



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**Algunos aspectos reproductivos de la tilapia  
en el Bordo Amate Amarillo, Morelos.**

**T E S I S**

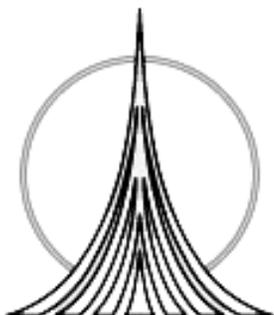
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

**P R E S E N T A :**

**ERIKA ADRIANA AGUILAR LÁZARO**

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. BERTHA PEÑA MENDOZA**



**MÉXICO, D.F.**

**SEPTIEMBRE, 2011.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, que me abrió las puertas y me brindó la oportunidad de ser parte de ella.*

*A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por mi formación profesional, así como el apoyo en cuanto al inmobiliario, laboratorios, biblioteca, equipos, reactivos y materiales que se me otorgaron para concluir satisfactoriamente esta investigación.*

*A la Sociedad Cooperativa del bordo "Amate amarillo" en el estado de Morelos, sin su ayuda el trabajo de campo no se hubiera podido llevar a cabo.*

*A mi directora de tesis la Dra. Bertha Peña Mendoza, por su apoyo y enseñanzas en esta investigación, así como defenderme de los regaños y travesuras del Dr. Gómez, pero sobre todo por ser una gran persona y estar conmigo en esta etapa tan importante de mi vida.*

*Al Dr. José Luis Gómez Márquez, por su aporte intelectual a lo largo de esta investigación, así como apoyo y amistad durante todo este tiempo.*

*Al M. en C. Ernesto Mendoza Vallejo, por ser una gran persona, así como brindarme su apoyo incondicional y compartir sus conocimientos durante esta investigación.*

*A la Biól. Angélica Elaine González Schaff, por ser parte del jurado, así como su aporte en sugerencias y comentarios en este trabajo de investigación.*

*Al Biól. José Luis Guzmán Santiago por sus comentarios, sugerencias y su apoyo en la fase de laboratorio.*

## DEDICATORIAS

***A mi Mamí, por la fuerza con la que luchó día con día para apoyar mis metas, así como su gran amor, comprensión, paciencia, valores inculcados, palabras de aliento y consejos a lo largo de mi vida, “Sabes que este logro también es tuyo”.***

***Al Lic. Rodolfo Martínez Agustín, que siempre me apoyo y motivo a seguir adelante, dando grandes consejos y puntos de vista, “Gracias tío”.***

***A mi amiga Laura Angélica Bautista Caballero, porque siempre me acompaño y apoyo sin importar las circunstancias, me aconsejo y compartió su vida conmigo además de estar en mis alegrías y tristezas, “Te quiero mucho hermana Lauris”.***

***A mi amiga Miriam Felipe Reyes, por compartir tantos momentos perdurables, desde las salidas a campo hasta la finalización de este trabajo, “Te quiero mucho niña cachetona”.***

***A mi amiga Diana Lara Campos, con la cual he compartido años de una linda amistad, que aún a pesar de la distancia siempre estas al pendiente de mi vida, “Te quiero mucho Amiga Poky”.***

***A mi amigo Julio Cesar Briseño Jiménez, por estar en mi vida cuando más lo necesitaba, compartir tantos momentos lindos y apoyarme aún a pesar de la distancia. Porque aunque consideres que no mereces mi cariño, sabes que te lo has ganado “Te quiero mucho mucho niño feo”.***

***A mi amigo Víctor Rodríguez Hernández, porque cuando entre a la facultad fuiste el que siempre me apoyo y consintió, también el primero que me sonsaco jaja y hoy después de años estas a mi lado compartiendo momentos importantes de mi vida, “Te quiero mucho Amigo”.***

***A mi amigo Armando Reyes Jiménez, que son años y años de amistad, que aunque últimamente nos veamos poco, se que cuento con tu apoyo y confianza. “Te quiero mucho”.***

***Y por último, a Héctor Enrique Ramírez Landeros, por su amor, comprensión, apoyo y palabras. Llegaste en esta etapa de mi vida a compartir tantos momentos inolvidables, gracias “Te amo mi amorote”.***

***Gracias a todos por dar alegría a mi vida.***

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>ANTECEDENTES</b>	5
<b>DIAGNOSIS DE LA ESPECIE</b>	9
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b>	11
<b>OBJETIVOS</b>	13
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	14
Fase de campo	14
Fase de laboratorio	15
Fase de gabinete	15
<b>RESULTADOS</b>	20
Relación Longitud Total-Longitud Patrón	21
Relación Peso Total-Longitud Total	22
Proporción Sexual	25
Factor de Condición (C)	26
Talla de Primera Maduración Sexual (P)	26
Fecundidad Relativa	28
Fecundidad Media ( $\Phi_{DS}$ )	28
Índice Gonadosomático (IGS)	29
Índice Hepatosomático (IHS)	29
Madurez Gonádica Machos	30
Madurez Gonádica Hembras	31
<b>Descripción de la Maduración Gonádica</b>	32
Ovarios	33
Testículos	37
<b>Análisis Histológico</b>	39
Ovarios	39
Testículos	43
Análisis multivariado de covarianza	46
Parámetros físico-químicos	48

<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	54
<b>CONCLUSIONES</b>	67
<b>REFERENCIAS</b>	68
<b>ANEXO</b>	75
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	77
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	80

## RESUMEN

En el presente trabajo se investigaron algunos aspectos reproductivos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el bordo Amate amarillo del Estado de Morelos (marzo del 2009 a abril del 2010). De la pesca comercial local con atarraya de abertura de luz de malla de 6.5 cm se obtuvieron un total de 437 peces con una proporción sexual de 2.5:1 macho: hembra ( $\chi^2 = 81.74$ ,  $p < 0.05$ ); la talla de primera madurez sexual para machos fue de 15.84 cm y para las hembras de 16.03 cm de longitud total; la fecundidad media que se estimó fue de 489 ovocitos. El crecimiento de los organismos fue de tipo alométrico negativo. Con base en la madurez gonádica, factor de condición, índice gonadosomático y hepatosomático se establecieron dos períodos de desove: el primero responde a la época de secas y es de febrero a marzo; mientras que el segundo corresponde a la época de lluvias y es de julio a septiembre. Con base en las observaciones macroscópicas y microscópicas, se realizó la descripción morfológica e histológica de testículos y ovarios de los peces. Debido a que los indicadores de la reproducción no cumplen con todos los supuestos, se realizó la aplicación del análisis multivariado de covarianza (ANAMUCOVA), por medio de las comparaciones de las medias ajustadas del peso eviscerado, peso de la gónada y del hígado (como variables dependientes), sexo y tiempo (como factores) y la longitud total (como covariada), de acuerdo al criterio de García-Berthou y Moreno-Amich (1993). Este análisis se utilizó con la finalidad de reforzar los índices gonadosomático y hepatosomático. A partir de los datos obtenidos se calculó la frecuencia porcentual de las fases de madurez gonádica para hembras y machos de manera mensual, para analizar su comportamiento temporal.

Welcomme (1988) menciona que *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) fue introducida en 38 países y el éxito de su desarrollo obedece a su gran capacidad reproductiva, resistencia física (rusticidad), rápida ganancia en talla y peso, resistencia a enfermedades, elevada productividad, tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, habilidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno, así como un amplio intervalo de salinidades y porque tiene alta capacidad de convertir eficientemente subproductos agrícolas en proteínas de alta calidad. La tilapia desde su introducción a México en 1964, ha brindado enormes beneficios de tipo social y económico a las poblaciones rurales ribereñas de estos cuerpos de agua, a tal grado que sostienen grandes pesquerías (Arredondo, 1983); no obstante, se desconoce mucho acerca de los efectos negativos que ha causado su presencia (Fernando, 1991), sobre todo en las comunidades de peces nativos al competir por espacio y alimento y en general, al modificar la estructura trófica de los embalses en donde se ha realizado su introducción (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986).

La producción pesquera nacional en el año 2008 fue de 1, 572,767 toneladas, de las cuales el volumen de mojarra fue de 74,874 toneladas (4.29%). Para el estado de Morelos se tiene una producción 678 toneladas (0.04% de acuerdo a la producción nacional) y 580 toneladas corresponden a mojarra que representa casi el 90% de la producción de Morelos (Anónimo, 2008).

Desde el punto de vista de explotación se ve la importancia que tiene ésta especie para la producción del estado de Morelos, por el cual, se debe conocer su biología y de esta los aspectos relacionados con la reproducción, así como llevar a cabo un uso adecuado del recurso, por medio del estudio de la especie sin afectar su papel dentro del nicho trófico.

Cuando se pretenden tipificar los distintos aspectos que forman parte de las estrategias reproductivas de las especies, es necesario realizar una serie de aproximaciones de distinto carácter y significado, ya que la reproducción es el proceso biológico por el cual las especies se perpetúan y, en combinación con los cambios genéticos aparecen por primera vez características para las nuevas especies (Lagler *et al.*, 1977), dentro de los que resaltan por su importancia:

-Desarrollo reproductivo: Se debe de tomar en cuenta la maduración de las gónadas (ovarios y testículos) para conocer las épocas de máxima maduración y con esto, la etapa de reproducción.

-Índice Gonadosomático: Constituye la expresión más utilizada en el estudio del desarrollo de las gónadas y se utiliza para describir el ciclo reproductivo en peces, al relacionar el peso de la gónada con respecto al peso eviscerado del animal, debido a que la conducta reproductora en la mayoría de los animales es cíclica, en periodos más o menos regulares (King, 1995).

-Fecundidad: expresada como el número de óvulos producidos, parámetro de gran interés no sólo característico de la población sino también como término fundamental en los modelos de dinámica poblacional (Granado, 2002). Varía de acuerdo a muchos factores entre los que se incluyen la edad, el tamaño, la especie y las condiciones ambientales (disponibilidad de alimento, temperatura del agua, temporada del año). (Lagler *et al.*, 1977; Moyle y Cech, 2000).

Por otra parte, varios factores deben ocurrir para que se de la madurez sexual como son: el fotoperiodo, es decir, los cambios que ocurren en la duración del día solar, la temperatura, la cual debe permanecer constante durante un periodo de tiempo por arriba de 24°C (Morales, 1991). El último y más importante es la presencia del sexo opuesto. En el caso de *Oreochromis niloticus*, una vez que los machos han elaborado los nidos, las hembras maduras visitan los territorios de desove y donde influye la coloración que el macho presente para que la hembra lo pueda aceptar y así formar parejas. Las tilapias hembras desovan en repetidas ocasiones, normalmente una hembra realiza de 4 a 5 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 óvulos. (Morales, 1991). Cuando el cortejo se inicia, los peces de ambos sexos presentan desplazamientos laterales y movimientos de la aleta caudal, orientándose en el sentido opuesto uno a otro en la parte más profunda del “nido”. Después del desove, el macho pasa nadando sobre los óvulos expulsando esperma y fertilizándolos. La temporada de desove para este grupo de peces, es de todo el año a intervalos de 30 a 45 días acentuando en marzo, mayo y septiembre (Morales, 1991: Paxton y Eschmeyer, 1995).

Por lo tanto, la evaluación gonádica se puede dar a varios niveles, dependiendo de la información obtenida, entre los que se encuentra el manejo de índices (gonadosomático, hepatosomático y fecundidad) que no son definitivos pero sí específicos y pueden ser usados como indicadores del estado fisiológico, de las características fenotípicas, además de caracterizar la fase reproductiva, algunos requieren del sacrificio del pez pero son mejores indicadores de la madurez gonádica y se recomienda apoyarlos con escalas empíricas de maduración y con métodos histológicos.

Uno de los criterios más sobresalientes con base en los cuales se puede valorar la condición reproductiva de los peces es el histológico, ya que en este nivel se evalúan, corroboran y complementan algunas observaciones realizadas macroscópicamente.

El reconocimiento de la estructura ovárica comienza en la pared del ovario que está formada por tres capas: la externa compuesta por epitelio cúbico-ciliar; la media de tejido conectivo en donde se localizan los vasos sanguíneos que la irrigan y la más interna de naturaleza compacta y fibrosa. El interior está ocupado por el estroma ovárico que es lameliforme y en el se encuentran embebidos los ovocitos, estos a su vez se encuentran en una estructura a la que conocemos como folículo, es importante saber que el desarrollo de los ovocitos se lleva a cabo en esta estructura pues muchos fenómenos como la vitelogénesis, la formación de cubiertas ovulares, el desarrollo de cuerpos lúteos y atrésicos, además de toda la trama

endócrina que resulta del desarrollo del ovocito; no ocurrirían sin la participación de las células que constituyen el folículo. Se puede considerar al folículo como la unidad estructural y funcional del ovario y a pesar de su sencillez morfológica tiene gran importancia, esta formado por el ovocito, por una membrana basal, vasos sanguíneos y las células somáticas que se asocian al desarrollo del ovocito: células foliculares y tecaes además, puede responder a condiciones adversas con fenómenos proliferativos e inflamatorios. La formación de los folículos ocurre cada vez que hay proliferación ovogonial y las ovogonias se transforman a ovocitos, las células a su vez quedan rodeadas de células foliculares y forman un folículo primordial (Benítez, 1991, 1992; Rodríguez, 1992).

