer que se produjo debido al poco espacio con el que los alevines contaban en las jaulas (4609 alevines m<sup>2</sup>).

De acuerdo con los resultados del presente estudio (cuadro 3), el peso final obtenido no presentó diferencia significativa entre pilas (0.51g) y jaulas (0.53g), pero estos muestran diferencia con respecto al estanque (0.64g), infraestructura que presentó el mejor peso, esto puede relacionarse en parte con los parámetros físico químicos antes planteados pero principalmente al espacio con el que contaban ya que tenían mas actividad lo que lleva a más gasto de energía y por consiguiente a consumir más alimento. Relacionado con lo anterior está la velocidad de crecimiento.

La tilapia es uno de los peces que presenta una curva de crecimiento bastante rápida, por eso es una de las especies tomadas en cuenta para realizar cultivos (Cantor Atlatenco, 2007). La velocidad de crecimiento nos muestra (cuadro 4), el aumento de peso ganado por cada infraestructura semanalmente; de acuerdo a los análisis con S.A.S. (cuadro 5) este factor no tiene diferencia significativa entre jaulas y pilas ya que la velocidad promedio fue de 0.0185<sup>b</sup> y 0.0180<sup>b</sup> respectivamente; según este análisis la mejor velocidad de crecimiento se expresó en los estanques 0.0225<sup>a</sup>, este dato sobresaliente pudo darse debido a que los individuos en los estanques contaban con mayor espacio y otras condiciones como buena temperatura, presencia abundante de fitoplancton entre otros.

Al analizar el factor de condición (K) del cuadro 6, se observa que desde el momento de la siembra hasta la cosecha (etapa de inducción) esta tiende a

disminuir. Para Martínez Contreras (2003), K como factor de condición simple, es la relación que guarda la longitud patrón del pez con su peso. Lo anterior nos indica que, a menor valor de K mas relación hay entre el peso y la longitud del pez. El valor de K para las pilas y estanques fue de 0.5, a diferencia de las jaulas que fue de 5.0; este valor de las jaulas nos indica la poca relación que hay entre el peso y la longitud de estos individuos. Este resultado de pilas pudo deberse a la cantidad excesiva de alevines que existían por metro cuadrado, estos alevines consumían su alimento pero no tenían espacio para desarrollarse.

La tasa de conversión de alimento (FCA), es uno de los parámetros utilizados para medir los efectos de las dietas en peces; la FCA ó factor de conversión de alimento, indica cuanto alimento se ha suministrado para cada unidad de peso ganado (Vásquez Torres, 2001). La FCA según los resultados obtenidos las jaulas presentan el menor valor (1.50), pilas 2.25 y el mayor valor se reporto en los estanques con 3.48. Al analizar estos valores con S.A.S. indican que tanto jaulas y pilas no presentan diferencia significativa, no así con los estanques. Este valor incrementado en los estanque se debe a muchos factores, entre ellos: la alta demanda alimenticia por parte de los alevines, la presencia de agentes extraños en el cultivo (entre ellos se pueden mencionar la presencia de renacuajos<sup>7</sup>, que competían con los alevines por el alimento).

En otras palabras la FCA nos indica la cantidad de alimento que se necesita en kilogramos para producir un kilogramo de peso pez (Su, Comunicación personal, 2006)<sup>8</sup>

Al final de los 28 días de tratamiento, el porcentaje promedio de sobrevivencia en cada infraestructura fue de 36.26% para pilas, 97.11% y 98.72% para jaulas y estanques respectivamente (cuadro 8). En el primer caso el nivel bajo de mortalidad

---

<sup>7</sup> Renacuajo: Larva de la rana, que se diferencia del animal adulto principalmente por tener cola, carecer de patas y respirar por branquias.

<sup>8</sup> Su Hsien-Tsang: Técnico Misión Taiwán.

puede relacionarse con el manejo que se le da a la infraestructura, ya que periódicamente hay que realizar recambios y limpieza de infraestructura, lo que lleva a trasladar en algunas ocasiones a los alevines a otro lugar mientras se realiza la limpieza. En esta manipulación es difícil no provocar daño por manejo a los alevines. Otros factores como la baja temperatura reportada en pilas favorecen a disminuir la sobrevivencia, además, la deficiencia en los recambios de agua contribuye a la proliferación de enfermedades como la *Saprolegniasis*<sup>9</sup> (en microscopio se observaron hifas de *Saprolegnia sp*). Además la presencia de depredadores como zancudos de agua, larvas de libélulas y otros contribuyen a disminuir la sobrevivencia. En las jaulas y estanques la sobrevivencia también estuvo influida por la presencia de aves e insectos (anexo 11).

La infección micótica depende de varios factores que influyen tanto en el pez como en el hongo, cuya combinación más que la acción individual es la que conduce a la infección. La temperatura reviste gran importancia en el desarrollo de *Saprolegnia sp.*, la mayoría de estos brotes surgen cuando las temperaturas son bajas, sin embargo las que se producen después de un daño mecánico pueden surgir a cualquier temperatura. Las lesiones se presentan en forma de manchas blanco grisáceas sobre la piel del pez; si se observan bajo el agua tienen aspecto algodonoso debido al micelio del hongo, las lesiones son mucho más frecuentes en la piel y branquias (Roberts, 1981 citado por Rodríguez Gómez, H. *et al*, 2001)

Después de finalizada la etapa de inducción sexual los individuos seleccionados pasaron a la etapa de precría a razón de 600 individuos por infraestructura. Esta etapa es necesaria para la investigación ya que al finalizar la inducción aun no es posible diferenciar visualmente los alevines entre machos y hembras. En el cuadro 9 se muestran los incrementos de peso ganados por semana que presentaron los alevines por infraestructura. Para esta etapa se llevó el control de parámetro físico químicos como temperatura, pH y oxígeno disuelto, pero debido

---

<sup>9</sup> Saprolegniasis: término usado para describir una infección de la piel y branquias producida por hongos del género *Saprolegnia sp*

a que la importancia de esta etapa para la investigación radica en que los alevines alcancen un tamaño adecuado para su diferenciación no se llevaron a análisis. Sin embargo se menciona que en cuanto a la temperatura el rango fue de 27 a 30°C, teniendo estos valores dentro de los rangos normales para el desarrollo del cultivo.

El oxígeno disuelto al inicio de esta etapa reportó los valores más bajos: entre 6.10 y 8.30 mg/L, después gracias a los recambios continuos de agua estos valores se mantuvieron entre los 8 y 12 mg/L. El pH no fue la excepción en esta etapa ya que se mantuvo dentro de los valores estándares para un buen desarrollo del cultivo 8.10 y 9.20.

