

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN HEMBRAS DE
TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) DE ALTO Y BAJO VALOR GENÉTICO

ESTEFANÍA RODRÍGUEZ VERDUGO

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA ZOOTECNIA
BOGOTÀ
2012

UDCA

SIDRE

FECHA: 3 MAY 2012

No Topográfico

2001
R62C
2012



COMPRA
PROVEEDOR

DONACION

RENTA

Estudiante

No. Reg

203147

150.000

COMPARACIÓN DE PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN HEMBRAS DE
TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) DE ALTO Y BAJO VALOR GENÉTICO

ESTEFANÍA RODRÍGUEZ VERDUGO

TRABAJO DE GRADO
COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ZOOTECNISTA

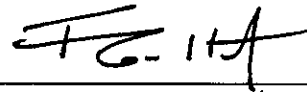
Director
FERNANDO GALLEGO ALARCÓN
Zootecnista, Ph.D. Genética Animal.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
CARRERA ZOOTECNIA
BOGOTÀ
2012

Nota de aceptación:

Camilo Alberto Prieto Mojica

Julio Alberto González Acosta



Firma del director

Bogotá, 28 de Febrero del 2012

Dedicatoria

A ti mi Dios, mi Padre y mi Confidente; porque eres mi ayuda y quién me esfuerza a cumplir los sueños que tienes para mí, sueños que son más grandes que los míos. A Ti, porque cada amanecer me regalas una nueva oportunidad de vivir, porque tú haces posible esta meta, Tu eres quien me da la habilidad de hacer mis sueños realidad; Tu eres quien me sustenta y da razón a mi fe.

A mi mami, por todos sus esfuerzos y sacrificios para llegar a este punto de mi vida, a ella que siempre espera lo mejor de mí. A ti mami, porque eres mi motor, por quien quiero llegar al final del camino.

A mi tía Mariela, porque se ha apropiado de mi futuro, como una meta suya, siempre incondicional, siempre disponible para mí. Por su respaldo y apoyo constante.

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Fernando Gallego Alarcón, Ph D. En Genética Animal, quiero agradecerle por su apoyo y comprensión durante la realización de la investigación, por su dedicación y continua dirección. Gracias por su tiempo y disposición, y más aún; gracias por su labor como docente durante el período académico.

A Javier Álvarez, Biólogo Marino, por su apoyo incondicional durante el trabajo de campo, por darme la oportunidad de realizar este trabajo y estar pendiente de su desarrollo. A Sofía Sepúlveda, Bióloga Marina, por su asesoría y contribución en el desarrollo del trabajo. Y a ambos por sus correcciones en el documento y por su aporte en mi formación como profesional.

A la empresa Langostinos del Llano Ltda. Por brindarme sus instalaciones y todos los recursos necesarios para la realización del proyecto, y a sus empleados por la colaboración.

Al Doctor Thomas Gitterle Santamaría, Ph D en genética. Director de Genética de CENIACUA. Por su asesoría en el inicio de la investigación y por la base de datos necesaria que suministro para la selección de los reproductores.

A Celio Pineda, Ingeniero de Alimentos. Director del programa de Zootecnia de la U.D.C.A por su acompañamiento y apoyo durante la realización del documento.

A María Teresa Rivera, asesora del Departamento de Estadística de la Universidad U.D.C.A, por su acompañamiento en el análisis estadístico de la información.

A mis compañeros de pasantía, por su colaboración en el trabajo de campo y continuo apoyo en los inicios del documento.

A Alejandro Amaya Martínez, por su guía al inicio del trabajo, por sus aclaraciones, recomendaciones y apoyo en la finalización del mismo, pero más importante por su amistad.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. GENERALIDADES DE LA TILAPIA NILÓTICA (<i>Oreochromis Niloticus</i>)	14
2.2. REPRODUCCIÓN	14
2.3. INCUBACIÓN ARTIFICIAL	15
2.4. MORFOLOGÍA DE LA GÓNADA	17
2.5. ÍNDICE GONADOSOMÁTICO	18
2.6. VALOR GENÉTICO	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. UBICACIÓN	19
3.2. ANIMALES	19
3.3. REPRODUCCIÓN	20
3.4. CALIDAD DE AGUA	21
3.5. CÁLCULO IGS	21
3.6. INCUBACIÓN ARTIFICIAL	21
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	21
3.7.1. Fertilidad	22
3.7.2. Natalidad	22
3.7.3. Modelo para Fertilidad y Natalidad	
3.7.4. Índice Gonadosomático	22
3.7.5. Modelo para comparar el IGS	22
3.7.6. Larvas Viables	22
3.7.7. Modelo para Larvas viables	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. CALIDAD DEL AGUA	24
4.2. ÍNDICE GONADOSOMÁTICO	24
4.2.1. Hembras Que No Presentaron Reproducción	27
4.3. FERTILIDAD	30