En la estructura histológica de la gónada masculina de los peces óseos, lo primero que salta a la vista es la manera en que se desarrollan las células germinales en una estructura conocida como cisto o espermatocisto. Esta estructura tiene una organización muy peculiar, pues las células forman cúmulos compactos de células que están en el mismo estado de desarrollo, así se pueden encontrar cistos de espermatocitos primarios, de secundarios, de espermátides y de espermatozoides. Las espermatogonias no forman cistos, sino unos cúmulos distintivos que se localizan hacia la periferia del testículo (Benítez, 1991).

Por lo tanto, el evaluar las condiciones de la biología reproductiva de la especie en sistemas acuáticos de alta productividad como los bordos o microreservorios, es importante para poder establecer un adecuado manejo del recurso, así como una mejor conservación del mismo de una manera sustentable.

Entre los estudios realizados sobre la reproducción y madurez de tilapia (*Oreochromis* spp.) se encuentran los siguientes trabajos:

Mendieta (1985), realizó un estudio preliminar del índice gonadosomático de *Tilapia aurea* donde registró que el periodo de mayor reproducción se lleva a cabo en los primeros seis meses del año; decayendo paulatinamente a los últimos meses en que la mayoría de la población se encuentra en reposo ó en maduración.

García y Phillip (1986), realizaron cortes histológicos de las gónadas de *Oreochromis aureus* y caracterizaron cinco estadios microscópicos, de los cuales se analizó la composición de éstos en gónadas con diferentes fases de desarrollo observando que en el ovario se preparan simultáneamente dos desoves en un periodo de 4-6 semanas.

Vásquez *et al.* (1988), al realizar un estudio para la formación de bancos de reproductores de *Oreochromis aureus* en Cuba; determinaron la edad y talla de primera maduración en cultivo intensivo, donde la edad de primera maduración sexual fue de 5 meses para ambos sexos, con una longitud total de 18.2 cm para machos y 17.14 cm para hembras.

Little (1989), describió que los estanques de reproducción poblados con tilapias pequeñas (peso medio de hembras 207 g) producían más larvas que los estanques poblados con tilapias grandes (peso medio de hembras 262 g). Ambos tamaños procedían de la misma cohorte, de manera que estos efectos no estaban relacionados con la edad.

Smith *et al.* (1991), reportaron que los reproductores de un año de edad son significativamente más productivos que los de 2 años. Las tilapias más viejas mantienen más huevos y larvas en sus bocas, por lo que la frecuencia de puesta es inferior. Estos descubrimientos coinciden con los reportados en numerosos estudios, en donde se reporta que las tilapias de un año son las más adecuadas como reproductores. Por el contrario, algunos investigadores estiman que las hembras reproductoras de dos años (con pesos entre 150—250 g) son más productivas que las de un año (Hulata, 1997).

Gómez-Márquez *et al.* (1993), reconocieron tres épocas reproductivas para la especie (primavera, verano e invierno) con máxima intensidad en verano (julio); así mismo, reportan que el intervalo de longitud patrón de los organismos fluctuó entre 0.4 a 13.0 cm. Mencionan, además que la fecundidad en las hembras está relacionada con la longitud patrón y que el número de óvulos por desove individual fue menor a 500.

Admassu (1996), en su artículo sobre la época de reproducción de *Oreochromis niloticus* en el Lago Awassa (Etiopía), estudio a los organismos en relación con una serie de factores ambientales, registrando en *Oreochromis niloticus* dos picos de reproducción, uno durante enero-marzo y otro secundario durante julio-septiembre, los valores del índice gonadosomático coincidieron con la época de reproducción. La reproducción en ambos periodos coincidió con el aumento del fitoplancton. Por lo que en el lago, el aumento de

fitoplancton puede ser una de las señales ambientales para estimular el desove en el caso de *Oreochromis niloticus*, mientras que otros factores como el sol y la lluvia, pueden tener funciones indirectas a través de sus efectos sobre la hidrología y la hidrografía del lago que en última instancia resulta en cambios en la biomasa de fitoplancton.

Graaf *et al.* (1999), mencionan que con base en los experimentos realizados con hembras, estas maduran a la edad de 2-4 meses y un peso de 30-50g. Así mismo, mencionan que el desarrollo de los ovocitos es el indicador para la determinación de la primera talla de maduración, mismo que se encuentra representado por el índice gonadosomático. También mencionan que no se encontró ninguna relación entre el factor de condición y la talla de primera madurez o la fecundidad relativa.

Hafedh *et al.* (1999), trabajaron con tilapias a las que se les suministró alimento con cinco dietas de diferentes niveles de proteína 25, 30, 35, 40 y 45% en peso seco. Los peces alimentados con dietas de los más altos niveles de proteína mostraron un mejor crecimiento y conversión alimenticia en proporción menor que los niveles de proteína. Los machos maduraron cuando tenían 14 semanas de edad, mientras que las hembras maduraron después de 18 semanas. En todos los tratamientos, el desove se inicio cuando los peces tenían 22 semanas de edad. La menor talla al iniciar la reproducción fue para los machos de 9.2 cm y para las hembras de 8.1 cm.

Barbieri *et al.* (2000), al trabajar con *O. niloticus*, mencionan que la talla de primera maduración sexual fue estimada en 76 mm y que el periodo de mayor intensidad de desove fue en los meses de octubre y noviembre, ya que en ese periodo se presentaron mayores temperaturas, así como factores exógenos que desencadenan la reproducción.

Campos-Mendoza *et al.* (2003), evaluaron el comportamiento reproductivo de *O. niloticus* en cuatro diferentes fotoperiodos y concluyen que los días largos fueron los más adecuados para la producción de huevos, además se mostró que el fotoperiodo de 18L:6O (Luz: Oscuridad) fue el más rentable para aumentar la producción de huevos, ya que este ensayo dio la más alta fecundidad y el número de desoves, lo que sugiere que estos peces aumentaron la proliferación como una estrategia reproductiva, así como una reducción de la ISI (intervalo de desove). La SGR (tasa de crecimiento) ha demostrado que los peces criados en cortos fotoperiodos tuvieron el mayor aumento de peso, pero la más baja fecundidad y el número de desoves, así como un más largo ISI.

Gómez-Márquez *et al.* (2003), mencionan que los peces alcanzan la primera madurez sexual a los 117 mm de longitud en hembras y 120 mm de longitud total en machos. El número de óvulos presentes en las gónadas osciló entre 104 y 709 con diámetro de 1 000 a 3 000  $\mu\text{m}$ , lo cual hace que esta especie tenga baja fecundidad pero alta fertilidad por los hábitos de reproducción que presenta la especie. Además de que se detectaron dos períodos (verano e invierno) de máxima actividad reproductiva.

Biswas *et al.* (2005), en su trabajo sobre la manipulación del fotoperiodo con efectos en parámetros reproductivos como la fecundidad, obtuvieron como resultado que el número promedio de óvulos por desove fue de 1213 a 1943, cabe destacar que el estudio se llevo en un sistema controlado.

Peña-Mendoza *et al.* (2005), señalan que la madurez sexual se alcanza a los 151.3 mm (hembras) y a los 152.0 mm (machos) de longitud total. Así mismo, se detectaron dos épocas de reproducción para la especie, durante la estación lluviosa (agosto) y durante la estación de secas (febrero), lo que coincide con el incremento de biomasa fitoplanctónica.

Bayuelo y Sanz (2005), al trabajar en la reproducción de *Oreochromis niloticus* en el Jardín Zoológico de la Habana, mencionan que las tallas y pesos de machos y hembras halladas en esta investigación no alcanzaron valores altos y difieren de lo reportado por Basurto (1995) para la misma especie en un estudio realizado en la Laguna de Chila, México. Concluyen que dicha diferencia puede deberse a que los ejemplares colectados por éstos autores se encontraban en vida libre con mejores condiciones (espacio amplio, alimentación, temperatura, pH, oxígeno disuelto), mientras que los del presente trabajo se encuentran en cautiverio en condiciones muy limitadas, por ejemplo: altas densidades en los estanques, por lo cual se puede presentar competencia por el alimento y muy poco espacio para su crecimiento.

García (2006), en el estudio en dos sistemas acuáticos del Estado de Morelos, con un total de 518 peces para la presa Emiliano Zapata, reportó una proporción sexual de 5.7:1 macho: hembra ( $\chi^2 = 127.02$ ,  $p < 0.05$ ); donde la talla de primera madurez sexual para machos fue de 12.42 cm y para las hembras de 13.87 cm de longitud patrón; la fecundidad media que se estimó fue de 426 folículos. Para el lago Coatetelco se analizaron 390 organismos registrándose una proporción sexual de 1.6:1 macho: hembra ( $\chi^2 = 11.45$ ,  $p < 0.05$ ); la talla de primera madurez sexual para machos fue de 12.47 cm y para las hembras de 12.58 cm de longitud patrón, se estimó la fecundidad media de 423 folículos. El crecimiento de los organismos para ambos sistemas fue de tipo alométrico negativo. Con base de la madurez gonádica, factor de condición, índice gonadosomático y hepatosomático se establecieron dos periodos de desove en ambos sistemas: el primero responde a enero a febrero (época de secas) y es para ambos sistemas; mientras que el segundo responde a la época de lluvias (junio a julio).

Komolafe y Arawomo (2007), al trabajar con *Oreochromis niloticus* en el embalse Opa Nigeria, donde se capturaron 1 430 especímenes, se registró que el diámetro de los óvulos varía entre 2.12 mm y 2.69 mm, con una media de  $2.47 \pm 0.02$ . En las hembras el índice gonadosomático fue  $1.34 \pm 0.01$  (0.12-4.06,  $n = 637$ ) y de  $0.39 \pm 0.02$  (0.03-1.67,  $n = 789$ ) para los machos. La proporción de sexos fue de aproximadamente 1:1. La fecundidad reportada fue de 73 a 1810 óvulos por hembra con una media de 815.

Baltazar (2007), menciona que al trabajar con tilapias en el Perú, las hembras de mayor peso producen más óvulos por puesta que las de menor peso. Sin embargo, las de menor peso producen más óvulos por unidad de peso vivo.

Gómez-Márquez *et al.* (2008), determinaron la edad y el crecimiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) utilizando 1039 individuos colectados en un lago tropical somero de México, de enero a diciembre de 1993. El intervalo de longitud patrón para las hembras fue de 9,0 hasta 16,5 cm y en machos 8,9 a 14,8 cm. En la relación longitud-peso se obtuvo  $P=0.1207L^{2.469}$ . La proporción de sexos (hembra: macho) fue de 1:1 ( $X^2 = 0.02, p > 0.05$ ).

Sastré (2008), en su análisis biológico-pesquero de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Morelos, obtuvo una proporción sexual de 8.77: 1 (macho: hembra), el tipo de crecimiento es alométrico negativo. La talla de primera maduración sexual en machos osciló entre 15.07cm a 17.9 cm y para las hembras de 16.6 a 17.9cm. Respecto al Índice Gonadosomático y Hepatosomático se encontró que se reproduce en dos épocas: julio a septiembre y de enero a marzo. Utilizó el análisis multivariado de covarianza (ANAMUCOVA) para reforzar los datos obtenidos a partir de los índices gonadosomático y hepatosomático.

García (2011), en su estudio de la reproducción de *Oreochromis niloticus* en el estado de Morelos, reportó tallas de 15 a 25.5cm de longitud total y 67.1 a 252.6 g de peso total para el caso de los machos, mientras que para las hembras de 9.2 a 20.8 cm de longitud total y 15 a 147.4 g de peso total. La proporción sexual fue de 3.9:1 (macho: hembra), presentando la población un crecimiento de tipo alométrico negativo. La talla de primera madurez para hembras es de 17.2 cm y para machos de 16.8 cm. De acuerdo al índice gonadosomático y hepatosomático *Oreochromis niloticus* presenta dos picos de reproducción: de diciembre-enero y otro de abril-junio. La fecundidad media fue de 718 ovocitos con diámetros que van de 300 a 3200 $\mu$ m.

Peña-Mendoza *et al* (2011), al trabajar con *Oreochromis niloticus* en la Presa Emiliano Zapata, Morelos, de los 518 organismos reportaron la longitud total entre 9.9 y 20.9 cm y 17.2 a 158.7 g de peso para la población total, obteniendo una proporción sexual de 5.8:1 (macho: hembra). El índice gonadosomático para machos mostró que el desove se realizó de mayo a agosto de 2004 (época de lluvias) y en febrero de 2005 (época de secas); en las hembras se llevó a cabo en julio de 2004 (lluvias) y en febrero de 2005 (secas).