La velocidad de crecimiento mostrada en el cuadro 10, indica el incremento de peso ganado por día en cada infraestructura, dando a entender un incremento ascendente en cada una de ellas, solo se observa que en la semana 7 en E13L2 esta tendencia disminuye a 0.05 g/día. Estas disminuciones de peso se deben en primer lugar a la presencia exagerada de crías de sapos (renacuajos) los cuales competían por el alimento con los alevines o no les permitían comer. Otra razón es la presencia hostigosa de aves (garzas, zanates, en su mayoría) que se agrupan alrededor de los estanques ahuyentando a los alevines a que estos puedan comer. También se abona a esta disminución en la velocidad de crecimiento el error de muestreo, ya que para realizarlos solo se contaba con la presencia de los ejecutores (2 personas) y esto dificultaba la mejor precisión en el manejo.

Una vez finalizada la etapa de precría los alevines han alcanzado el peso requerido para su diferenciación sexual, la hembra presenta tres orificios en el abdomen: el anal, el genital y el urinario; el macho sólo dos: el anal y el genital. (Cantor Atlalenco, 2007); el cuadro 11 muestra los porcentajes de machos obtenidos en este estudio. Las pilas fueron las que presentaron los menores índices de machos inducidos (aun así sobrepasa el 99%) con un 99.82%, los estanques para este estudio dieron un 100% de inducción, quedando las jaulas en un segundo lugar con 99.91%.

Los porcentajes de machos obtenidos en todas las infraestructuras son buenos, pero cabe mencionar que en las pilas la sobrevivencia registrada fue demasiado baja (36.26%) comparada con las jaulas (97.11%) y los estanques (98.72%). Esta baja sobrevivencia presentada en las pila pudo deberse a baja temperatura, presencia de depredadores, pocos recambios de agua por la deficiencia de esta en la estación lo que generaba la aparición de hongos.

A pesar de lo expresado por Espejo González, C. & Torres Quevedo, E. (2001), que hacen mención de que el éxito de los tratamientos de reversión sexual (inducción sexual) tiene que ver mas con el tiempo de ingestión de la hormona, la talla inicial del tratamiento y un adecuado suministro del alimento en cuanto a calidad, cantidad y frecuencia (mientras mayor sean las veces que se les suministre mejor), lo realizado en esta investigación añade que en cuanto al tiempo de ingestión son suficientes 28 días ya que este tiempo es suficiente para que el alevín desarrolle tejido testicular y en cuanto a la frecuencia en el suministro de alimento basta que sean de 4 a 5 veces por día, pero se esta de acuerdo en lo importante que es iniciar este tratamiento con individuos jóvenes de edad (3 días de nacidos o después de absorber su saco vitelino).

Los resultados obtenidos en esta investigación apuntan a que la mejor infraestructura para llevar a cabo la inducción sexual son los estanques, pero también cabe mencionar que los porcentajes de inducción que dieron las pilas y las jaulas están arriba del 99%, por lo tanto el productor queda libre de escoger la infraestructura que mas le parezca para llevar a cabo este tratamiento, siempre y cuando tenga en cuenta que cada infraestructura tiene sus ventajas y desventajas y que cada una posee un manejo distinto. Si se cuenta con pilas se debe tener en cuenta que estas requieren de mayor cuidado ya que son propensas al desarrollo de enfermedades, las temperaturas tienden a mantenerse por debajo de los niveles óptimos y a demás hay que contar con un abastecimiento de agua continuo, pero a pesar de lo anterior su manejo es mas practico ya que no se necesita de mucha mano de obra.

En el caso de jaulas se invierte en la elaboración de estas, su manejo es práctico ya que no requiere de mucha mano de obra tanto para la realización de muestreos y cosecha, las densidades de siembra (de 1000 a 2000 m<sup>3</sup>) pueden ser mayores, pero esto implica mayor gasto en consumo de alimento; y en cuanto al cuidado que se debe tener se deben realizar limpiezas periódicas a las jaulas para que estas mantengan los niveles de parámetros físico-químicos dentro de lo normal. Los estanques por su gran tamaño las densidades de siembra son bajas (300 a 400 m<sup>3</sup>), pero debido a este tamaño los alevines tienden a crecer más, además se da la producción de fitoplancton, exposición a radiación solar lo que contribuye a que se tengan parámetros físico-químicos dentro de sus niveles óptimos, generalmente requieren de mayor uso de mano de obra. Cabe destacar que en cuanto a mano de obra todas las infraestructuras fueron manejadas por dos personas, lo que llevo a inversión de más tiempo por día.

Una interrogante que se hacen la mayoría de personas es de que si no hay riesgo de consumir organismos que han sido tratados con hormonas, pues según Curtis et al. 1991, expresa que de acuerdo a la metodología empleada para la inducción sexual en donde los individuos fueron sometidos a 28 días de tratamiento con 17 alfa metiltestosterona, al hacer un análisis 10 días después de terminado el tratamiento, se ha identificado y cuantificado que el 97% de residuos metabólicos presentes en la bilis, el 100% de 17 alfa metiltestosterona ha desaparecido; también Arboleda Obregón, D.A. 2005, indica que los adultos de tilapia inducidos sexualmente no poseen niveles más altos de testosterona que los producidos por su propio organismo; además DISQUE TECNOLOGIA (2005), menciona que aparentemente parece no haber daño para el consumidor, después de que el pez ha sido retirado del tratamiento con esteroides.

Arboleda Obregón, D.A. (2005) menciona que el tratamiento con hormonas es un buen método pero siempre queda una población de hembras que hay que eliminar del cultivo, para evitar la reproducción que ocasiona la sobrepoblación, el tratamiento con hormonas en peces es prohibido por la FDA, que es la entidad que

regula la parte alimentaría en EEUU, entonces si se va a exportar no se debe inducir sexualmente tilapias y entonces debemos buscar métodos mejores para obtener machos.

Con la inducción sexual es posible hacer que individuos que genéticamente son hembras, se desarrollen fenotípicamente como machos (Proença & Bittencourt, 1994, citado por DISQUE TECNOLOGIA 2005). La efectividad de la inducción sexual es similar para *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* y *O. mossambicus*. Una de las limitantes en el proceso de reversión sexual, es obtener una adecuada cantidad de postlarvas *sexualmente indiferenciadas* para iniciar el tratamiento hormonal correspondiente (Prieto, C.A. & Olivera Angel, M. 2002).

Durante este proceso, la administración de esteroides masculinos a las larvas recién nacidas que poseen entonces tejido gonadal aún no-diferenciado; hará que estas hembras genéticas, desarrollen tejido testicular; produciendo individuos que crecen y funcionan reproductivamente como machos. Este procedimiento deberá iniciarse antes de la diferenciación del tejido gonadal primario, dentro del tejido del ovario que, en condiciones de temperatura de 24 a 28°C se produce en la tilapia nilotica a una talla de solo 11-13mm y unas 3-4 semanas de nacidas (Anónimo, 2003)

Las evidencias demuestran que en peces no es posible generalizar, pero se puede afirmar que los casos de cromosomas sexuales son esporádicos (Clark y Wall, 1996 y Pezold, 1984; citado por Burbano, C. 2001). En el momento de la fertilización, cuando el espermatozoide se une con el oocito se completa la segunda división meiótica y se produce la expulsión del segundo cuerpo polar. El cigoto resultante es diploide y contiene información genética aportada por el padre y la madre. (Pérez, 1990, 1996, Piferrer *et al.*, 1995; y Carrillo y Chacón, 1995, Felip *et al.*, 1997, citado por Carrillo Ávila, 2001)

Castillo Campo, L.F. (2004), afirma que hasta el momento se reconocen un total de 44 cromosomas autosómicos en las tilapias, y la no presencia de cromosomas sexuales, pero si bien no hay presencia de cromosomas sexuales si tiene que existir en algún cromosoma autosómico uno o varios genes sexuales que son transferidos por los progenitores y que este puede no expresarse por diversas causas (inducción sexual o temperatura).