4.4. DIÁMETRO DE HUEVOS	30
4.5. NATALIDAD	31
4.6. LARVAS VIABLES	32
4.6.1. Análisis para número de larvas viables	32
5. CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFÍA	37
ANEXOS	42

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Parámetros de calidad de agua.	24
Tabla 2. Análisis de varianza del índice gonadosomático en hembras de Tilapia Nilótica	24
Tabla 3. Promedio de Índice gonadosomático (IGS) y valor genético en hembras.	25
Tabla 4. Índice gonadosomático (IGS) en relación al peso vivo	26
Tabla 5. Índice gonadosomático (IGS) en función del peso de la gónada.	26
Tabla 6. Índice gonadosomático (IGS) en función de la época	27
Tabla 7. Análisis de varianza para el índice gonadosomático en hembras que no presentaron reproducción	28
Tabla 8. Índice gonadosomático (IGS) en función del peso gonadal para hembras que no presentaron reproducción	29
Tabla 9. Índice gonadosomático en función del peso vivo.	29
Tabla 10. Análisis de varianza para la fertilidad.	30
Tabla 11. Análisis de Varianza para diámetro de huevo (mm.)	31
Tabla 12. Análisis de varianza para la natalidad.	32
Tabla 13. Análisis de varianza en función del porcentaje de larvas viables	32
Tabla 14. Análisis de varianza para el número de larvas viables	33
Tabla 15. Numero de larvas viables en función del total de huevos.	33

Tabla 16. Larvas viables en función de la talla de las hembras	34
Tabla 17. Efecto del índice gonadosomático sobre el número de larvas viables	34
Tabla 18. Larvas viables en función de la época	35

ANEXOS

	Pág
Anexo A. Tanques De Reproducción	42
Anexo B. Pesaje de Gónadas de Tilapia nilótica	42
Anexo C. Incubadora de huevos de Tilapia nilótica: Se observan algunos huevos blancos	43
Anexo D. Área de incubación artificial	43
Anexo E. Paso de larvas de incubadora a la bandeja	44
Anexo F. Larvas listas para contar	44
Anexo G. Gónada con oocitos en formación	45
Anexo H. Gónada lista para desove	45

COMPARACIÓN DEL VALOR GENÉTICO PARA TASA DE CRECIMIENTO EN EL ÍNDICE GONADOSOMÁTICO (IGS), LA FERTILIDAD Y NATALIDAD EN HEMBRAS DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*)¹

Fernando Gallego Alarcón ²

Estefanía Rodríguez Verdugo³
2012

RESUMEN

Se comparo el índice gonadosomático (IGS), la fertilidad y la natalidad en hembras de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) de alto y bajo valor genético para tasa de crecimiento. Con este fin, Se tomaron 120 animales totalmente al azar; 30 hembras y 30 machos de alto valor genético (AVG) y 30 hembras y 30 machos de bajo valor genético (BVG). Se evaluaron sus cruces: AVG X AVG y BVG X BVG, con tres réplicas en el tiempo cada uno. Los reproductores se ubicaron en una zona cerrada, tipo invernadero, en 20 tanques de 1000 litros cada uno, se ubicó una pareja por tanque. La reproducción tuvo lugar durante 10 días, posteriormente se retiraron los huevos de la boca y fueron llevados al área de incubación artificial. Se midió peso vivo, talla y peso gonadal de la hembra. Los huevos eran contados por volumetría y eran ubicados en una incubadora y finalmente las larvas eran contadas manualmente. Los resultados fueron analizados con el paquete estadístico S.A.S (Statistical Analysis System), se utilizó un modelo lineal general (GLM) y la prueba de tukey para comparaciones múltiples. No se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para fertilidad y natalidad por efecto del valor genético, sin embargo para IGS si tuvo una relación positiva con el valor genético de la hembra, la media de IGS para hembras AVG fue de 1.44 y para las hembras BVG fue de 1.085. Este resultado permite plantear que los programas de cría selectiva en los que, el carácter a mejorar es la tasa de crecimiento promueve el desarrollo gonadal de la población, expresado en un mayor índice gonadosomático.

Palabras Clave: *Oreochromis Niloticus*, selección, índice gonadosomático, fertilidad, natalidad.

¹ Trabajo de grado en modalidad de investigación

² Director. Docente investigador Universidad U.D.C.A

³ Estudiante último semestre, Programa de Zootecnia

INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha convertido en una importante actividad dentro de la economía de los países. Está posicionada entre los principales contribuyentes a la seguridad alimentaria debido a que el pescado es el mayor recurso de proteína animal que se consume en el mundo, cualidad que explica su facultad como producto de exportación, evidenciado en el ingreso de divisas y promoción del empleo rural (Castillo, 2004).

Dentro de las especies piscícolas se destaca la tilapia, su éxito en la comercialización se debe a su buen sabor, fácil fileteado, su carne blanca y de escasas espinas. Este favoritismo se ve representado en el porcentaje que ocupa dentro de la producción piscícola nacional. Puesto que ha sido continuo con los años, especialmente por la oportunidad de exportación que representan países como Estados Unidos (Usgame *et al.*, 2007).