Con base en los estudios revisados, cabe mencionar que la reproducción de esta especie en cierto modo sigue un patrón de acuerdo a la abundancia de recursos como el fitoplancton, aunque su ciclo reproductivo se ve alterado por las condiciones ambientales, de ahí el hecho de llevar a cabo este estudio para observar el comportamiento de *Oreochromis niloticus* en el Bordo Amate amarillo por medio de indicadores biológicos. Además, de que se contribuirá para obtener información para la producción de *Oreochromis niloticus*, ya que esta representa una fuente de recurso económico en esta zona.

La familia Cichlidae se caracteriza por presentar peces de coloración muy atractiva, principalmente nativos de África, América Central y la parte tropical de Sudamérica. Los ciclidos se diferencian de la gran mayoría de los peces dulceacuícolas por la presencia de un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal, son de cuerpo alargado, alto y muy comprimido, poseen una boca terminal, oblicua y de labios gruesos, rebasan los 30 cm de longitud, aunque alcanzan la madurez sexual a los 11 a 12 cm (Torres-Orozco, 1991), poseen un tipo de reproducción bisexual, o sea que los espermatozoides y los óvulos se desarrollan en individuos machos y hembras separados. La diferenciación de estas glándulas sexuales (gónadas) en la tilapia, ocurre en etapas tempranas de su desarrollo, esto es, en los 15 a 20 días de edad. El macho puede ser más grande que la hembra (Figura 1), algunas veces con la edad y el desarrollo se presenta en los machos tejidos grasos en la región anterior y dorsal de la cabeza, esto es que presentan un cierto dimorfismo sexual (Morales, 1991). De acuerdo con Berg y modificado por Trewavas (1983), las tilapias existentes en México se clasifican de la siguiente forma (SEPESCA, 1988):



**Figura 1. *Oreochromis niloticus*.**

Reino	Animalia
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata
Superclase	Gnathostomata
Clase	Actinopterygii
Orden	Perciforme
Suborden	Percoidei
Familia	Cichlidae
Género	Oreochromis
Especie	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1757).

*Oreochromis niloticus* posee espinas dorsales totales que van de 15 a 18, el número de radios dorsales totales es de 11 a 13, 3 espinas anales, de 9 a 11 radios anales: tiene de 30 a 32 vértebras. Las mandíbulas de los machos adultos, no son muy grandes (longitud de la mandíbula inferior 29-37% de la longitud de la cabeza) (Trewavas, 1983). La característica más distintiva es la presencia frecuente de rayas verticales en toda la profundidad de la aleta caudal (Eccles, 1992; Teugels y Thys 2003). La parte inferior del hueso faríngeo es más largo que ancho, la parte anterior se encuentra dentada; los dientes exteriores: premolar maxilar, los dientes de la mandíbula interior: tricúspide, en la parte posterior dientes faríngeos premolar y robustos; de 3 a 4 hileras de dientes en las mandíbulas (raramente 6); micro-branquiespinas presentes; con escamas cicloide (Teugels y Thys, 2003). Posee coloración en el margen de la aleta dorsal gris o negro, se presentan barras verticales en la aleta caudal de 7 a 12 (Trewavas, 1983).

El Municipio de Ayala se localiza en la parte central del Estado de Morelos, colinda al norte con los municipios de Yautepec, Cuautla y Yecapixtla; al sur con Tepalcingo y Tlaquiltenango; al este con Temoac y Jonacatepec; al oeste con Tlaltizapán, además de que este municipio forma parte de la zona conurbada intermunicipal con Cuautla, Yecapixtla y Atlatlahucan (INEGI, 2001). Se ubica entre los 18° 46' latitud norte y los 98° 59' longitud oeste, a 1220 metros sobre el nivel del mar. La extensión territorial del Municipio es de 345.688 kilómetros cuadrados, lo cual representa el 6.97% con relación a la superficie de Estado (Figura 2).

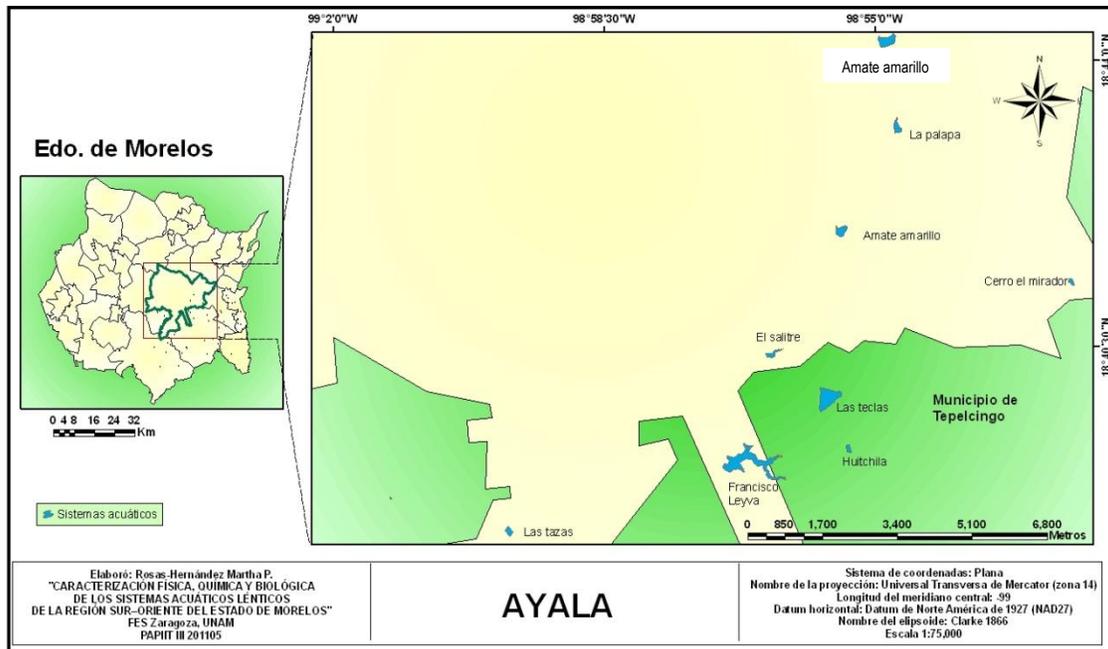


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

## Topografía

El Municipio de Ayala forma parte de los fértiles valles del Plan de Amilpas, los cerros más importantes con los que cuenta son: El Tenayo, El Aguacate, El Jimil, y El Cerro Prieto que comprenden altitudes que alcanzan los 1500 metros sobre el nivel del mar.

Las pendientes más pronunciadas se encuentran ubicadas en la parte noroeste del territorio municipal en los límites con el Municipio de Jonacatepec, donde se localiza el Cerro de Tencuancoalco con curvas de nivel que registran los 1,600 m.s.n.m. De tal forma que la mayor parte del municipio cuenta con curvas de nivel que van del 5 al 10%, ya que sus pendientes no exceden los 1,500 m.s.n.m., este tipo de pendientes son aptas para el crecimiento urbano (INEGI, 2001).

## **Hidrología**

Este Municipio se encuentra dentro de la Sub-Cuenca Intermedia del Río Grande de Amacuzac, además de beneficiarse con la afluencia de la microcuenca del Río Cuautla.

Los ríos Hospital y Calderón se juntan al este de la Cabecera Municipal continuando su curso hacia el sur pasando por las poblaciones de Abelardo Rodríguez, Olintepéc y Moyotepec en donde recibe las aguas de la Barranca de Ahuehueyo.

Al oriente se encuentran las Barrancas de La Cuera, Los Papayos, y Los Guayabos que atraviesan por Tlayecac continuando hacia el sur pasando por Xalostoc, uniéndose posteriormente con el Río Cuautla, el cual sigue su curso por las poblaciones de San Vicente de Juárez y Tecomalco para desembocar en el Río Amacuzac y finalmente en el Río Balsas (INEGI, 2007).

La fuente de abastecimiento de mayor importancia que tiene el Municipio es el Río Ayala que nace en el ojo de agua de Casasano y la Barranca de Xochimilcatzingo, además de alimentarse de los escurrimientos de otra barrancas y posteriormente unirse al Río Cuautla. De igual manera cuenta con algunos manantiales como el Axocoche, El Colibrí y El Platanal, así como vasos de agua en Aneneuilco, Xalostoc, Moyotepec y la presa en Palo Blanco (INEGI, 2007).

## **Geología**

La geología permite conocer como se encuentran conformados los suelos y de acuerdo con ello el Municipio de Ayala pertenece a la era Cenozoica de los períodos Terciario y Cuaternario y la Mesozoica al período cretácico; el 21.17% del territorio municipal esta conformado por roca sedimentaria principalmente arenisca (ar-cg), 18.11% conglomerado (cg) y 20.51 caliza (cz), presentando un suelo Vértisol pélico fino (Vp/3), (INEGI, 2007).

## **Clima**

El clima predominante en el Municipio es el cálido subhúmedo (Awo (w) (i') gw") que es característico de los lugares que se localizan en alturas menores de 1400 msnm, tiene una precipitación media anual de 800 mm y una temperatura media anual de 24 °C, el período de lluvias se presenta durante los meses de junio a octubre y el viento tiene una dirección de norte a sur (INEGI, 2007).

## **OBJETIVOS GENERAL**

Reconocer las características reproductivas de *Oreochromis niloticus* y su relación con los factores físico-químicos del cuerpo de agua "Amate amarillo".

### **Particulares:**

- Obtener la relación peso-longitud y la variación temporal de factor de condición de *Oreochromis niloticus*.
- Determinar la talla de primera maduración sexual.
- Determinar la época de reproducción de *Oreochromis niloticus* por medio de indicadores biológicos.
- Realizar el análisis histológico de las gónadas de la tilapia y reconocer las estructuras.
- Analizar las condiciones físico-químicas del agua del sistema y su relación con la reproducción de *Oreochromis niloticus*.

El método comprendió de tres fases:

- **FASE DE CAMPO**
- **FASE DE LABORATORIO**
- **FASE DE GABINETE**

## **FASE DE CAMPO**

Se efectuaron muestreos mensuales a partir de marzo del 2009 a abril del 2010, que constaron de 30 organismos tomados de la pesca comercial en el sistema con atarraya de luz de malla de 6.5 cm; a cada uno de los animales se les realizó la siguiente biometría; longitud total (Lt), longitud patrón (Lp), altura (A), con un ictiometro de  $\pm 0.01$  cm de precisión, además con una balanza digital de 0.1g de precisión se tomó el peso total (Pt), posteriormente se realizó la disección al pez para exponer las gónadas y determinar la madurez sexual con base en la escala propuesta en Holden y Raitt (1975). Se continuó con las mediciones de peso de las gónadas (Pg), peso eviscerado (Pe) y peso del hígado (Ph). Por último las gónadas de cada espécimen se fijaron con formol neutralizado con borato de sodio (Muñetón-Gómez *et al.*, 2000).

Se determinaron *in situ* los siguientes parámetros: temperatura ambiental y del agua con un termómetro de décimas de -1 a 51°C; la transparencia o visibilidad por medio del disco de Secchi, así como el pH, conductividad y sólidos disueltos con un multiparámetros marca Hanna modelo HI 991300. Asimismo, se tomó una muestra de agua con la botella Van Dorn de 2L de capacidad para determinar:

- Oxígeno disuelto mediante el método de Winkler
- Dureza total y de calcio por titulación con EDTA
- Alcalinidad por el método de indicadores

(Wetzel y Likens, 1991; APHA, AWWA y WPCF, 1992).

## **FASE DE LABORATORIO**

A los ovarios se les midió la longitud total y diámetro, al ovario izquierdo que se encontraba fijado con formol neutralizado, primero se lavó con agua corriente por aproximadamente media hora para eliminar el formol y posteriormente se deshidrató gradualmente, para colocar los órganos en parafina (marca Paraplast) líquida por aproximadamente 72 horas y finalmente colocar los órganos en pequeños bloques de parafina para la realización de los cortes histológicos de 7 a 10  $\mu\text{m}$ , mismos que se tiñeron con hematoxilina-eosina (Rodríguez, 1992 y Muñetón-Gómez *et al.*, 2000).

Al ovario derecho se le realizó el conteo y la medición de los óvulos con la ayuda de un estereoscopio con cámara fotográfica adaptada y su programa computacional Motic Images Plus 2.0.

A los testículos se les registró la longitud total y diámetro y se les preparó igual que los ovarios para ser incluidos en parafina, para la realización de cortes histológicos de 7 a 10  $\mu\text{m}$ ; los cortes se tiñeron con hematoxilina eosina (Muñetón-Gómez *et al.*, 2000).

Una vez obtenidos los cortes histológicos, se procedió al reconocimiento de las estructuras en los diferentes estadios de maduración del ovario y del testículo con ayuda de un microscopio óptico.

## **FASE DE GABINETE**

### **Relación Peso-Longitud**

Para determinar que tipo de crecimiento presentó la especie se utilizó la relación peso-longitud. Primeramente se determinó cual longitud es la que se emplearía con el peso, es decir, si la longitud patrón o la longitud total, para lo que se realizó un análisis de correlación ( $p < 0.05$ ).