Castillo Campo, L.F. (2004), menciona que para poder comprender los mecanismos de definición sexual en las tilapias es importante independizar los términos determinación sexual y diferenciación sexual, que son afectados por muchos factores genéticos, ambientales, de comportamiento y fisiológicos. Independiente de la especie o variedad o línea de tilapia, los machos tienen la propiedad de crecer más rápido que las hembras, e invertir menos energía en reproducción. El mecanismo genético tradicional para la determinación del sexo es explicado normalmente por los ejemplares heterogaméticos y determinada por dos mecanismos sexuales diferentes en el género *Oreochromis*, adicionalmente a la influencia sobre la determinación del sexo de los genes autosómicos y al factor determinante de testículos.

Castillo Campo, L.F. (2004), hace mención de que el medio ambiente también tiene una gran influencia sobre la determinación del sexo, siendo el factor más importante la temperatura (TSD = Temperature Sex Determination), especialmente en especies termosensitivas en los que están incluidos los Cíclidos, lo que indica una fuerte interacción entre la temperatura y el genotipo.

En los procesos de inducción sexual (mal llamada reversión sexual) se relacionan directamente con la diferenciación gonadal. La hormona androgénica 17 alfa metiltestosterona modifica directamente las características sexuales secundarias (fenotipo), y tiene un efecto adicional sobre las gónadas, al afectar su normal desarrollo, pero en ningún momento afecta el genotipo, por lo que los individuos

genéticamente mantienen la segregación normal esperada en el momento de la fertilización (Phelps & Popma, 2000 citado por Castillo Campo, 2001).

A nivel celular se hace fácil la identificación entre hembras y machos. Cuando se encuentra un individuo que tiene tendencia a lo femenino lo más lógico es pensar que son hembras que no alcanzaron a desarrollar como machos por “x” factores a tal grado que no lograron cambiar las estructuras que identifican a la hembra (Figueroa Cerna, comunicación personal 2007)<sup>10</sup>, algo característico de este grupo es que tenían tamaños pequeños, posiblemente porque no consumieron suficiente alimento o por la competencia que se genera entre ellos.

Anteriormente se hace mención al manejo del término de *inducción sexual* el cual es mal llamado reversión sexual; lo recomendado en esta etapa es llamar a este proceso inducción sexual ya que los alevines aun no han desarrollado sus gónadas sexuales. Al llamarlo inducción nos referimos a que los cambios son a nivel fenotípico y no genético. En el caso de cuando se hace referencia del término de *atrofiación*, podemos decir que es incorrecto, ya que cuando se inicia con el tratamiento no podemos hablar de que se han seleccionado machos o hembras para someterlas a tratamiento. Entonces atrofización sexual sería cuando se identifica a un individuo como macho o hembra y este cambia sus estructuras sexuales ya sea de manera natural o inducida; de tal manera que lo que se ha hecho es *una inducción a un desarrollo gonadal* (Figueroa Cerna, comunicación personal 2007).

La factibilidad para trabajar con hormonas a nivel de producción se ve opacada por las siguientes condiciones: primero el adquirir la hormona específica 17 alfa metiltestosterona para inducción sexual de *Oreochromis niloticus* es difícil ya que la utilizada en esta investigación fue proporcionada por la Misión Técnica de Taiwán la cual no se distribuye en el país, otro factor es el manejo de la hormona ya que al no tener los cuidados necesarios como refrigerarla o exponerla al sol entre otros

---

<sup>10</sup> M.Sc. Ricardo Figueroa Cerna: Jefe del Departamento de Biología de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la Universidad de El Salvador.

pueden llevar a desnaturalizarla y no producir los efectos esperados en la técnica de inducción.

Las cantidades mínimas de hormona utilizadas en el proceso de inducción (60mg x Kg. de alimento) pueden no traer efectos graves cuando se manipula, pero siempre es aconsejable guardar las recomendaciones en cuanto a la preparación del alimento como son el usar mascarillas, guantes de hule, estar en un espacio con suficiente ventilación pero sin el contacto directo de los rayos del sol, refrigeración para después de preparado el alimento para su conservación durante el proceso de inducción. Además si se poseen heridas lo mejor es no intervenir en el proceso de elaboración y administración del alimento.

En cuanto a la evaluación económica para ejecutar la inducción sexual se toma en cuenta que el productor ya posee personal para su manejo, reproductores para obtener jaramugos e infraestructura para desarrollarla. La estructura de costos para pequeños productores (anexo 14) llevados a evaluación en base a 1000 individuos durante 28 días, incluyó gastos de alimentación, hormona e insumos; dichas evaluaciones indican que las jaulas económicamente son las más rentables (2.21% en costos de alimentación y hormona), las pilas se ubican en un segundo lugar con 6.67% y los estanques con un 14.16%.

Si bien los estanques son los que proporcionan los mejores niveles de inducción; desde el punto de vista económico son las jaulas las que llevan la ventaja, ya que el porcentaje de inducción de pilas para este estudio difiere en un 0.09% de los resultados en estanques, además cabe agregar el menor recurso de mano de obra que conlleva el manejo de jaulas.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados se concluye que:

- La inducción sexual en *O. niloticus* es una técnica que puede ser utilizada para poder realizar cultivos de monosexo ya que permite obtener poblaciones de machos arriba del 99%.
- La técnica de inducción sexual puede realizarse en cualquiera de las infraestructuras utilizadas en este estudio, la diferencia radica en el manejo y disponibilidad que se tenga de cada una de ellas.
- Los parámetros físico-químicos (temperatura, pH y Oxígeno) tomados en cuenta en esta investigación, no influyeron de manera directa en los resultados esperados.
- Las pilas a pesar de presentar resultados de inducción altos, estas presentaron los mayores niveles de mortalidad en este estudio; requieren de mayor inversión de tiempo, recambios de agua continuos y tratamiento contra la proliferación de enfermedades lo que lleva a más inversión económica.
- La inducción sexual se debe llevar a cabo en los primeros días de vida de los alevines, cuando estos aun no han desarrollado sus gónadas sexuales, ya que las tilapias son individuos que a temprana edad no tienen definido su sexo.
- El proceso de inducción sexual afecta a las tilapias a nivel fenotípico, o sea que, la 17 alfa metilttestosterona actúa modificando directamente características sexuales secundarias (forma, tamaño, color entre otros) y además influye adicionalmente sobre las gónadas al afectar su normal desarrollo.