El cultivo de tilapia en general, se ha transformado en una de las actividades más importantes dentro de la producción agropecuaria en el país. En el año 2010 la producción piscícola fue de 37.876 toneladas, para el semestre de julio-diciembre la tilapia tuvo una participación del 83% (CCI, 2010). Entre las dos especies más cultivadas de tilapia (*Oreochromis niloticus* y *Oreochromis spp.*), la tilapia roja tiene una gran aceptación en el mercado, principalmente por su color. Sin embargo la tilapia nilótica se ha ido abriendo espacio en el mercado frente al consumo de tilapia roja, especialmente por su rendimiento en filete, que varía de un 32.09% a un 37.14% (Souza, 2002) mayor al de la tilapia roja que es del 31%, el filete es uno de los productos con mayor demanda por mercados como estado Unidos, y lo convierte en una oportunidad para el desarrollo económico del país, promoviendo de igual forma el cultivo de tilapia nilótica (Castillo, 2005).

Para suplir la demanda estadounidense de filetes, es necesario llevar una producción continua y eficiente, garantizando un producto de calidad y un precio estable durante todo el año; manteniendo de igual forma la oferta del producto en el mercado interno. Para lograr esto, se ha avanzado en tecnología, a través de centros de investigación y universidades, que realizan investigaciones para promover la actividad acuícola, difundiendo los resultados al servicio del sector (FAO, 2006-2011).

El Centro de Investigación de la Acuicultura Colombiana (CENIACUA, 2010), está desarrollando un programa de mejoramiento genético utilizando selección familiar, evaluando inicialmente varias poblaciones de Tilapia Nilótica en diferentes ambientes correspondientes a diferentes fincas en varias regiones del país, una de ellas estaba presente en la finca Langostinos del Llano Ltda.

La producción de tilapia nilótica ha tenido un gran desarrollo en los últimos años, especialmente la variedad de genotipo, sin embargo, los productores no tienen las técnicas de producción que les permita optimizar el recurso genético y expresar su mayor potencial (Aguilar, 2010). Por lo tanto, es necesario realizar investigaciones, que le permitan al sector acuícola conocer tanto la capacidad productiva, como las debilidades que pueda tener la especie que están cultivando, es así que este trabajo tiene como objetivo, comparar hembras de tilapia nilótica en el desempeño reproductivo, en hembras producto de la selección familiar por tasa de crecimiento, evaluando fertilidad, natalidad e índice gonadosomático. Los individuos para este estudio fueron seleccionados de la población de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) presente en la finca Langostinos del Llano Ltda., donde se llevo a cabo este estudio y una de las fincas donde se realizó la investigación desarrollada por CENIACUA; el valor genético asignado a cada familia fue dado por el desempeño en crecimiento que tuvo la población en la investigación por parte de CENIACUA.

Teniendo esta información, los productores conocerán, si la selección para tasa de crecimiento contribuye a mejorar los parámetros reproductivos evaluados en este trabajo de investigación.

1. OBJETIVOS

1.2. OBJETIVO GENERAL

Comparar el índice gonadosomático (IGS), la fertilidad y la natalidad en hembras de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) seleccionadas por alto y bajo valor genético para tasa de crecimiento.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar la variación del índice gonadosomático de las hembras a causa del alto o bajo valor genético.
- Determinar las diferencias en el peso gonadal de hembras de alto y bajo valor genético.
- Comparar el porcentaje de fertilidad y natalidad de las hembras con valores genéticos altos y bajos para tasa de crecimiento.

2. MARCO TEÓRICO

La tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) es un pez nativo de África, posiblemente el más importante dentro del grupo de peces de aguas cálidas y una de las especies predominantes en el comercio a nivel mundial. Gómez *et.al.* (2003) afirman que la ventaja principal es su bajo costo de producción, calidad de carne, fortaleza, fácil reproducción y una rápida tasa de crecimiento. Estas características hacen atractivo el cultivo de tilapia nilótica para países como Colombia, que es uno de los principales productores de esta especie (FAO, 2006-2011).

2.1. GENERALIDADES DE LA TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*)

Es una especie tropical, que habita normalmente en aguas poco profundas; la temperatura mortal es inferior a 11-12 °C y superior a 42 °C. La temperatura ideal está entre 24-32°C (FAO, 2006-2011). Su hábito alimenticio es omnívoro, dentro de su alimento se encuentra el fitoplancton, plantas acuáticas, pequeños invertebrados, semillas de gramíneas, insectos, restos de peces, cladóceros, rotíferos y copépodos, también puede filtrar partículas suspendidas; bacterias que atrapa en la mucosa de la cavidad bucal (Soto, 2010).