A lo largo de la vida del pez, el peso corporal varía como una potencia de la longitud (relación alométrica). Así es posible establecer la relación a través de la ecuación de la curva.

$$P = aL^b$$

Donde:

- P = peso total (g).
- L = longitud patrón de los organismos (cm).
- a y b = constantes.

Esta expresión puede transformarse en una ecuación lineal, mediante el uso de logaritmos decimales, obteniéndose

$$\text{Log } P = \log a + \log b L$$

Donde:

$\log a$  = la ordenada en el origen.

$\log b$  = la pendiente de la recta.

Debido a que la talla es una magnitud lineal y el peso proporcional al cubo de la talla, si el pez al crecer mantiene la forma, se dice que el crecimiento es isométrico y  $b$  es igual a 3. Cuando esto no ocurre, es decir, no se mantiene la proporcionalidad, se dice que el crecimiento es alométrico y el valor es distinto de 3 (Pauly, 1984), por lo cual se le aplicó una prueba de t-student para comprobar dicho valor.

### **Factor de condición**

Este índice está basado en la relación que guarda la longitud total o patrón del pez, con su peso y explica fundamentalmente el grado de bienestar que guarda en relación con el cambio en la corpulencia durante su vida (King, 1995).

El modelo usual de expresión del valor de condición es la ecuación matemática usado por Clark (1928) citado por Nikolsky (1963), que recomienda utilizar el peso eviscerado en lugar del total y así evitar el efecto debido al estado reproductivo de los organismos (Granado, 2002).

$$C = \left( \frac{Pe}{L^b} \right)$$

Donde:

$C$  = coeficiente de condición.

$Pe$  = peso eviscerado del pez.

$L$  = longitud patrón.

$b$  = pendiente de la relación peso longitud.

Dicho análisis se realizó por sexos para observar el comportamiento de manera mensual a través del tiempo de muestreo.

### **Proporción sexual**

Se obtuvo la proporción sexual mensual y total para los organismos mediante la prueba de  $\chi^2$  ( $p < 0.05$ ), para determinar si existe o no alguna diferencia significativa entre dicha proporción, de acuerdo a lo establecido por Nikolsky (1963).

### **Talla de la primera maduración sexual (P)**

Por medio del modelo logístico se obtuvo la longitud media de maduración sexual (P) que se define como la longitud a la cual el 50% de todos los individuos son sexualmente maduros (King, 1995).

$$P = \frac{1}{1 + \exp \left[ r \left( L - L_m \right) \right]}$$

Donde:

- P = proporción de peces maduros.
- L = longitud patrón.
- L<sub>m</sub> = longitud media.
- r = pendiente.

### **Índice Gonadosomático (IGS)**

El índice gonadosomático se utiliza con frecuencia para seguir el ciclo reproductivo de una especie durante todo el año en intervalos mensuales o menos, este índice, se basa en que el peso de la gónada con respecto al peso del organismo guarda una relación directa que explica el estadio de desarrollo gonádico, ya que alcanza el valor máximo antes del desove (Lagler *et al.*, 1997). Se determinó mediante la siguiente expresión:

$$IGS = \frac{P_g}{P_e} 100$$

Donde:

- P<sub>g</sub> = peso de la gónada.
- P<sub>e</sub> = peso del pez eviscerado.

### **Índice Hepatosomático (IHS)**

Es la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del pez y es directamente proporcional al ciclo reproductivo (Granado, 2002). Se expresa de la siguiente manera:

$$IHS = \frac{Ph}{Pe} 100$$

Donde:

Ph = peso del hígado.

Pe = peso del pez eviscerado.

### **Fecundidad relativa**

Se considera como el número de óvulos producido por unidad de masa de la hembra. La cual es expresada:

$$F = a X^b$$

Donde:

X = Longitud patrón o total (cm) o peso total (g).

a y b = constantes de la relación peso-longitud.

Para su determinación se realizó una regresión entre los datos de longitud patrón o total, peso total y número de óvulos.

## **Fecundidad Media**

Es el número promedio de óvulos en el ovario antes del desove, que se determinó por medio de la siguiente expresión:

$$\Phi_{DS} = \frac{1}{n \sum_{j=1}^n \hat{A}L_j^b}$$

Donde:

- n = número de peces involucrados en el análisis.
- A y b = parámetros estimados de la regresión lineal de log del número de folículos y el log de longitud.
- L = longitud patrón.

## **Parámetros físico-químicos**

Para conocer el comportamiento de estos parámetros durante el periodo de muestreo y principalmente en el periodo de reproducción de la especie se realizó un análisis exploratorio de datos (Salgado, 1992), posteriormente se realizaron gráficas de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad total y dureza contra el tiempo.

## **Histología**

Una vez obtenidos los cortes, se procedió al reconocimiento en los diferentes estadios de maduración de *O. niloticus* de la anatomía microscópica de las gónadas (ovario y testículo) con ayuda de un microscopio óptico con aumento de 10X en objetivos y 10X en los oculares.

Para este estudio la muestra fue de 437 peces capturados entre marzo del 2009 y abril del 2010, tomados de la pesca comercial con atarraya de luz de malla de 6.5 cm en el bordo Amate amarillo, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

El intervalo de tallas obtenido osciló de 91 a 215 mm de longitud patrón y de 22.1 g a 263 g de peso total para el total de la población. Para los machos se registraron longitudes que van de 91 mm a 215 mm y pesos de 22.1 g a 263 g, mientras que para las hembras se registraron datos de 117mm a 180 mm para la longitud patrón, con pesos de 52,2 g a 183.4 g (Tabla 1).

**Tabla 1. Longitud patrón, Longitud total y peso total de machos y hembras de *O. niloticus* obtenidos durante el periodo de trabajo.**

	Machos			Hembras		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
<b>Longitud patrón(mm)</b>	91	215	139.3	117	180	148.5
<b>Longitud total (mm)</b>	120	261	190.5	148	222	185
<b>Peso total (g)</b>	22.1	263	95.65	52.2	183.4	85.39

### Relación longitud total-longitud patrón

Con los datos obtenidos de los peces de este sistema se realizó una regresión lineal entre las longitudes (total y patrón) y se determinó que existe una alta correlación ( $r^2 = 0.905$ ,  $p < 0.05$ ) entre las dos variables, por lo que se puede predecir una variable a través de la otra, de acuerdo al modelo obtenido (Figura. 3).

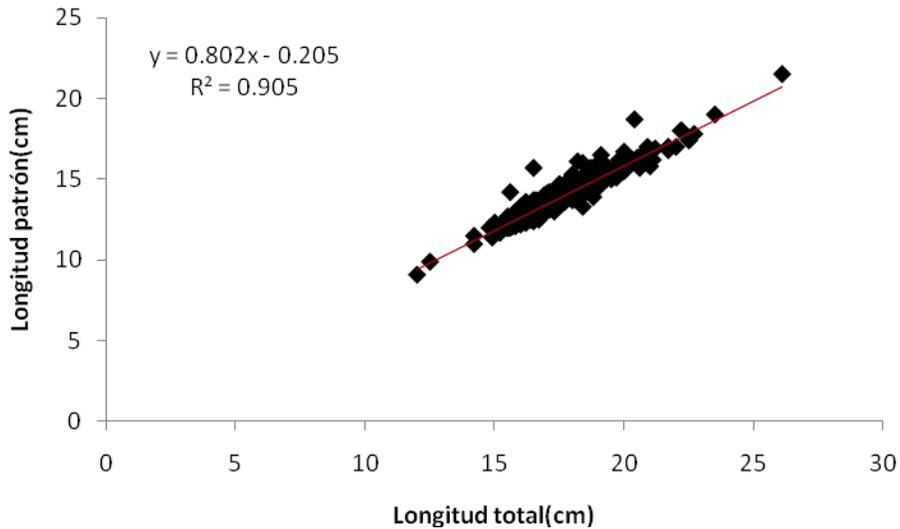


Figura 3. Relación longitud total-longitud patrón de la población total de *Oreochromis niloticus*

### Relación peso-longitud

Para conocer el tipo de crecimiento que tiene la especie se realizó el análisis de correlación entre el peso total, la longitud total y la longitud patrón, para comparar los valores obtenidos y determinar que longitud se ajusta mejor para el análisis, pero fue necesario realizar el diagrama de dispersión para observar el comportamiento de las variables.

**Tabla 2. Matriz de correlación para la longitud total y longitud patrón con el peso total de *O. niloticus*.**

	Log. L. total	Log. Peso total	Log. P. eviscerado	Log. L. patrón	Log. Altura
Log. L. total	1				
Log. Peso total	0.9187	1			
Log. P. eviscerado	-0.0108	-0.0113	1		
Log. L. patrón	0.9516	0.8938	-0.0184	1	
Log. Altura	0.7238	0.7282	0.0317	0.7936	1

Como se puede observar en la Tabla 2, respecto a la relación entre la longitud y el peso, ésta fue más alta cuando se relacionó la longitud total y el peso total, por lo que para los análisis posteriores se utilizara ésta longitud.

Las gráficas obtenidas de la relación Longitud total-Peso total para *Oreochromis niloticus*, muestran que los datos tienen un comportamiento de tipo potencial para ambos sexos y la población total, con coeficientes de correlación de  $r^2 = 0.845$ ,  $p < 0.05$  para la población total (Figura 4), de  $r^2 = 0.855$ ,  $p < 0.05$  para machos (Figura 5) y de  $r^2 = 0.782$ ,  $p < 0.05$  para hembras (Figura 6).

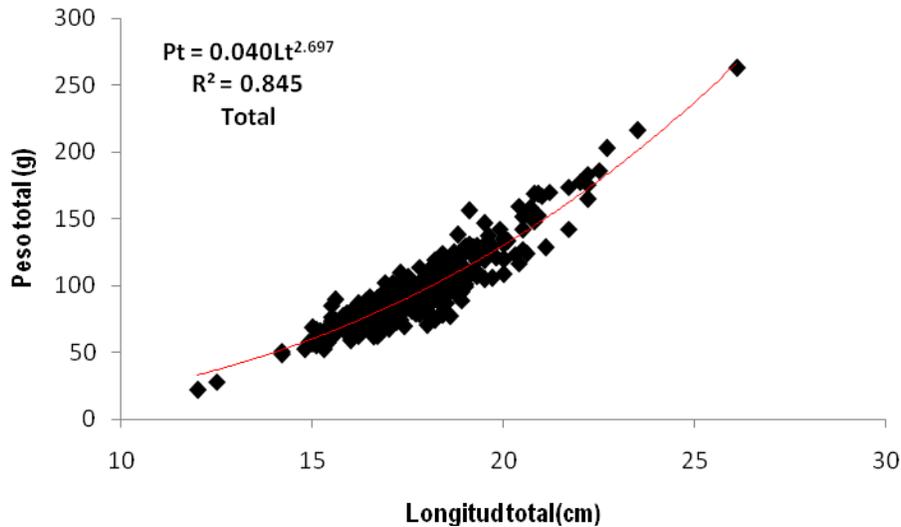


Figura 4. Relación peso-longitud de la población total de *Oreochromis niloticus*

Al aplicar la prueba de t student al valor de la pendiente para la población total, se obtuvo que esta presentó un tipo de crecimiento alométrico negativo ( $b = 2.697$ ,  $t\text{-Student} = 2.7334$ ;  $p < 0.05$ ), lo cual indica que la población crece más en longitud que en peso (Figura 4).

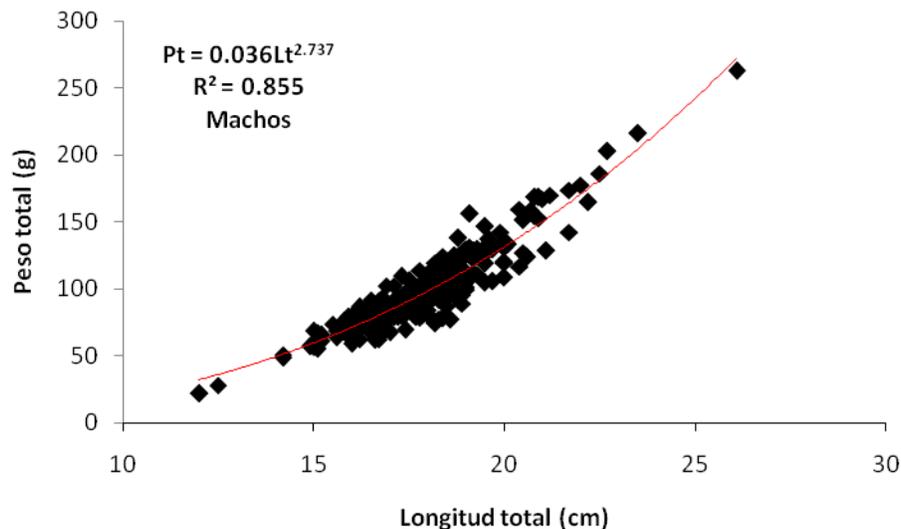


Figura 5. Relación peso total-longitud total para la población de machos de *O. niloticus*

Resultados similares se obtuvieron al analizar el valor de la pendiente de machos y hembras en donde el valor fue  $b= 2.737$  y  $2.489$  respectivamente, ya que al aplicar la prueba de t student se obtuvo un valor de  $t=2.7862$ ;  $p< 0.05$  y  $t=2.4998$ ;  $p< 0.05$  respectivamente, lo cual indica que ambos crecen más en longitud que en peso.