## RECOMENDACIONES

- Para la realización de la técnica de inducción sexual, se recomienda el uso de 17 alfa metiltestosterona durante los primeros 28 días de edad, alimento con un nivel de proteína arriba del 45% y un adecuado manejo a la hora de la preparación del alimento con hormona.
- De acuerdo a los resultados de este estudio se recomienda el uso de estanques para llevar a cabo la inducción sexual, ya que se cuenta con las mejores condiciones ambientales y otros, pero requiere de mayor cuidado en cuanto al apareamiento de agentes extraños al cultivo que pueden generar competencia por el alimento con los alevines. Desde el punto de vista económico las jaulas también son una alternativa para realizar inducción,
- Para cualquier cultivo de peces (en este caso de tilapias), se recomienda medir los parámetros físico-químicos (T°, pH y OD) como mínimo una vez a la semana y a la misma hora, ya que estos nos permite saber las condiciones en que se encuentra el agua en donde esta nuestro cultivo y así saber si hay que hacer recambios u otro tratamiento, ya que de manera indirecta de ello también depende el éxito de dicho cultivo.
- Se recomienda que antes de llevar a cabo la técnica de inducción sexual en pilas, tener en cuenta que se necesitan recambios de agua diarios, limpieza general por lo menos cada 3 días, hacer uso de medicamentos contra bacterias y hongos y algo muy importante tener como regular la temperatura de la infraestructura ya que estas condiciones son necesarias para minimizar los índices de mortalidad.
- Se recomienda iniciar el proceso de inducción sexual con jaramugos que estén entre lo 3 y 5 mm. de tamaño promedio (después de que han

consumido su saco vitelino, para su selección hacer uso de un tamiz) durante un período que puede durar de 28 a 30 días.

- Se recomienda hacer uso del término inducción sexual, ya que lo que se hace es inducir por medio de la incorporación de hormonas (para esta investigación) a ciertos individuos que aun no han desarrollado sus gónadas sexuales, a que tengan una tendencia que nos convenga, en este caso a producir solo machos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anónimo (2003). Acerca del cultivo de Tilapia Nilotica y tilapia roja. Consultado en 05, 04,06 en [www.aquaticalf.org](http://www.aquaticalf.org)

Arboleda Obregón, D.A. (2005). Reversión sexual de las tilapias rojas (*Oreochromis sp.*), una guía básica para el acuicultor. Revista Electrónica Veterinaria REDVET, pp. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>.

Anzola Escobar, E. & Rodríguez Gómez, H. (2001). La calidad del agua y la productividad de un estanque de acuicultura. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 43-72.

Burbano, C. (2001). Citogenética aplicada a peces. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 219-232.

Cantor Atlatenco, F. (2007). Manual de Reproducción de Tilapia. Puebla, México: Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla.

Carrillo Ávila, M. (2001). Manipulación cromosómica aplicada a la piscicultura. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 233-242.

Carrillo Ávila, M. & Rodríguez Pulido, J.A. (2001). Bases fisiológicas de la reproducción de preces tropicales. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 189-216.

Castillo Campo, L.F. (2001). Tilapia Roja 2001, una evolución de 20 años, de la incertidumbre al éxito. Cali, Colombia: [www.panoramaaquicola.com](http://www.panoramaaquicola.com) articulo consultado en 24, 11,06.

\_\_\_\_\_ (2004). Tilapia Roja 2003, una evolución de 23 años, de la incertidumbre al éxito. Cali, Colombia: <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/reports/Castillo.pdf> consultado el 27, 11,06

\_\_\_\_\_ (2006). Tilapia Roja 2006, una evolución de 25 años, de la incertidumbre al éxito. Cali, Colombia: [www.panoramaaquicola.com](http://www.panoramaaquicola.com) articulo consultado en 27, 11,06.

CIC – CORPEI, (2004), Producción y manejo de productos, características de las tilapia, Instituto Nacional de Pesca (INP)

DISQUE TECNOLOGIA (2005). SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TECNICAS, SOLUÇÕES TECNOLOGICAS PARA SUA EMPRESA. Consultado en 15, 12,06 en <http://www.sbrt.ibict.br>.

Domitrovic, H. A. (2005). Histología e Histopatología de Testículo y Ovario de *Aequidens portalegrensis* (Pisces, Cichlidae). Argentina: Instituto de Ictiología del Nordeste, Facultad de Ciencias Veterinarias (UNNE).

Espejo González, C. & Torres Quevedo, E. (2001). Cultivo de las tilapias roja (*Oreochromis sp.*) y plateada (*Oreochromis niloticus*). Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 283-298.

Hepher & Pruginin, (1991). Cultivo de Peces Comerciales, basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel. 3a ED. Editorial Limusa, México, D.F. 316 pp.

Martínez Contreras, T.M. (2003). Adaptación y crecimiento de las tilapias *Oreochromis niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus* x *O. niloticus* en agua salada (Tesis de Doctora en Ciencias Pecuarias, Universidad de Colima, México). 105pp.

NICOVITA (2005). Nicovita, La mejor ración; Manual de crianza de Tilapia. Consultado en 15-10-06 en [www.alicorp.com.pe](http://www.alicorp.com.pe).

Prieto, C.A. & Olivera Angel, M (2002). Incubación artificial de huevos embrionados de Tilapia Roja *Oreochromis* sp. Rev Col Cienc Pec, 15 (1), 115.

PRODUCE, (2004). Cultivo de Tilapia, Ministerio de la Producción, Dirección Nacional de la Acuicultura, Lima Perú consultado el 22-12-06 disponible en: [www.producemar.per.cc](http://www.producemar.per.cc)

Reta Mendiola, 2004. Curso de cultivo de peces en jaulas flotantes. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Acuicultura Rural integral. Consultado el 13-12-06

Reta Mendiola (2004). Curso de cultivo de peces en estanques circulares. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Acuicultura Rural integral. Consultado el 13-12-06

Rodríguez Gómez, H. *et al* (2001). Principales enfermedades de los peces en cultivo. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 147-187

Vásquez Torres, W. (2001). Nutrición y alimentación de peces. Fundamentos de Acuicultura Continental, Serie de fundamentos No1, 2a ED., Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura de la Republica de Colombia, Pág. 125-144

<http://es.wikipedia.org/wiki/Hormona> consultado el 23-10-06.

**ANEXOS**

## Anexo 1. Artículo sobre la influencia de la temperatura en la proporción de sexos de algunas especies de peces.

Recursos naturales

La temperatura influye en la proporción de sexos de las poblaciones de algunos peces

27 de octubre de 2004

Un grupo de investigación del Instituto de Ciencias del Mar del Centro Mediterráneo de Investigaciones Marinas y Ambientales (CMIMA) del CSIC investiga cuales son las condiciones ambientales que influyen en la diferenciación sexual de los peces. Actualmente están trabajando con lubinas y con rodaballo. De la lubina ya saben que el aumento de temperatura puede derivar en un aumento de machos en la descendencia.