2.2. REPRODUCCIÓN

Cada especie tiene un modo de reproducción diferente, a través de diversas estrategias y mecanismos reproductivos. Por esto es necesario tener en cuenta que el cautiverio influye de una manera importante en las funciones fisiológicas de los peces, en ocasiones, se ven afectadas negativamente algunas etapas del proceso reproductivo, lo que hace necesario dirigir los trabajos de investigación a técnicas de reproducción artificial; que permitan proporcionar un número suficiente de semilla para sustentar un nivel de producción continuo y constante (Carrillo y Rodríguez, 2001).

Una ventaja importante que ofrece la especie *Oreochromis niloticus* a la producción pesquera, es su madurez sexual temprana; sin embargo, también puede representar una desventaja sobre la tasa de crecimiento (Gómez *et al.*, 2003). Pueden alcanzar esta madurez a los tres meses de edad con una longitud total de 8 a 16 cm. En el proceso de apareamiento, el macho establece un territorio en el fondo del estanque, haciendo un nido útil para atraer a las hembras.

Los óvulos son depositados en el nido por la hembra, donde el macho los fertiliza, Moyle y Cech (2000), informan en Gómez et al. (2003) que la fecundidad es más alta en los cíclidos, debido a que los padres tienen cuidado parental, y como consecuencia hay una menor mortalidad.

Las hembras que están entre 150 y 300 g desovan aproximadamente de 800-1600 huevos; cuando son fertilizados, la hembra los recoge en su cavidad bucal y los mantiene durante el desarrollo embrionario, abandonando el nido finalmente. El macho está en capacidad de iniciar de nuevo el apareamiento con otra hembra; mientras que la hembra estará apta para reproducirse de nuevo 15 o 20 días después de llevar a cabo la incubación bucal (Soto, 2010).

Conteos realizados a las larvas de hembras de 200 gramos de tilapia nilótica han permitido establecer 370 larvas eclosionadas en la boca, esto indica que por cada gramo de hembra se pueden esperar 1.8 larvas; su viabilidad es baja si las condiciones ambientales del estanque no son favorables (Espejo y Torres, 2001). Osure y Phelps (2006) encontraron un promedio de 3,9 y 3,1 larvas por gramo de peso vivo de la hembra, con diferencias significativas entre líneas en ambiente común.

Experiencias de campo realizadas por Espejo y Torres (2001) han podido establecer que el tamaño ideal de los reproductores en donde se alcanza el mayor pico de producción se encuentra entre los 160 y 300 g, a partir de esta talla la motilidad espermática en el macho se ve fuertemente afectada y en las hembras se presenta taponamiento del oviducto, lo que hace que no puedan llevar a cabo su función de ovoposición.

En general los grupos de reproductores que exceden los 300 gramos como peso promedio presentan inconvenientes de manejo y de fisiología reproductiva, se constituyen en peces más delicados para las faenas de traslado, pesaje, muestreos y en términos generales para todas las tareas que se requieren cuando se lleva a cabo una producción intensiva de alevinos (Espejo y Torres, 2001).

2.3. INCUBACIÓN ARTIFICIAL

De acuerdo al tipo de incubación permite el control individual de los lotes recolectados de cada hembra. Este sistema es muy efectivo para producir:

- Una alta calidad de alevinos con un mínimo grado de manipulación.

- Control sobre las condiciones fisicoquímicas del agua.
- Mayor control de los reproductores en cuanto a producción de huevos y alevinos.
- El proceso de reversión sexual es más eficiente, con resultados por encima del 99 %.
- Se evitan los problemas de canibalismo, al trabajar con embriones y posteriormente larvas de edades cercanas
- Permite realizar una selección eficiente por familias.

Sin embargo, este sistema también presenta debilidades:

- Una mayor demanda de tiempo
- Los reproductores deben ser manejados periódicamente, aumentando la mano de obra.
- Los implementos para realizar la remoción de los huevos en los estanques y la infraestructura para el montaje del sistema de incubación son costosos.

El proceso de retirar los huevos de la cavidad bucal de la hembra, conlleva a producción de semilla más rápida; las hembras reducen el tiempo de descanso para volver a reproducirse (Prieto y Olivera, 2002)

La calidad del agua es importante para obtener buenos resultados durante la incubación, esta debe someterse a un proceso de filtración a través de filtros de gravilla o de arena, o un esterilizador de rayos UV con posterior recirculación del agua, para mantener las condiciones constantes.

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

Prieto y Olivera (2002) mencionan que para la investigación, ésta técnica es óptima para realizar trabajos sobre desempeños genéticos superiores y mayor supervisión individual de los animales.

2.4. MORFOLOGÍA DE LA GÓNADA

Las escalas encontradas en la literatura de desarrollo gonadal son numerosas, pero en general todas siguen más o menos un patrón tanto para hembras como para machos (Carrillo y Rodríguez, 2001). La estructura macroscópica de las gónadas fue resumida por Mahomoud (2011):

Etapa I (inmaduros o vírgenes y adultos en descanso):

Ovarios muy pequeños, delgados, como de color pálido, que ocupan una pequeña parte de la cavidad del cuerpo.