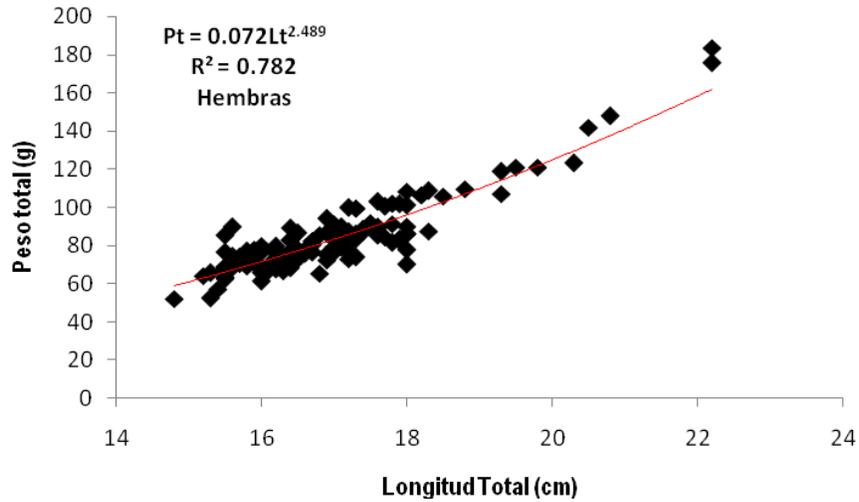


Figura 6. Relación peso total-longitud total para la población de hembras de *O. niloticus*

## Proporción sexual

De los 437 peces obtenidos de la captura comercial, se obtuvieron 124 hembras (28.4%) y 313 machos (71.6%), por lo que la proporción sexual de la población fue de 2.5:1 (machos: hembras). Los machos dominaron durante casi todo el estudio a excepción de noviembre y diciembre donde prevalecieron las hembras (Figura 7).

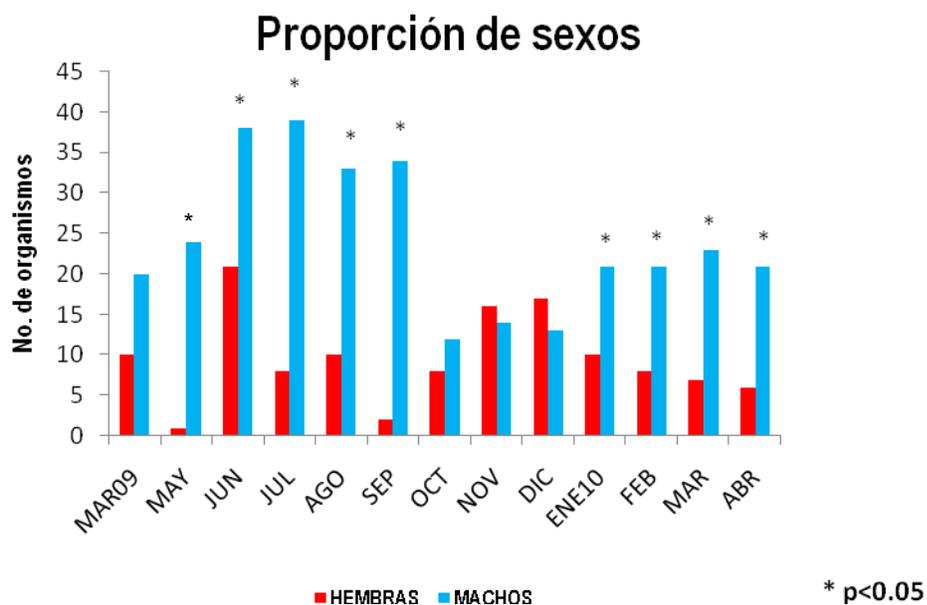


Figura 7. Proporción de sexos durante el periodo de muestreo

## Factor de condición

El comportamiento del factor de condición de Clark para el caso de las machos (Cm) presentó un máximo en los meses de mayo, septiembre y febrero y un mínimo en los meses de octubre, diciembre, marzo y abril. Mientras que para las hembras (Ch), los picos máximos fueron en los meses de marzo, junio, julio y febrero, por lo que los picos mínimos se presentaron en los meses de mayo, octubre, diciembre y marzo del 2010 (Figura 8). La tendencia general fue de registrar los valores más altos en época de secas cálidas y lluvias y los mínimos durante la temporada de secas frías.

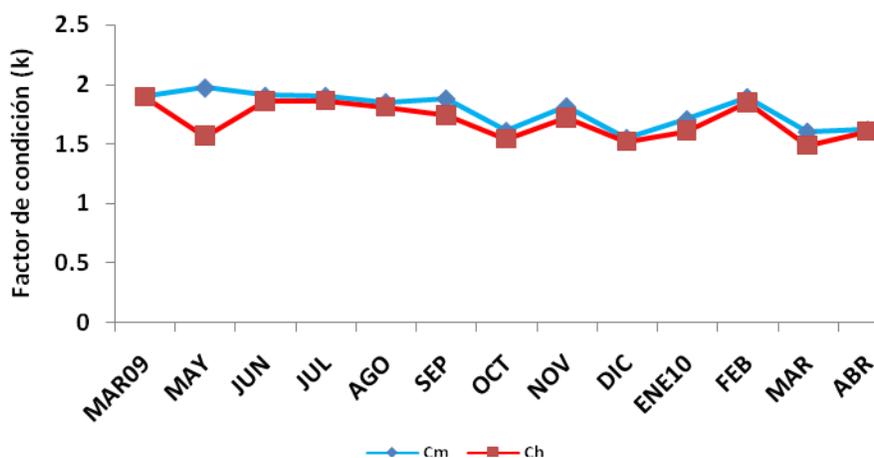


Figura 8. Factor de condición de Clark para la población de hembras (Ch) y machos (Cm)

## Talla de primera madurez sexual

Por lo que se refiere a la talla de primera madurez para los machos (Figura 9) y para hembras de *Oreochromis niloticus* (Figura 10), se puede observar que alcanzan dicha madurez cuando tienen una longitud total de 15.84 cm y de 16.03 cm respectivamente, por lo que los machos son aún más precoces que las hembras.

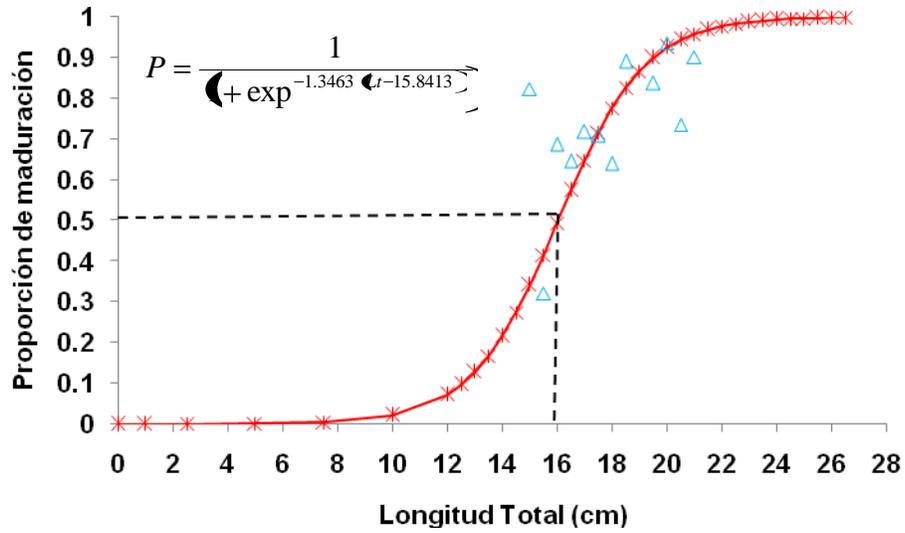


Figura 9. Talla de primera madurez sexual para machos de *Oreochromis niloticus*

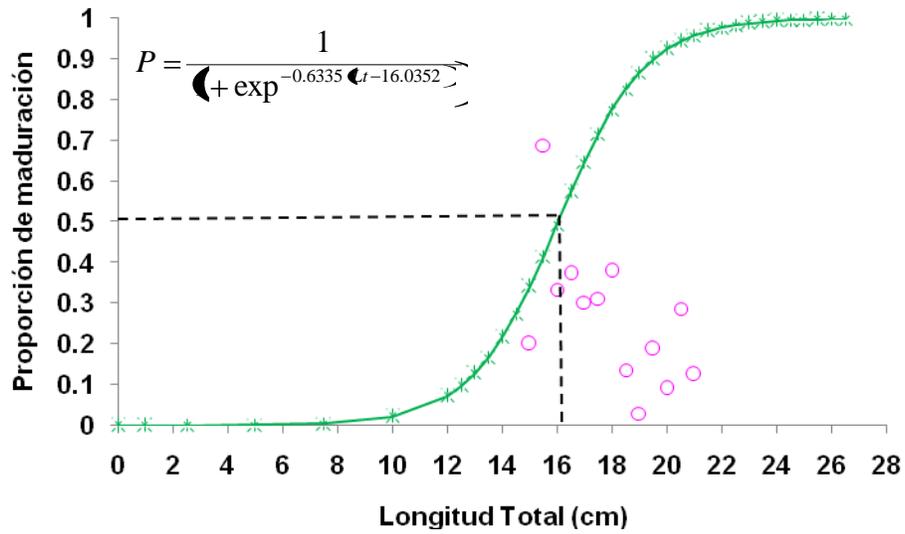


Figura 10. Talla de primera madurez sexual para hembras de *Oreochromis niloticus*

## Fecundidad

La fecundidad relativa se calculó utilizando 109 hembras (88% de las 124 capturadas); se realizó un análisis de regresión entre el número de folículos y el peso total de manera agrupada. En la Figura 11, se observa la correlación entre la fecundidad y el peso total fue mayor ( $r^2=0.187$ ) que la correlación con la longitud total ( $r^2=0.136$ ). Así mismo, se puede observar de manera general que la tendencia es que a mayor peso total de la hembra, mayor cantidad de folículos.

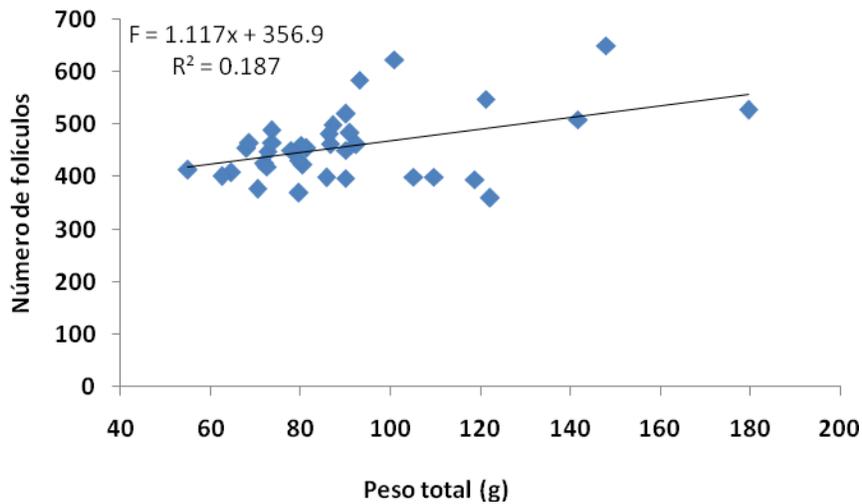


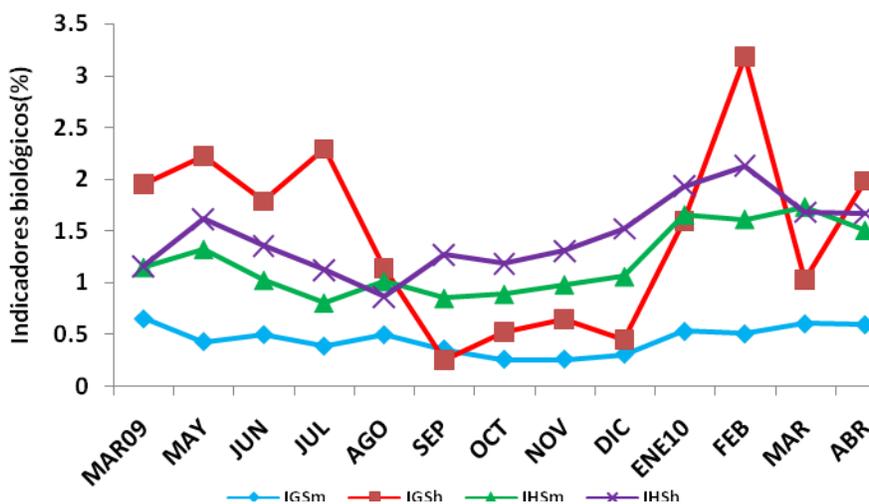
Figura 11. Comportamiento de la fecundidad relativa para hembras de *Oreochromis niloticus*

## Fecundidad media ( $\Phi_{DS}$ )

Como resultado de la fecundidad media se obtuvo un total de 489 ovocitos, teniendo un conteo mínimo de 429 y un máximo de 594, con diámetros que van de 700 a 4500  $\mu\text{m}$ .