Cuando los huevos de lubina eclosionan, las larvas no tienen definido su sexo. Esto no sucede hasta unos meses después, cuando los juveniles llegan a una medida de entre 8 y 14 cm. Que lleguen a ser machos o hembras depende fundamentalmente de su componente genético determinante del sexo. Pero ésta puede ser modificada por algunos factores ambientales como la temperatura. Un equipo de investigadores del Departamento de Recursos Marinos Renovables, en el Instituto de Ciencias de Mar, del CSIC en Barcelona, está estudiando éste fenómeno.

En condiciones normales, explica Francesc Piferrer, quien dirige el proyecto *Sexratio*, "la proporción de machos en una puesta concreta varía entre el 30 y el 70%, según el origen de los progenitores. Esto indica que hay un fuerte componente parental pero, cuando se consideran todas las puestas en conjunto, la proporción de machos es aproximadamente del 50%". Los investigadores observaron que si la temperatura del agua en la que se desarrollan las larvas es más elevada de lo normal (13-18°C), alrededor de unos 21°C, la proporción de machos aumenta al 80, 90 o incluso al 100%. ¿Qué mecanismo hace que esto sea sí?

El equipo de Piferrer piensa que la respuesta está en el gen *cyp19*, que codifica para el citocrom P450 aromatasa, una enzima responsable de la producción de estrógenos a partir de andrógenos, los dos tipos principales de esteroides sexuales, y necesarios para la diferenciación gonadal. Por eso han clonado genes implicados en la síntesis, el transporte, la recepción y el efecto biológico de estos esteroides.

Cuando se expresa la aromatasa se produce la síntesis de estrógenos, las hormonas femeninas. Sin embargo, el aumento de temperatura bloquearía la expresión del gen *cyp19* y, por lo tanto, no se produciría esta síntesis. La consecuencia es que las crías que tenían que ser hembras - las que tienen en su componente genético la información para llegar a ser hembras- no lo llegan a ser. De aquí que aumente la proporción de machos. Así, las gónadas sexualmente indiferenciadas son únicas entre todos los órganos de los vertebrados en cuanto que tienen dos opciones para su desarrollo durante el proceso de diferenciación sexual: devenir ovarios o testículos.

Creen que el aumento de temperatura bloquearía el gen *cyp19* y, en consecuencia,  
las crías que deberían llegar a ser hembras no lo llegan a ser

En los peces, además, este proceso puede estar influido por las condiciones ambientales (cambio global, temperatura, polución). Por esta razón, la búsqueda es más interesante todavía, puesto que podría ayudar a entender si factores como el cambio climático global o la contaminación podan tener alguna repercusión sobre la población de peces.

Por otro lado, y a diferencia de otros vertebrados, los peces tienen dos genes diferentes de la aromatasa, un primer gen expresado fundamentalmente en las gónadas (CYP19A1) y responsable de la síntesis de los estrógenos plasmáticos, con función endocrina, y otro segundo gen (CYP19A2) expresado fundamentalmente en el cerebro, responsable de la síntesis de neuroestrógenos, con función autocrina o paracrina. La actividad aromatasa en el cerebro de los peces es entre 100 y 1000 veces superior a la de cualquier otro órgano conocido, incluida la placenta de los mamíferos. ¿Qué hace, se preguntan los investigadores, tanta actividad de aromatasa en el cerebro? Una hipótesis es que esta elevada actividad está relacionada con la neurogénesis o formación de neuronas, que en los peces continúa durante toda la vida adulta.

<http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2004/10/27/15024.php>

<http://www.csic.es/ott/rdcsic/rdcsicesp/rdrn12esp.htm>

Anexo 2: Ubicación geográfica de la estación Acuícola de Izalco.

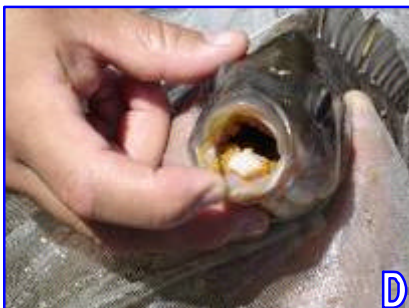


Fuente: Imagen grande tomada del Software libre Google Herat, Europa Technoloies Digital Globe 2006; imagen pequeña tomada del Microsoft Encarta 2007 Derechos Reservados

### Anexo 3: Selección de Reproductores y Obtención de Jaramugos



Imágenes sobre la selección de Reproductores; imágenes A Y B) muestran captura y selección de reproductores, C) Reproductor macho, D) Reproductor hembra.



Imágenes sobre obtención de jaramugos: A Y B) Recolección de jaramugos a la orilla del estanque, C) Selección de jaramugos para el estudio, D) Hembra de tilapia con huevos en la boca, E) Nidos hechos por los machos, F) Jaramugos cosechados

Anexo 4. Diferentes actividades realizadas durante los muestreos.



Algunas actividades realizadas durante los muestreos: A) presencia de individuos, B, C, y D) Colecta y conteo de alevines, E Y F) medida de peso y longitud

Anexo 5. Formato de tabla para la recolección de datos

## MUESTREO SEMANAL Y DIARIO CONTROL DE PARAMETROS

### DATOS GENERALES

Especie : Oreochromis niloticus Nombre Común : Tilapia gris  
 Alimentación : \_\_\_\_\_ Periodo de aplicación \_\_\_\_\_  
 Porcentaje de alimentación : \_\_\_\_\_  
 Fecha de muestreo : \_\_\_\_\_ Muestreo No \_\_\_\_\_

#### PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, CARACTERÍSTICAS DE INDIVIDUOS

Infraestructura	ÁREA	DS x m <sup>3</sup>	POBLACION INICIAL	POBLACION ACTUAL	PH	OD (ppm)	T°C	PESO TOTAL	PESO INDIVIDUAL
PILA 1									
PILA 2									
JAULA 1									
JAULA 2									
ESTANQ 1									
ESTANQ 2									

DS: Densidad de siembra OD: Oxígeno disuelto ppm: partes por millón

Infraestructura	TAMANO (mm)	CANT ALIMENTO (g)	RACION DIARIA	OBSERVACIONES
PILA 1				
PILA 2				
JAULA 1				
JAULA 2				
ESTANQ 1				
ESTANQ 2				

#### MORTALIDAD Y ALIMENTO ADICIONAL DIARIO

FECHA	MORT			ALIM AD			MORT			ALIM AD		
INFRAESTRUCTURA	MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD	
PILA 1												
PILA 2												
JAULA 1												
JAULA 2												
ESTANQ 1												
ESTANQ 2												

MORT: MORTALIDAD ALIM AD: ALIEMNTACION ADICIONAL EN GRAMOS

FECHA	MORT			ALIM AD			MORT			ALIM AD			TOTAL	
INFRAESTRUCTURA	MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD		MORT	ALIM AD	MORT	ALIM AD	
PILA 1														
PILA 2														
JAULA 1														
JAULA 2														
ESTANQ 1														
ESTANQ 2														