Etapa II (maduración temprana):

Los ovarios son un poco más grandes e incrementan en peso y volumen con huevos blanquecinos opacos. Ocupando cerca de la mitad de la cavidad del cuerpo.

Etapa III (desarrollo)

Ovarios distendidos ocupando aproximadamente 2 / 3 de la cavidad abdominal con grandes huevos de color amarillo pálido.

Etapa IV (desarrollo / pre desove)

El ovario es más amplio, ocupando casi toda la cavidad del cuerpo con un gran número de óvulos maduros turgentes, esféricos, grandes, translúcidos, hinchados de color verde.

Etapa V (desove)

Las paredes del ovario se adelgazan, casi transparentes. Los huevos maduros son visibles a través de la pared del ovario y algunos están presentes en el oviducto.

Etapa VI (gastado)

Las gónadas se reducen; tienen paredes sueltas. Los ovarios son flácidos, como saco y se reducen en volumen. El ovario contiene los huevos oscuros maduros no desovados y un gran número de óvulos pequeños.

2.5. ÍNDICE GONADOSOMÁTICO (IGS)

Se calcula como el peso de las gónadas con respecto al peso corporal total, expresado como un porcentaje (Vlaming *et al.* 1982). El valor incrementa con el desarrollo progresivo de las gónadas en machos y hembras, hasta que las gónadas están maduras, luego se reduce el índice (Gómez *et al.*, 2003). Éste parámetro permite conocer que tan desarrollado reproductivamente se encuentra un macho o una hembra en un momento dado, permitiendo conocer la época de reproducción de la especie (Figueroa, 1999).

Komolafe y Arawomo (2007), encontraron hembras con IGS de 1.34, con una desviación estándar de 0.01, en un rango desde 0.12 a 4.06 para hembras con peso vivo desde 126 hasta 487 g.

La tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) no tiene una reproducción sincrónica, por lo tanto los huevos que hay en el ovario muestran diferentes estados de formación, esta condición hace que la especie presente múltiples desoves y una reproducción constante durante el año. Sin embargo, en las investigaciones realizadas en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), muestra épocas en las que el índice es mayor. Para Komolafe y Arawomo (2007), el índice más alto se presentó en Enero y Junio, que también estaban relacionados con un desarrollo gonadal mayor. Mazrouh y Mahmoud (2009) hallaron para hembras de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) dos picos altos para IGS; el más alto para Junio de 3.16 y el más pequeño en octubre de 2.19 en el río Nilo, Egipto. En otro estudio, Srijunngam y Wattanasirmit (2001) encontraron que a los 4 meses de edad presentaron un índice de 4.0 y al final del estudio con 8 meses de edad mostraron un IGS de 4.10.

2.6. VALOR GENÉTICO

El valor genético o valor genético aditivo (VGA), se puede estimar por medio de la información fenotípica del individuo de un grupo o familia, de sus ancestros y de su progenie (OSSA, 2003).

El valor genético aditivo expresa una superioridad o una inferioridad fenotípica del individuo o de la familia, en relación a sus contemporáneos. Por lo tanto; si VGA es mayor a cero, el individuo es superior a la media y si es menor a cero, el individuo es inferior a la media, siendo cero la media de la población (García, 2004).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

Este trabajo se llevó a cabo en la finca “Langostinos del Llano Ltda.”, empresa dedicada a la producción de alevinos, ubicada en la Vereda Caney Medio en el municipio de Restrepo (META). Con una extensión de 8 hectáreas, la finca está a una altitud de 450 msnm, tiene una temperatura promedio de 26°C, que puede variar de 17 a 34.4°C y una precipitación anual de 5062 mm.

Coordenadas: N 4°16', W 73° 32'.

Humedad relativa: 83%, máxima 93% en época de lluvia y 56% en época seca.

El tiempo de estudio fue de seis semanas.

El agua utilizada proviene del caño San Ignacio. La cantidad de agua disponible para cada pareja de reproductores fue de 1000 litros, durante el tiempo de permanencia de los reproductores se realizó un recambio del 50%, tres veces en cada época.

3.2. ANIMALES

Se escogieron 60 hembras al azar de una población total de 405 hembras; 30 de alto valor genético y 30 de bajo valor genético. Igualmente, se tomaron 60 machos totalmente al azar de una población de 293 machos; 30 de alto valor genético y 30 de bajo valor genético, con una edad promedio de 18 meses. Estos reproductores tanto machos como hembras en conjunto inicialmente se encontraban en estanques de cemento de 14.7m² con una profundidad de 0.80 cms., con aireación permanente y alimentación una vez al día con alimento balanceado al 24% de proteína.