## Indicadores biológicos (IGS y IHS)

Para determinar la época de reproducción se emplearon los picos del índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IHS).



**Figura 12. Variación mensual del IGS e IHS en hembras y machos durante el periodo de muestreo**

De acuerdo al IGS de hembras, se pueden observar que los picos de reproducción, se encuentra en mayo y julio (época de lluvias) y en febrero (época de secas); mientras que para los machos, existe un pico en agosto (época de lluvias) y otro de marzo (época de secas). Con lo que respecta al IHS, se puede observar que tanto para hembras como para machos tienden a comportamientos similares (Figura 12).

### Distribución de madurez gonádica

Con respecto a la distribución de la madurez gonádica a lo largo del periodo de muestreo para los machos, se observa en la Figura 13 que el estadio inmaduro (II), se presenta a lo largo de todo el periodo de muestreo en gran proporción, mientras que el estadio III, se pueden observar sus máximos en los meses de marzo a agosto y de enero a abril. Finalmente, el estadio de madurez IV se registró en los meses de marzo a mayo y septiembre del 2009, así como abril del 2010.

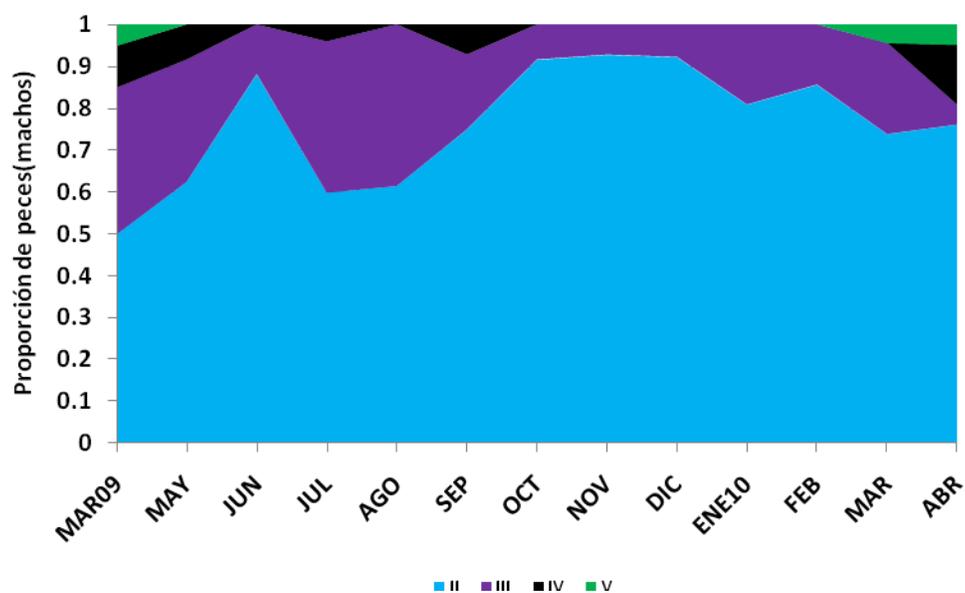
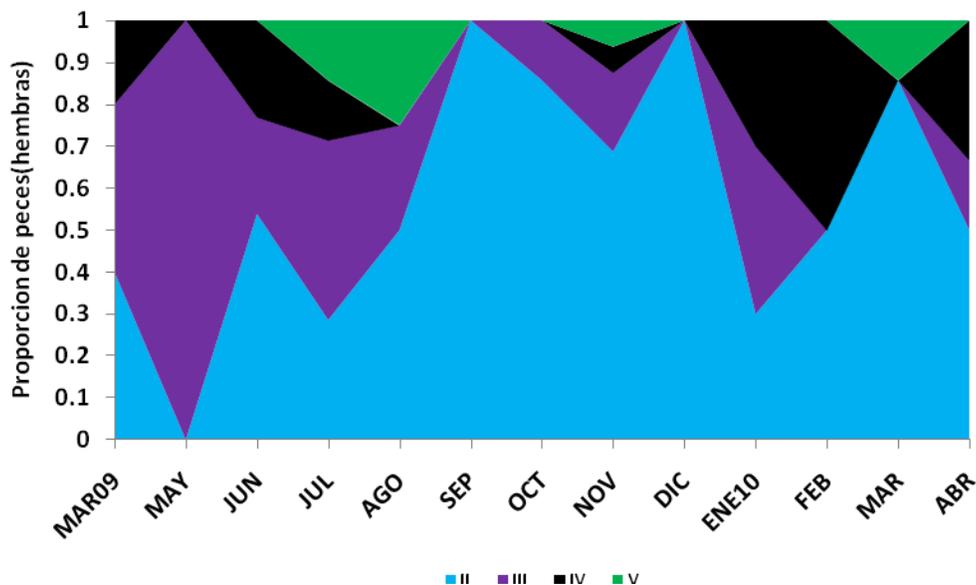


Figura 13. Distribución de la madurez gónadica para la población de machos



**Figura 14. Comportamiento de la madurez gonádica para la población de hembras**

Con respecto a la distribución de la madurez gonádica de las hembras durante el periodo de muestreo, se observa en la Figura 14 que también el estadio II es el que se encuentra con mayor porcentaje, ya que se presenta en todos los meses. De manera general, se puede considerar, de acuerdo a los datos obtenidos, la presencia de dos épocas adecuadas para la reproducción una en junio y julio de 2009 y otra de enero y febrero de 2010, la cual esta representada por el estadio de madurez IV.

### Maduración gonádica de *Oreochromis niloticus*

Las gónadas de *O. niloticus* se clasificaron con base a la escala de estadios gonádicos propuesta para *Rastrelliger* (citada en Holden y Raitt, 1975) y modificada para *Oreochromis niloticus* (Peña-Mendoza *et al.*, 2011) en donde se describen V fases de desarrollo gonádico de acuerdo a las características macro y microscópicas de ovarios y testículos que a continuación se describen (Figura 15).



Figura 15. Desarrollo gonádico de *Oreochromis niloticus*

#### Estadio I

El estadio I es de inmadurez, por lo que no es posible distinguir entre ovarios y testículos debido a que aun no se han diferenciado las células germinativas (Figura 15).

## OVARIOS

Las gónadas femeninas de *O. niloticus* se encuentran distribuidas en cuatro estadios de desarrollo (Figura 16), los cuales se describen a continuación:

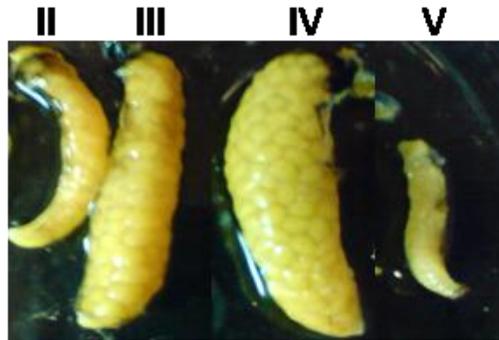


Figura 16. Desarrollo gonádico de los ovarios de *Oreochromis niloticus*

### Estadio II

En la figura 17, se pueden observar folículos de 2 tamaños: unos que se encuentran en el intervalo de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  y otros entre 1001-2000  $\mu\text{m}$ . Las longitudes registradas para los ovarios fueron de 0.8 cm a 2.7 cm, con diámetros de 0.10 a 0.22 cm. Los folículos presentaron una coloración de translúcida a amarilla.



Figura 17. Folículos en estadio II de *Oreochromis niloticus* (10X)

### Estadío III

En el ovario de estadío III, se identificaron 3 tamaños de folículos: los pequeños en el intervalo de 100 a 1000  $\mu\text{m}$ , los medianos con un intervalo de 1001-2000  $\mu\text{m}$  y los grandes en un intervalo de 2001 a 3000  $\mu\text{m}$  o más. Las longitudes de los ovarios oscilaron entre los 2.57 y 3.51 cm, con diámetros de 0.47 a 0.92 cm (Figura 18). Los folículos presentan una coloración amarillenta.

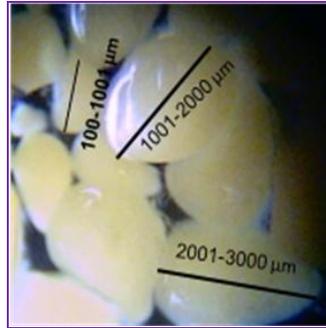


Figura 18. Folículos presentes en el estadío III de maduración (10X)

### Estadío IV

En el ovario de estadío IV de maduración, se identificaron 2 tamaños de folículos: los pequeños en el intervalo de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  y los grandes en un intervalo de 2001 a 3000  $\mu\text{m}$ . Las longitudes de los ovarios oscilaron entre 2.8 y 4.34 cm, con diámetros de 0.19 a 0.90 cm (Figura 19). Los folículos siguen presentando coloración amarillenta.



Figura 19. Folículos presentes en el estadío IV de maduración (10X)

### Estadio V

En el ovario de estadio V (Figura 20), se identificaron 2 tamaños de folículos: los pequeños en el intervalo de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  y los grandes en un intervalo de 2001 a 3000  $\mu\text{m}$ , hay que tener presente que los folículos grandes son pocos (cuando mucho 10 folículos). Las longitudes registradas para los ovarios oscilan de los 2.19 a 3.48 cm y un de diámetro de 0.21 a 0.35 cm.

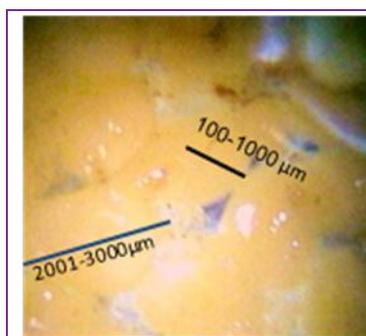


Figura 20. Folículos en el estadio V de recuperación (10X)

Tabla 3. Longitud, diámetro y peso de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez Gonádica	Longitud (mm)			Diámetro (mm)			Peso (g)		
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
II	16.3	25.2	20.75	1.2	4.1	2.65	0.2	0.7	0.45
III	31.4	39.7	35.55	5.2	7.1	6.15	1.3	3.8	2.55
IV	38	40.2	39.1	7.4	23.6	15.5	1.8	4.2	3.0
V	25	28.6	26.8	2.6	3.2	2.9	0.3	0.4	0.35

En la Tabla 3 se observan los valores registrados para las gónadas femeninas en cuanto a su longitud, diámetro y peso con base en el estadio gonádico, en donde se aprecia que al aumentar el estadio de maduración incrementan los valores a excepción del estadio V que se puede considerar como un estadio que muestra que ya se realizó el proceso reproductivo.

En la Tabla 4 se muestra el tamaño así como el promedio del número de ovocitos registrados en cada una de las etapas de maduración siendo los ovocitos en estadio II los que muestran un mayor número por el tamaño que presentan, el cual se reduce al aumentar la etapa de maduración (III, IV y V), en donde se aprecia que al aumentar el tamaño disminuye el número por el espacio que ocupan en la gónada.

**Tabla 4. Variación y longitud de los ovocitos de *Oreochromis niloticus*.**

Estado de maduración	Intervalo del número de ovocitos	Promedio del número de ovocitos	Tamaño de ovocitos ( $\mu\text{m}$ )
II	358-960	433	100-1000
	1013-1965	578	1001-2000
III	358-960	492	100-1000
	1013-1965	226	1001-2000
	2006-3097	247	2001-3000
IV	358-960	492	100-1000
	1013-1965	158	2001-3000
V	358-960	245	100-1000
	1013-1965	8	2001-3000

## TESTÍCULOS

A continuación se describen las características de las gónadas masculinas de *O. niloticus* en cada uno de los estadios (Figura 21):

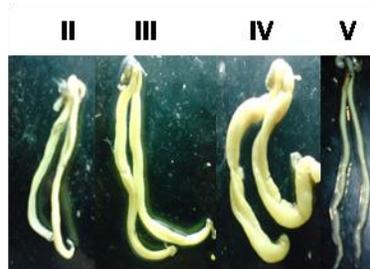


Figura 21. Desarrollo gonádico de los testículos de *Oreochromis niloticus*

### Estadio II

En este estadio de desarrollo se observan testículos de color blanco opaco (Figura 21), que tienen longitudes que van de 2.32 a 3.8 cm, con diámetros de 0.07 a 0.4 cm.