Simbología: mort: mortalidad diaria; alim ad: alimeto adicional dado diariamente

Diseño de tablas de recolección de datos diseñado exclusivamente para el trabajo de investigación: Inducción sexual de *Oreochromis niloticus* por administración oral de 17-alfa-metiltestosterona en diferentes infraestructuras de cultivo en la Estación de Acuicultura Izalco de Agosto 2006 a Marzo 2007

## Anexo 6: Infraestructuras utilizadas en la etapa de inducción.



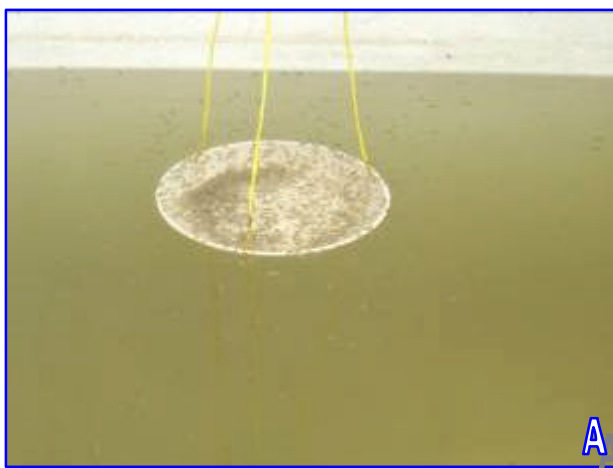
Infraestructuras utilizadas para el proceso de inducción sexual: arriba) pilas, jaulas y estanque antes de comenzar el proceso, abajo) infraestructuras preparadas para el proceso de inducción sexual.

## Anexo 7: Preparación del Alimento para la etapa de inducción sexual.



Preparación de alimento con hormona: A) materiales para la preparación, B) Aplicación de la hormona por medio de un atomizador C) Secado del alimento

## Anexo 8. Alimentación en la etapa de Inducción sexual.



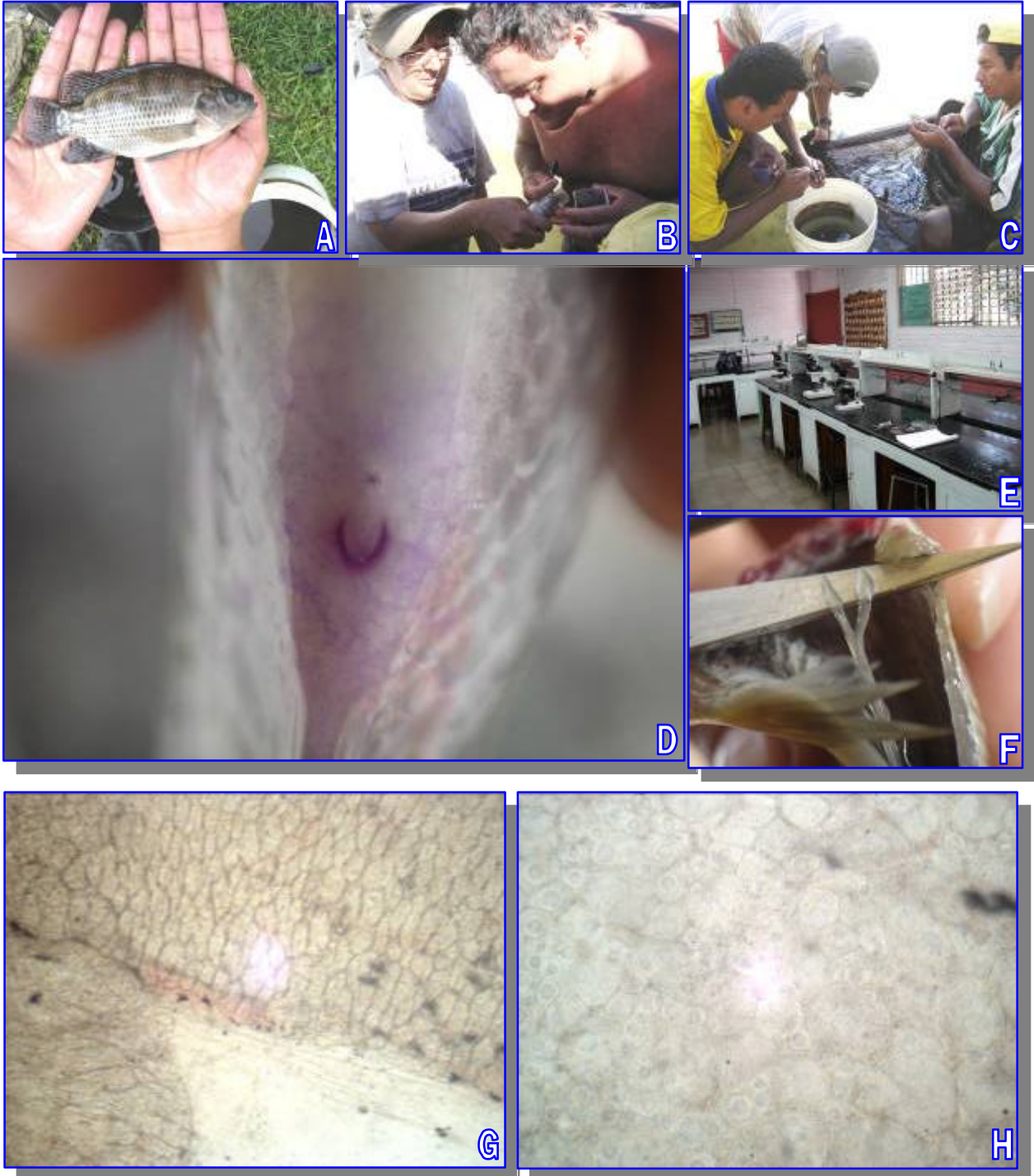
Alimentación: A Y B) Comederos instalados en cada una de las infraestructuras, los de plato fueron los utilizados en la mayoría de infraestructuras el de tubo se uso en el estanque debido al tamaño de este, C Y D) Presencia de alevines en los comederos, E, F Y G) Alimentación de pilas, jaulas y estanque respectivamente

Anexo 9. Cosecha de alevines en la etapa de inducción sexual y siembra de alevines para la etapa de precría.