La selección de los machos y hembras se hizo por valor genético para tasa de crecimiento, se escogieron los individuos para alto valor genético que estuvieran por encima de 1.5 desviaciones estándar de la media que fue de 0.538 g con una desviación estándar de 17.309 g de un total de 17 familias que tenían un promedio de valor genético de 27.05 g, y para bajo valor genético se seleccionaron los

situados por debajo de 1.5 desviaciones estándar de 14 familias con una media de valor genético de -25.53 g. Cada reproductor se identificó a través de un microchip, que fue implantado al inicio de la investigación de CENIACUA (2007). Con el lector se conoció su código, y a qué familia pertenecía. Los valores genéticos e identificación, fueron proporcionados por CENIACUA.

Antes del apareamiento los reproductores fueron sometidos a un período de recuperación de 8 días, separando las hembras de los machos con alimentación dos veces al día con alimento balanceado al 24% de proteína y aireación permanente. Al término de este período se seleccionaron los que tuvieran el abdomen abultado como signo de que eran aptos para la reproducción.

Se evaluaron dos cruces entre familias:

- Machos de alto valor genético X Hembras de alto valor genético.
- Machos de bajo valor genético X Hembras de bajo valor genético.

Cada cruce se analizó durante tres épocas diferentes y consecutivas. Cada lote de reproducción estuvo conformado por: 10 parejas de alto valor genético (AVG) y 10 parejas de bajo valor genético (BVG). Como se muestra en la Figura 1:

Figura 1. Esquema de apareamientos

CRUCES						
VALOR GENÉTICO	ALTO X ALTO	BAJO X BAJO	ALTO X ALTO	BAJO X BAJO	ALTO X ALTO	BAJO X BAJO

3.3. REPRODUCCIÓN

Los reproductores se ubicaron en un laboratorio cerrado, tipo invernadero, en 20 tanques de plástico de 1000 litros cada uno (Anexo A), con aireación permanente y alimentación dos veces al día. Se ubicó una pareja por tanque, durante máximo 10 días, revisando al quinto y décimo día presencia de huevos en la boca de la hembra. Se pescaron los reproductores con una malla fina y los huevos fueron retirados de la boca y llevados al área de incubación artificial.

3.4. CALIDAD DEL AGUA

Para medir los parámetros de calidad de agua, se utilizó el kit de calidad de agua FF-1A de HATCH Cat. No. 2430-02, el cual provee de reactivos y equipos para titulación mediante conteo de gotas y medición colorimétrica utilizando discos de color de gradiente continuo y la temperatura fue tomada con un termómetro digital.

3.5. CÁLCULO IGS

El día del desove las hembras eran pesadas y medidas en talla (cms.), se extraían las gónadas y se pesaban en una balanza electrónica de: 1000 gramos con precisión de 0,1 g (Anexo B). Finalmente con los valores de peso de gónada y peso vivo, se obtuvo el índice gonadosomático (todas las hembras se encontraban en el mismo estado de desarrollo gonadal: post-desove).

3.6. INCUBACIÓN ARTIFICIAL

El sistema de incubación de tilapia en la finca consta de 20 incubadoras cónicas en fibra de vidrio, de 2 litros de capacidad cada una; tienen flujo ascendente para mantener los huevos en suspensión y a través de un caudal de agua, las larvas recién eclosionadas son recibidas por bandejas. Las incubadoras y las bandejas se proveen de agua filtrada, primero por un filtro mecánico, un tamiz y finalmente por un filtro biológico (carbón activado).

Los huevos producto de la reproducción de cada pareja fueron contados por volumetría, incluyendo los huevos de color blanco (Anexo C). Posteriormente se ubicaron en una incubadora individual para cada pareja de reproducción (Anexo D). Todos los días se hizo limpieza de las incubadoras que presentaron mortalidad, y finalmente cuando las larvas pasaban a las bandejas y nadaban activamente eran contadas manualmente (Anexo E y F) para determinar el número de larvas viables y su porcentaje correspondiente. Adicionalmente se utilizó una muestra de 100 huevos (conservados en formol al 10%), para medir el diámetro de cada uno.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico S.A.S (Statistical Analysis System), utilizando un modelo lineal general (GLM) y la prueba de Tukey para comparaciones múltiples.

Posteriormente las larvas fueron asignadas aleatoriamente a cada una de las replicas para un diseño completamente al azar, de acuerdo al modelo para analizar el efecto del valor genético sobre la fertilidad y la natalidad.

3.7.1. Fertilidad

$$\% \text{ fertilidad} = \frac{(\text{huevos fértiles}) * 100}{\text{total de huevos}}$$

3.7.2. Natalidad

$$\% \text{ natalidad} = \frac{\text{huevos eclosionados} * 100}{(\text{huevos fértiles})}$$

3.7.3. Modelo para Fertilidad y Natalidad en hembras de alto y bajo valor genético

$$\forall = \mu + \alpha + \beta + \epsilon$$

Donde,

\forall = % fertilidad y % natalidad

μ = Media de la población en el parámetro observado.

α = Efecto valor genético.

β = Efecto de la época.

ϵ = Error experimental.