### Estadio III

En este estadio de maduración se observa una coloración de blanco a crema de los testículos (Figura 21), presentando longitudes entre 3.12 a 4.5 cm, con diámetros de 0.13 cm a 0.47 cm.

### Estadio IV

El estadio IV de reproducción, los testículos presentan una coloración blancuzcos crema, lechosos (Figura 21), presentando longitudes que van de 3.54 a 7.92 cm y diámetros de 0.32 a 0.69 cm.

### Estadio V

El estadio de post-desove (Figura 21) los testículos mostraron coloración crema, con paredes flácidas, las longitudes registradas fueron de 3.19 a 5.95 cm, con diámetros de 0.22 a 0.33 cm.

Por último, en la Tabla 5 se observan los valores registrados para las gónadas masculinas en cuanto a su longitud, diámetro y peso con base en el estadio gonádico, en donde se aprecia que al aumentar el estadio de maduración incrementan los valores a excepción del estadio V que se puede considerar como un estadio que muestra que ya se realizó el proceso reproductivo.

**Tabla 5. Longitud, Diámetro y Peso de testículos de *O. niloticus*.**

Madurez Gonádica	Longitud (mm)			Diámetro (mm)			Peso (g)		
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
II	16.2	43.9	30.05	0.4	4.1	2.25	0.1	0.2	0.15
III	27.6	48.4	38.0	1.8	4.2	3.0	0.3	0.5	0.4
IV	34.6	59.5	47.05	1.9	6.8	4.35	0.5	1.3	0.9
V	36.8	37.4	37.1	0.3	2.2	1.25	0.2	0.4	0.3

## ANÁLISIS HISTOLÓGICO

### OVARIOS

#### Estadio II

En la Figura 22 se muestra la presencia de folículos en previtelogenésis (1), los cuales se identifican por tener un núcleo prominente, céntrico y citoplasma basófilo. En el folículo previtelogénico (Figura 22), se observan las células de la teca y las células de la granulosa, las cuales están por encima de la zona pelúcida. El citoplasma en esta etapa es altamente basófilo. El núcleo o vesícula germinal se caracteriza por ser prominente y céntrico además de presentar una gran cantidad de nucléolos en la periferia y cromosomas plumosos los cuales desaparecerán cuando la vesícula germinal se rompa al final de la maduración (Nagahama, 1983; Wallace y Selman, 1981; Estrada y Uribe, 2002).

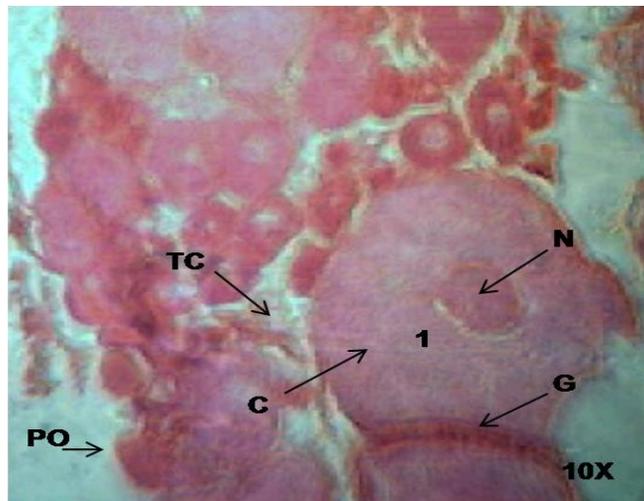


Figura 22. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II, donde se identifica citoplasma (C), núcleo (N), folículos en previtelogenésis (1), células de la granulosa (G), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO), (10X).

### Estadío III

En el estadío III el ovario se encuentra en etapa de maduración, donde se puede observar el folículo en vitelogenénesis avanzada (Figura 23) diferenciando las capas foliculares, las cuales están separadas por la membrana basal; además se observa la membrana vitelina la cual se encuentra por debajo de las células de la granulosa. En esta etapa se presenta la acumulación de vesículas vitelinas las cuales ocupan prácticamente todo el citoplasma y determinan el aumento de tamaño del folículo, además el citoplasma se vuelve acidófilo.

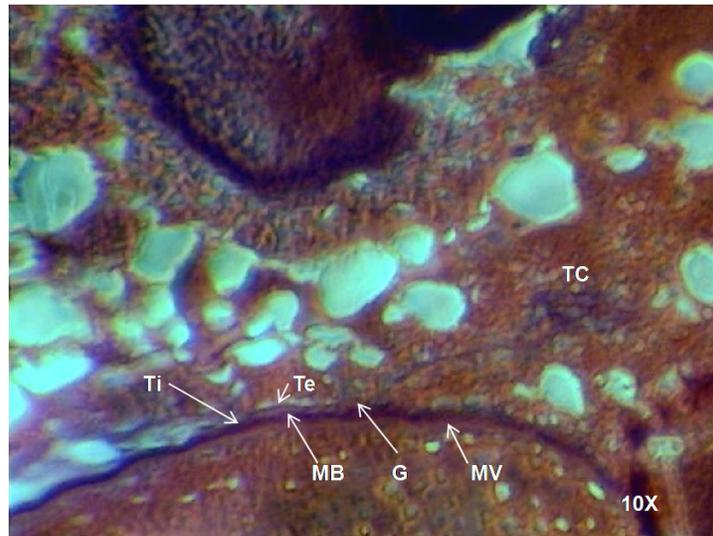


Figura 23. Micrografía de folículos vitelogenéticos de ovario en estadío III, se observan células de la teca interna (Ti) y externa (Te), tejido conjuntivo (TC), membrana basal (MB), células de la granulosa (G) y membrana vitelina (MV), (10X).

## Estadio IV

Como se puede apreciar en la Figura 24 los folículos han completado el crecimiento vitelogenético aumentando considerablemente su tamaño, sin embargo se observan folículos pequeños (1) entre los folículos maduros (2) mismos que ocupan prácticamente todo el ovario, en los que se aprecia que las capas foliculares (teca y granulosa) se han compactado. En esta etapa el núcleo migra hacia el polo animal del folículo, los cromosomas se condensan y se emite el primer cuerpo polar (Nagahama, 1983).

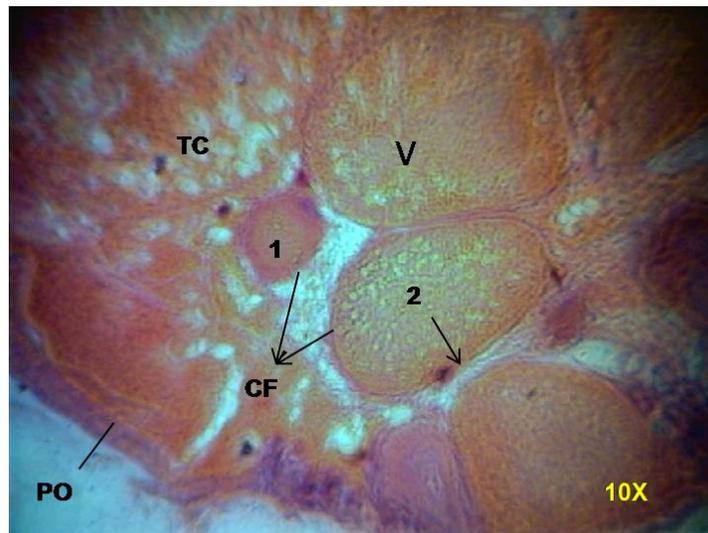


Figura 24. Micrografía de corte transversal donde se observan folículos maduros en estadio IV, se observan folículos previtelogenéticos (1) y folículos maduros (2), además de tejido conjuntivo (TC), capas foliculares (CF), vitelo (V) y pared del ovario (PO) (10X).

El ovocito esta ocupado casi en su totalidad por gránulos de vitelo, las células de la teca y la granulosa se han transformado en una sencilla capa, el tejido conjuntivo se ha reducido y la membrana vitelina es más evidente (Figura 25). Cabe mencionar que durante la ovulación esta capa de células se desprende para permitir la salida del óvulo.

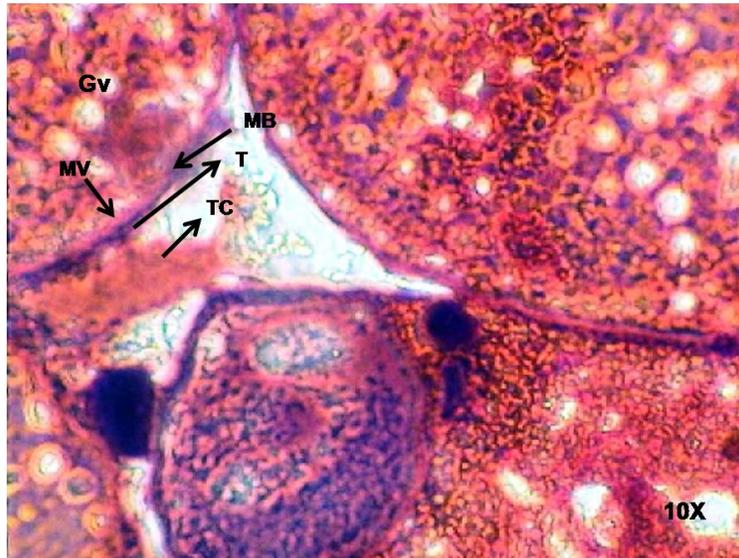
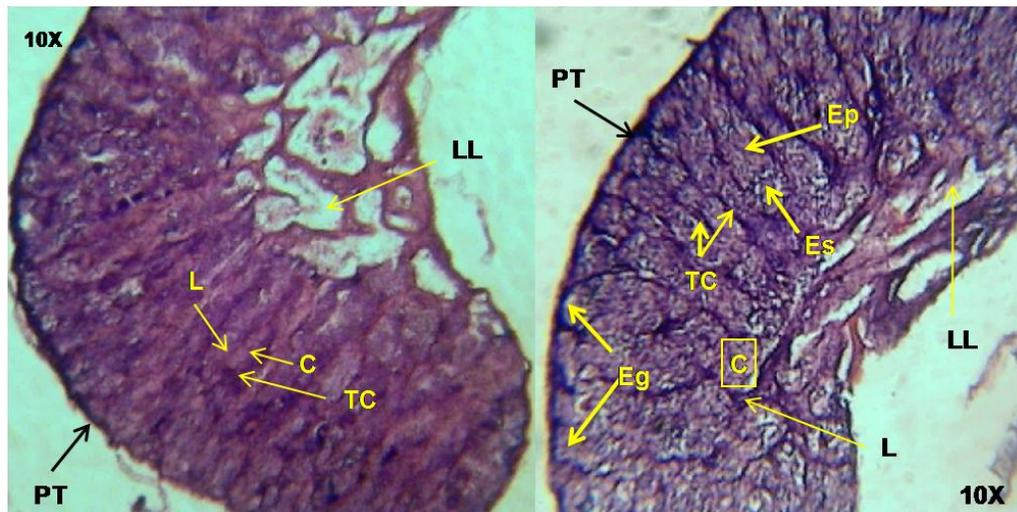


Figura 25. Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV, se observan membrana vitelina (MV), membrana basal (MB), gránulos de vitelo (Gv), células de la teca (T) y tejido conjuntivo (TC) (10X).

## TESTÍCULOS

### Estadío II

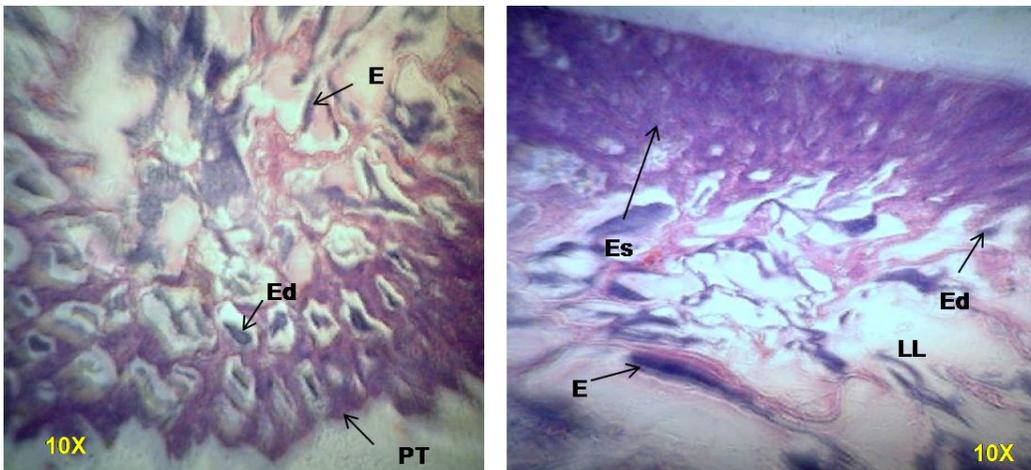
En las micrografías del testículo (Figuras 26 y 27) se presentan las características de un testículo del tipo lobular, en donde se observa que esta rodeado por la pared testicular o membrana basal, del cual parten capas de tejido conjuntivo “trabéculas”, las cuales dan soporte, entre las trabéculas se localizan los lóbulos que a su vez forman cistos que contienen células germinales en un mismo estadio de desarrollo, estos están formados de espermatocitos primarios y secundarios pero aun no existen espermátidas. A partir de su situación basal, las espermatogonias proliferan y ocurre la espermatogénesis hacia al centro del lumen lobular o conducto deferente, esto es, en dirección radial. La presencia del lumen lobular es mínima para este estadio. Cabe señalar que las espermatogonias no forman cistos y solo se localizan en la periferia del testículo (Nagahama, 1983; Estrada y Uribe, 2002).