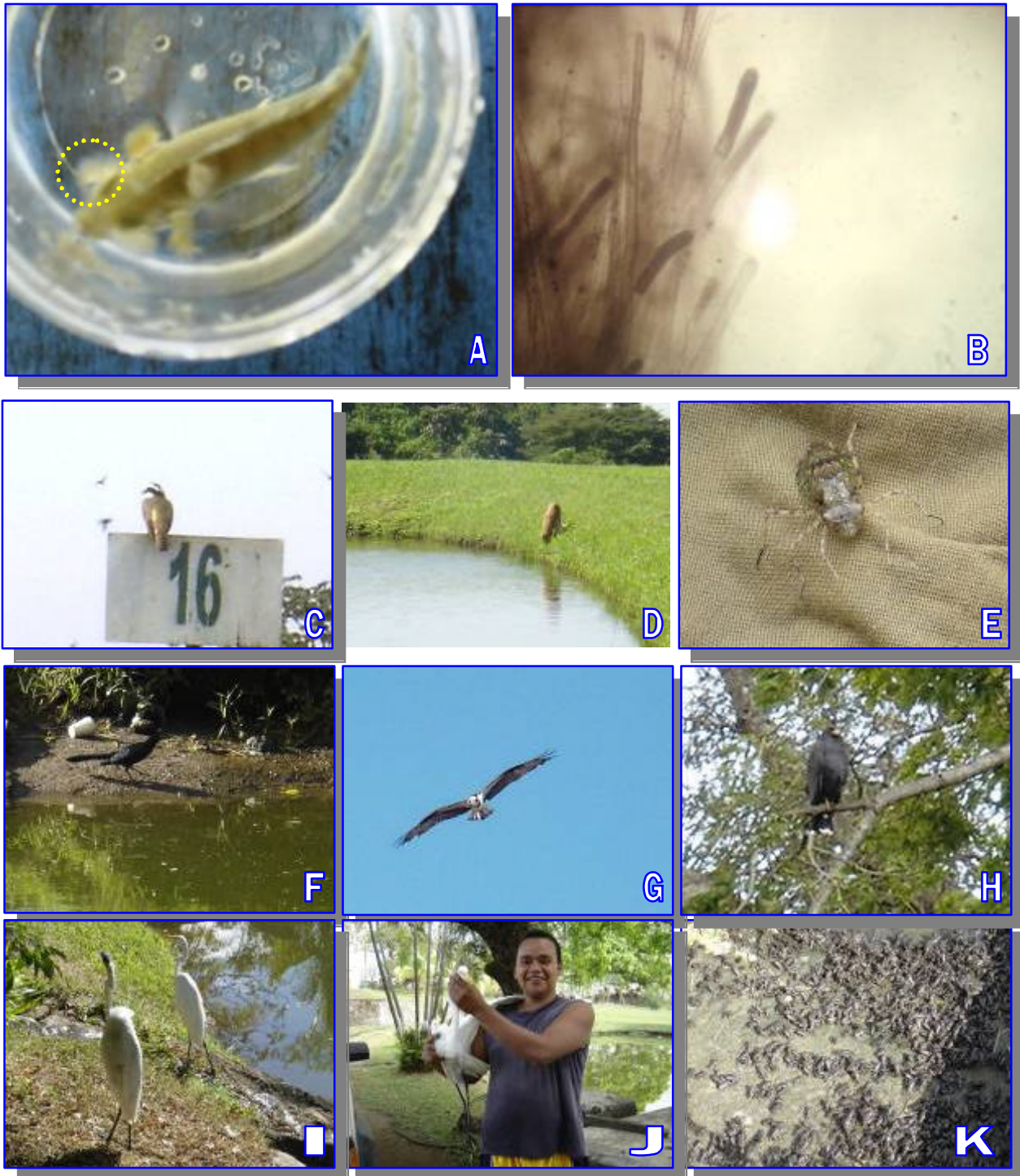
De arriba hacia abajo: primera fila correspondiente a la cosecha de pilas, segunda fila de imágenes relacionadas con la cosecha de jaulas, fila tres secuencia de cosecha en estanque y cuarta fila preparación y llenado de estanques y posterior liberación de alevines para la etapa de precría

## Anexo 10. Sexado e identificación de machos



Identificación visual y microscópica de machos de *O. niloticus*: A) Características fenotípicas B Y C) Sexado manual haciendo uso de azul de metileno para mayor facilidad, D) Papila genital masculina, E) instalaciones de laboratorio de Biología de la UESFMOcc, F) Gónada sexual masculina (testículos), G) estructura de células testiculares (40x), H) Estructura de células femeninas (oocitos, 40x), pertenecientes a las tilapias que no alcanzaron a desarrollarse como machos.

## Anexo 11. Factores que influyeron en los índices de mortalidad



Algunos factores que influyeron en los porcentajes de mortalidad en las diferentes etapas de la investigación: A) Aspecto algodonoso de micelios de *Saprolegnia* sp. B) Hifas de *Saprolegnia* sp. en montajes frescos (40x), imágenes del C al J) algunos depredadores naturales de las tilapias que se observaron en este estudio dentro de los que predominan las aves y algunos insectos. K) Renacuajos, estos competían por el alimento con los alevines en la etapa de inducción y precría

ANEXO 12. Recolección de datos en la etapa de inducción sexual

ALIMENTO CONCENTRADO AL 50% DE PROTEINA DE HORMONA MASCULINA (17 ALFAMETILTESTOSTERONA)

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	06-Sep	PILA 1	4.1	8.20	8.30	26.00	9649	0	0.016	154.38	30.88		2353.414634	
1	12-Sep			8.20	7.30	26.00	7176	2473	0.043	308.57	61.71			0.0039
2	19-Sep			8.60	9.90	28.00	5129	2047	0.050	256.45	51.29			0.0010
3	26-Sep			8.10	5.80	28.00	4185	944	0.087	364.10	72.82			0.0053
4	03-Oct			7.70	8.90	28.00	3103	1082	0.545	1691.14	338.23			0.0654
COSECHA	06-Oct					3097	6	0.570	1765.29	353.06	0.0036			
				8.13	8.20	27.50	TOTAL	6552						

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	06-Sep	PILA 2	4.31	8.20	8.30	27.00	7331	0	0.016	117.30	23.46		1700.928074	
1	12-Sep			8.10	7.20	27.00	6830	501	0.047	321.01	64.20			0.0044
2	19-Sep			8.80	10.40	27.50	4624	2206	0.050	231.20	46.24			0.0004
3	26-Sep			8.50	8.80	28.00	3693	931	0.065	240.05	48.01			0.0021
4	03-Oct			8.60	9.20	28.00	2977	716	0.480	997.30	199.46			0.0386
COSECHA	06-Oct					2964	13	0.510	1511.64	302.33	0.0250			
				8.63	9.47	27.63	TOTAL	4367						

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO-QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	12-Sep	JAULA 1	3.92	8.30	7.60	28.50	22571	0	0.023	519.13	103.83		5757.908163	
1	19-Sep			9.80	15.00	32.00	22482	89	0.047	1056.65	211.33			0.0034
2	26-Sep			9.60	13.90	35.00	22464	18	0.077	1729.73	345.95			0.0043
3	03-Oct			9.80	8.80	37.00	22218	246	0.135	2999.43	599.89			0.0083
4	10-Sep			8.60	6.60	32.00	21775	443	0.180	3919.50	783.90			0.0064
COSECHA	13-Oct					21766	9	0.230	5006.18	1001.24	0.0071			
				9.45	11.08	31.80	TOTAL	805	0.964					