3.7.4. Índice Gonadosomático

$$IGS = \frac{\text{peso gonadal}}{\text{peso vivo}} * 100 \text{ (Vlaming, 1982)}$$

3.7.5. Modelo para comparar el IGS de hembras de bajo y alto valor genético

$$\forall = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon$$

Donde,

\forall = IGS

μ = Media poblacional.

α = Efecto valor genético.

β = Peso Gonadal.

γ = Peso vivo.

δ = Efecto época

ϵ = Error experimental.

3.7.6. Larvas Viables

$$\% \text{ LARVAS VIABLES} = \frac{N^{\circ} \text{ larvas viables} \times 100\%}{\text{total de huevos/desove}}$$

3.7.7. Modelo para analizar larvas viables.

$$\Psi = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon$$

Donde,

Ψ = porcentaje de larvas.

μ = Media poblacional.

α = Efecto valor genético.

β = Efecto época.

γ = Índice gonadosomático.

δ = Talla.

ϵ = Error experimental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD DE AGUA

A lo largo de la investigación se midieron las siguientes variables; oxígeno disuelto, temperatura, alcalinidad y pH obteniendo los siguientes valores:

Tabla 1. Parámetros de calidad de agua

Oxígeno Disuelto	Temperatura	Alcalinidad	pH
8 ppm	25°C	80 ppm CaCo3	7.03

Los parámetros promediaron dentro de los rangos óptimos para calidad de agua: la temperatura se mantuvo en 25°C, adecuada para el proceso de reproducción afirma Rodríguez (1995). El oxígeno disuelto fue de 8ppm, superior a 4ppm valor que determinaron adecuado Espejo y Torres (2001) para un ritmo metabólico y consumo de alimento constante.

El pH que se obtuvo (7.03) es ideal para la cría de peces, fue un pH neutro, aunque pueden sobrevivir en un rango de 4.0 a 11.0, no permite un desempeño ideal y fuera de esos límites es tóxico, causando la muerte. La alcalinidad estuvo dentro del rango ideal 20-300ppm. (Rodríguez y Anzola, 2001).

4.2. ÍNDICE GONADOSOMÁTICO (IGS)

El análisis estadístico mostró una media de 1.308., una desviación estándar de 0.191. Tuvo una dispersión media, representado con un coeficiente de variación de 14.65% debida a los genotipos individuales.

Tabla 2. Análisis de varianza del índice gonadosomático en hembras de Tilapia Nilótica

Fuente De Variación	GL	Cuadrado Medio	Pr > F
Valor Genético	1	1,027	<,0001
Peso Vivo	6	0,216	0,0013
Peso Gonadal	6	1,868	<,0001
Época	2	0,025	0,5129

La época no presentó efectos estadísticamente significativos sobre el índice gonadosomático. Las variables peso vivo, peso gonadal y valor genético fueron causa de diferencias altamente significativas en el IGS.

Tabla 3. Promedio de Índice gonadosomático (IGS) y valor genético en hembras

Valor Genético	Media IGS
ALTO	1,44 ^a
BAJO	1,085 ^b

*Medias con diferente superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

La media fue de 1.44 y 1.085 para las hembras de alto y bajo valor genético respectivamente, que indica que el valor genético para tasa de crecimiento está relacionado con el índice gonadosomático, posiblemente fue dado porque la mayoría de las hembras que pertenecían al grupo de alto valor genético, tuvieron una tendencia a un mayor peso (325.60 ± 83.06 g), lo que explica un peso de la gónada igualmente superior, afectando el IGS. Del mismo modo, las hembras de bajo valor genético, tuvieron un peso vivo menor (216.19 ± 65.11 g), y un peso de gónada menor. Galman *et.al.* (1988) encontraron una fuerte relación entre el peso de la hembra y el número de huevos producidos en tilapia roja filipina; en otro estudio realizado por Komolafe y Arawomo (2007) encontraron valores entre 0.12 y 4.06 para IGS, rango en el que se encontraron las medias de IGS de este estudio.

Las hembras muestreadas se encontraron en la misma etapa de desarrollo gonadal, post-desove: Etapa VI, (Mahomoud, 2011). Por lo tanto permite tener una mayor confiabilidad en los resultados e indican que las hembras de alto valor genético pueden llegar a tener un mayor desove que las hembras de bajo valor genético.

Tabla 4. Índice gonadosomático (IGS) en relación al peso vivo

Rango Peso Vivo (g)	IGS
123,3 - 178,4	1,13 ^c
178,5 - 233,6	1,131 ^c
233,7 - 288,6	1,785 ^a
288,7 - 343,7	1,309 ^{bc}
343,8 - 398,8	1,618 ^{ab}
398,9 - 453,9	1,212 ^{bc}
454 - 467,7	1,037 ^c

*Medias con diferente superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En el análisis se puede resaltar que las hembras que estuvieron entre los rangos 233,7 g y 288,6 g presentaron el IGS más alto (1.785), media que representa una diferencia significativa alta con respecto a los demás valores y sin diferencias significativas con las hembras que estuvieron entre 343,8 g y 398,8 g. La tabla 4 muestra un rango de peso vivo que se puede tener en cuenta para la selección de reproductores, entre 233.7 g y 288.6 g, 288.7 g y 343.7 g y un último rango entre 343.8 y 398.8 g, los IGS hallados en estas hembras fueron los más altos, en toda la muestra. Sin embargo, Espejo y Torres (2001) hallaron que los reproductores declinan su eficiencia reproductiva a partir de los 300 g. Para las hembras de este estudio el IGS aumenta con el peso, llega a un máximo y luego declina, Gómez *et.al.* (2003) encontraron que en los peces maduros se reduce el índice. Esto indica que el peso vivo es una variable importante en el estado gonadal de las hembras.