Continuación anexo 12

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO- QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	12-Sep	JAUJA 2	3.29	8.30	7.60	28.50	12330	0	0.023	283.59	56.72		3747.720365	
1	19-Sep			9.80	14.00	32.00	12097	233	0.043	520.17	104.03			0.0029
2	26-Sep			9.60	13.30	35.00	12088	9	0.080	967.04	193.41			0.0053
3	03-Oct			9.70	8.60	37.00	12060	28	0.265	3195.90	639.18			0.0264
4	10-Sep			8.20	4.60	32.00	12058	2	0.360	4340.88	868.18			0.0136
COSECHA	13-Oct					12058	0	0.430	5184.94	1036.99	0.0100			
				9.33	10.13	31.40	TOTAL	272						

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO- QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	19-Sep	ESTANQUE 3 L1	55.73	8.90	9.50	31.00	9000	0	0.013	117.00	23.40		161.4929123	
1	26-Sep			9.10	11.00	33.00	8953	47	0.050	447.65	89.53			0.0053
2	03-Oct			9.00	9.80	35.00	8946	7	0.145	1297.17	259.43			0.0136
3	10-Sep			8.70	6.10	31.00	8932	14	0.440	3930.08	786.02			0.0421
4	17-Oct			9.10	12.50	29.50	8907	25	0.660	5878.62	1175.72			0.0314
COSECHA	20-Oct					8810	97	0.670	5902.70	1180.54	0.0014			
				8.96	9.78	31.10	TOTAL	190						

MUESTREO	FECHA	INFRA	AREA	PARAMETROS FISICO- QUIMICOS			POBLACION	M ORT	PI	PT	AL	CRE DIA	densidad si	
				PH	OD(ppm)	T°								
SIEMBRA	19-Sep	ESTANQUE 3 L2	55.73	8.90	9.50	31.00	14332	0	0.013	186.32	37.26		257.1684909	
1	26-Sep			9.10	12.40	34.00	14315	17	0.050	715.75	143.15			0.0053
2	03-Oct			9.00	9.40	35.00	14312	3	0.205	2933.96	586.79			0.0221
3	10-Sep			8.80	6.80	31.00	14310	2	0.390	5580.90	1116.18			0.0264
4	17-Oct			9.10	13.00	29.50	14297	13	0.625	8935.63	1787.13			0.0336
COSECHA	20-Oct					14267	30	0.700	9986.90	1997.38	0.0107			
				8.98	10.22	31.30	TOTAL	65						

## ANEXO 13. GLOSARIO

- **Acuicultura:** Técnica del cultivo de especies acuáticas
- **Alevín:** pez sexualmente aun no desarrollado.
- **Andrógeno:** termino referido a las hormonas masculinas.
- **Cromosoma:** Filamento condensado de ácido desoxirribonucleico, visible en el núcleo de las células durante la mitosis. Su número es constante para cada especie animal o vegetal.
- **Cultivo bisexual:** cultivo de individuos de ambos sexos, machos y hembras
- **Cultivo monosexo:** cultivo de individuos de un solo sexo, machos o hembras.
- **Engorde:** etapa en la piscicultura en la que se logra que la especie cultivada alcance talla comercial.
- **Estanque:** embalse artificial para almacenar agua que se pueden llenar y vaciar fácilmente según las necesidades y deben ser un medio favorable para el desarrollo de los organismos que se estén cultivando. El tamaño es variable.
- **Factor de condición simple (K):** relaciona el peso con la longitud de un individuo.
- **Factor de conversión alimenticia (FCA):** factor que considera la ganancia en peso en comparación con la cantidad de alimento suministrado, sin corrección por el alimento sobrante.
- **Fenotipo:** Manifestación visible del genotipo en un determinado ambiente.
- **Genotipo:** Conjunto de los genes de un individuo, incluida su composición alélica.
- **Gónada:** Órgano formador de gametos masculinos o femeninos.
- **Hibridación:** técnica utilizada en la piscicultura que consiste en el cruce de dos especies etológica y genéticamente diferentes, con el fin de obtener individuos monosexo y un mejoramiento en sus características fenotípicas
- **Inducción sexual:** técnica mediante la cual por medio de la ingestión de hormonas se logra el desarrollo de individuos de un solo sexo durante su primer mes de vida.
- **Jaramugo:** cría de cualquier pez, que aun cuenta con saco vitelino.
- **Jaula:** infraestructura fabricada a partir de un chasis (cuadrado, rectangular o circular) que se cierra por los lados con malla de diferente luz dependiendo del uso.
- **Oreochromis niloticus:** nombre científico que se utiliza para identificar la tilapia gris.
- **pH:** Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución. Entre 0 y 7 la disolución es ácida, y de 7 a 14, básica.
- **Pila:** infraestructura de concreto de volumen variado.
- **Piscicultura:** rama de la acuicultura que se encarga del cultivo de peces.
- **Precría:** fase en la que se prepara a ciertos individuos (tilapia) para que alcancen cierto peso para una posterior etapa (engorde)
- **Renacuajo:** Larva de la rana, que se diferencia del animal adulto principalmente por tener cola, carecer de patas y respirar por branquias
- **Reversión sexual:** termino con el que se mal llama a la inducción sexual. Inducir al cambio de sexo a un individuo con sexo ya determinado.
- **Saco vitelino:** reserva alimenticia de jaramugos.
- **Saprolegniasis:** término usado para describir una infección de la piel y branquias producida por hongos del género *Saprolegnia sp.*
- **SAS:** siglas de Statistical Analysis System. Paquete informático estadístico utilizado para determinar diferencia significativa entre parámetros.
- **Sexado manual:** técnica mediante la cual se seleccionan machos y hembras por medio de la observación de sus órganos genitales externos. Requiere de destreza y practica.
- **Velocidad de crecimiento:** ganancia de peso que obtienen diariamente los individuos de un cierto cultivo.

#### ANEXO 14. Estructura de costos para la realización de inducción sexual

Costos que genera el llevar a cabo la inducción sexual, teniendo en cuenta que costos de personal (mano de obra), transporte son costos corrientes que la institución ejecutora tiene normalmente, además los jaramugos pueden ser producidos por la institución. Los insumos fijos son costos que se hacen para la preparación de las infraestructuras, es decir este gasto se hace solo al inicio. Los costos han sido evaluados para la producción de 1000 alevines en un periodo de 28 días.

	PILA	JAULA	ESTANQUE
Personal	0.00%	0.00%	0.00%
Jaramugos	0.00%	0.00%	0.00%
Alimento	3.61%	1.18%	7.51%
Hormona	3.16%	1.03%	6.65%
<b>subtotal</b>	<b>6.77%</b>	<b>2.21%</b>	<b>14.16%</b>
Insumos fijos	93.23%	97.79%	85.84%
Transporte	0.00%	0.00%	0.00%
Varios	0.00%	0.00%	0.00%
<b>total egreso</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>

Tabla elaborada a partir de consumo de alimento y hormona de 1000 alevines