Tabla 5. Índice gonadosomático (IGS) en función del peso de la gónada.

Rango Peso Gónada (g)	IGS
1 - 2,4	0,76 ^e
> 2,4 - 3,9	1,23 ^{de}
> 3,9 - 5,4	1,49 ^{cd}
> 5,4 - 6,8	1,67 ^{bcd}
> 6,8- 8,3	2,07 ^{bc}
> 8,3 - 9,8	3,50 ^a
> 9,8 - 11,3	2,32 ^b

*Medias con diferente superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

En la Tabla 5. se ve representado un comportamiento lineal entre el peso de la gónada y el valor del índice gonadosomático, se observa que los rangos de peso de gónada altos, son a los que corresponden los índices gonadosomáticos altos, y el rango con los pesos de gónada inferiores se asocia al valor de de IGS igualmente inferior. Esa relación fue hallada por Charo-Karisa *et.al.* (2007) quienes trabajaron con tres generaciones de *oreochromis niloticus* obtuvieron un peso de gónada de 0.5, 2.2 y 3.8 g el IGS para cada uno de los siguientes pesos respectivamente de 1.5, 3.5 y 3.3. El rango de peso de gónada importante de resaltar en este estudio fue de 8.3 g a 9.8 g que obtuvo un IGS de 3.50, valor que presento una diferencia significativa superior a los demás. Este índice fue menor al encontrado por Komolafe y Arawomo (2007) que fue de 4.06; pero similar al encontrado por Mazrouh y Mahmoud (2009) en Egipto de 3.16. Se observó una relación directa, debido a que peso de la gónada tiene una relación directamente proporcional al IGS.

Tabla 6. Índice gonadosomático (IGS) en función de la época

Época	IGS
1	0,992 ^b
2	1,461 ^a
3	1,567 ^a

*Medias con diferente superíndice son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Las hembras en la primera época, presentaron un valor significativamente diferente de IGS (0.992), siendo inferior a las épocas 2 y 3. Este resultado posiblemente fue porque el primer grupo de reproducción fue expuesto a procedimientos propios de la investigación, como estrés por manipulación, que con más experiencia para los grupos de las siguientes épocas, se vieron menos afectados.

4.2.1. Hembras Que No Presentaron Reproducción

Se formó un grupo con cada hembra de cada época que no desovo a los 10 días, se estudiaron bajo un análisis diferente al de las hembras que presentaron reproducción. Este grupo presentó un promedio de 1.81 para IGS con una desviación estándar de 0.437 y un coeficiente de variación de 24.09%, una dispersión relativamente alta.

Tabla 7. Análisis de varianza para el índice gonadosomático en hembras que no presentaron reproducción

Fuente De Variación	GL	Cuadrado Medio	Pr > F
Valor Genético	1	0,002	0,9058
Peso Gonadal	4	5,705	<,0001
Peso Vivo	4	1,901	0,0034
Época	2	0,008	0,9558

La Tabla 7 muestra que la época y el valor genético no tuvieron efecto sobre el IGS en el grupo que no presentó reproducción. Por el contrario el grupo en el que si hubo reproducción, presentó diferencias significativas (Tabla 2). Debidas al valor genético de la hembra.

Probablemente la razón de que en este grupo no hubo una diferencia significativa entre valor genético e índice gonadosomático, fue que las hembras presentaban diferentes estados de maduración gonadal; para este grupo hubo pesos de gónadas desde 1.2 g (Anexo G.) Hasta 10.8 g (Anexo H), las gónadas que presentaron pesos superiores tenían sus ovarios llenos, por el contrario habían hembras que solo presentaban gónadas con oocitos en formación. Esta variación en el estado gonadal indica que algunas de las hembras a pesar de haber pasado por una etapa de adaptación, no estaban sincronizadas con el grupo de hembras al que pertenecían, hembras con pesos de gónadas mayores pudieron tener un tiempo de maduración menor; por eso mientras la mayoría de las hembras desovaron, ellas no habían llegado al tiempo de la ovoposición. Este comportamiento lo explica Campos-Mendoza *et. al.* (2004) y Coward y Bromage (1998), las hembras de tilapia tienen patrones individuales de desarrollo ovárico y tienden a desovar asincrónicamente cada 3 o 4 semanas, dependiendo de las condiciones ambientales.