Figuras 26 y 27. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio II, en las que se identifican lumen lobular (LL), pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ep) y espermatocitos secundarios (Es) tejido conjuntivo (TC), lóbulos (L), cistos (C) (10X).

### Estadio III

Conforme avanza el desarrollo de la gónada en estadio III se presentan varias características: en la periferia del testículo se observa que se localiza una gran cantidad de cistos, en menor cantidad y cerca del lumen lobular se localizan las espermatidas las cuales se diferencian a espermatozoide. El lumen lobular o conducto deferente ocupa menos de un tercio del testículo. Posteriormente se observa que en la periferia del testículo los espermatocitos primarios y secundarios se han reducido en cantidad y las espermatidas han aumentado su presencia cerca del lumen lobular, la presencia de los espermatozoides es mucho más evidente ya que estos forman acúmulos en el centro del lumen lobular o conducto deferente, el cual ocupa cerca de la mitad del espacio interior del testículo.

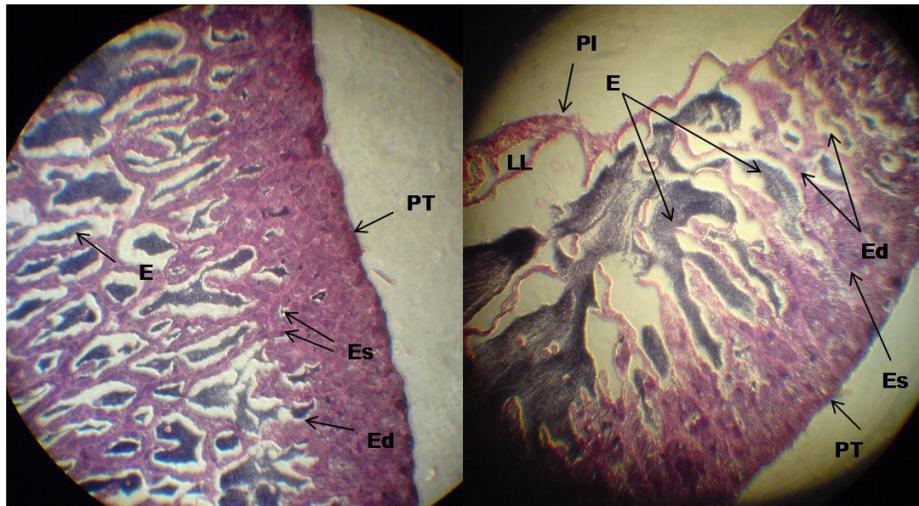


Figuras 28 y 29. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III, se identifica los espermatozoides (E), la pared testicular (PT), lumen lobular (LL), espermatocitos secundarios (Es) y espermatidas (Ed) (10X).

En las Figuras 28 y 29 se observa que en la periferia del testículo existe una evidente reducción de los espermatocitos primarios y secundarios, las espermatidas han aumentado, los espermatozoides son más evidentes, y esto está relacionado con el aumento del lumen lobular el cual ocupa cerca de dos tercios del espacio interior del testículo.

## Estadio IV

Para este estadio se observa el crecimiento del lumen lobular ya que este ocupa más de dos terceras partes del testículo, debido a la acumulación de espermatozoides lo que conlleva a que los espermatocitos sean relegados a la periferia del testículo. En las Figuras 30 y 31 se puede ver que las espermatidas ocupan prácticamente toda la periferia del lumen lobular, los espermatozoides se encuentran por todo el espacio interior del testículo por lo que se pueden encontrar acúmulos cerca de la pared testicular para después migrar al lumen lobular.



Figuras 30 y 31. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan espermatozoides (E), espermatocitos secundarios (Es), pared testicular (PT), espermatidas (Ed), lumen lobular (LL) y pared del lumen lobular (PI) (10X).

### Análisis multivariado de covarianza (ANAMUCOVA)

Consiste en hacer comparaciones de medias ajustadas, para ello este método utiliza los valores de las variables de peso transformadas y ponderadas como variables de respuesta al mantener a la longitud o a la talla como una variable covariada. En las Figuras 32 y 33 se muestran los valores de las medias ajustadas del peso total, peso del hígado, peso eviscerado y peso de la gónada para *Oreochromis niloticus*, en donde se corrobora que el proceso reproductivo se lleva a cabo en dos periodos al año, una en la época de secas (mayo) y otra en la época de lluvias (noviembre) para el caso de las hembras, mientras que para el caso de los machos se presentan en los meses de mayo (época de secas) y en septiembre-octubre (época de lluvias).

El comportamiento del peso total y eviscerado se puede considerar como la característica de condición que presentan los machos y hembras, el cual disminuye durante el inicio de la época reproductiva (mayo-junio).posteriormente incrementa hasta decaer en la siguiente época reproductiva que es en el mes de octubre, para el caso de los machos. Para el caso de las hembras este decae en el mes de mayo (época de reproductiva), posteriormente tiene un aumento y presenta un decline hasta el siguiente pico reproductivo (octubre y abril).

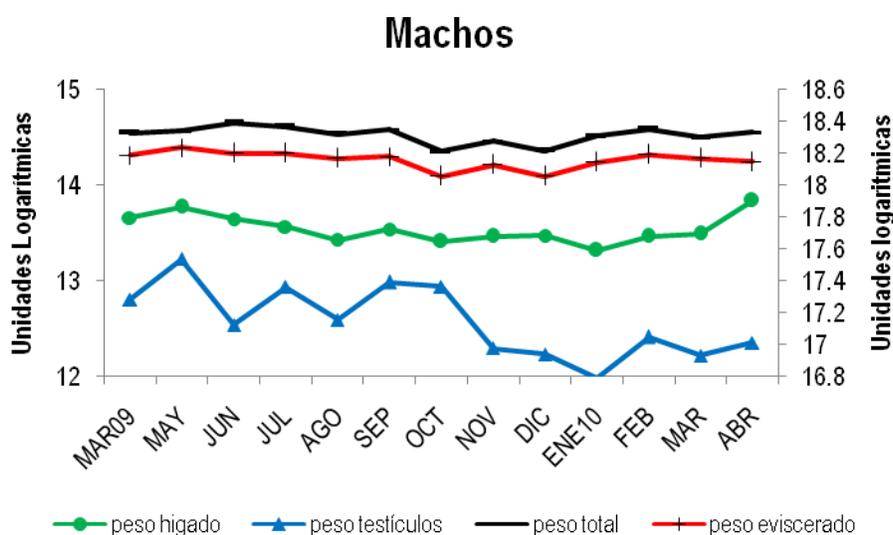
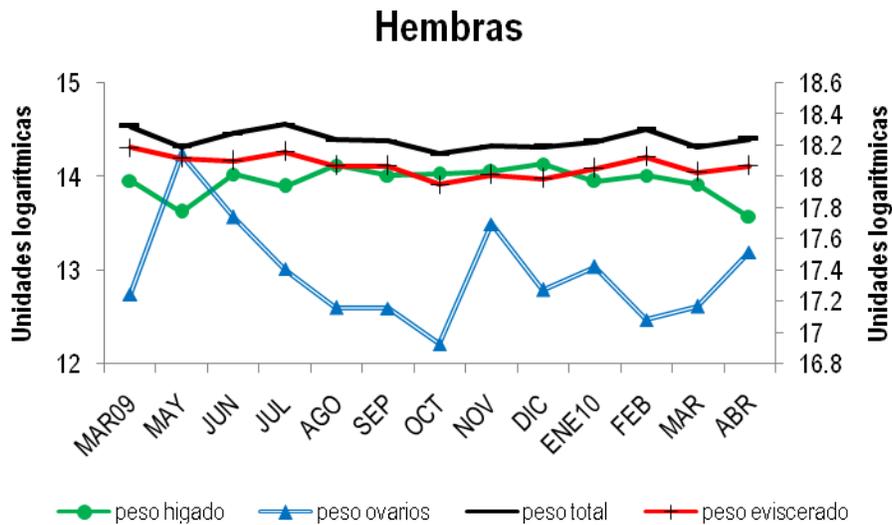


Figura 32. Variación mensual de las medias del peso total, peso del hígado, peso eviscerado y peso de los testículos de *O. niloticus*.

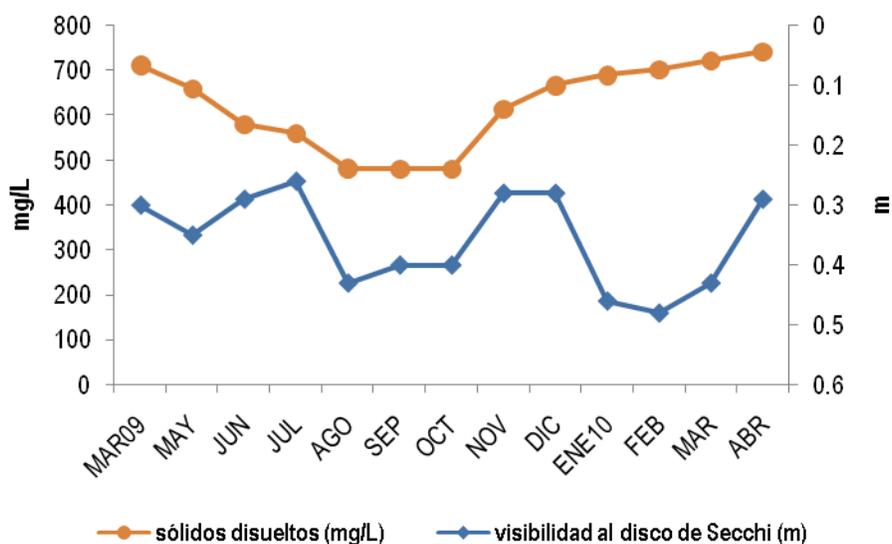
En cuanto al peso de la gónada se presentan dos máximos que concuerdan con la época de reproducción, uno en el mes de mayo (para ambos sexos) y otro en la época de lluvias (septiembre y octubre) para el caso de los machos, mientras que las hembras presentan un segundo pico en el mes de noviembre. El comportamiento del peso de la gónada con respecto al peso del hígado es inverso, ya que los máximos para el peso del hígado se presentan poco antes del proceso reproductivo, como indicador de que se están produciendo las vitelogeninas, proteínas necesarias para la maduración de los óvulos y posteriormente decae el peso del hígado y se incrementa el del ovario. Esto mismo puede suceder para los testículos; sin embargo, existe poca información al respecto sobre como se da el proceso de maduración en los mismos.



**Figura 33. Variación mensual de las medias del peso total, peso del hígado, peso eviscerado y peso de los ovarios de *O. niloticus*.**

## Parámetros físico-químicos

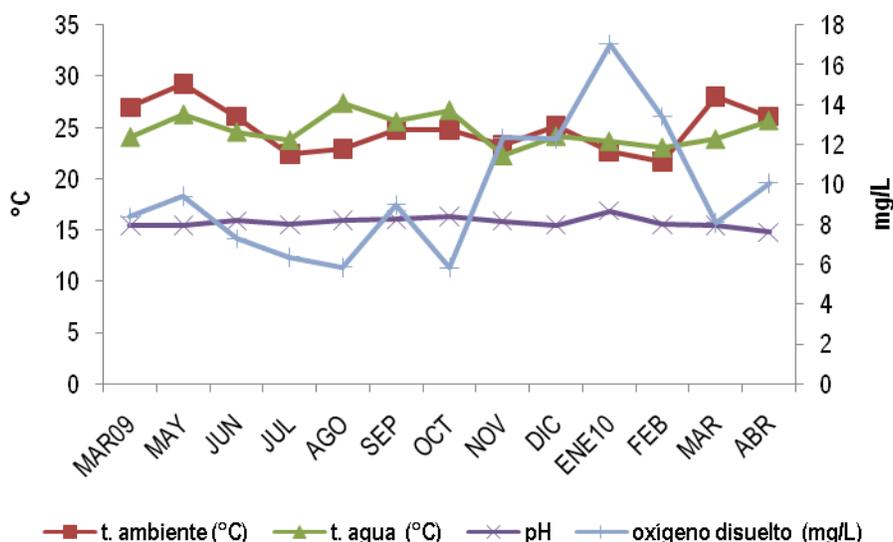
En el Bordo Amate Amarillo la variación de la visibilidad al disco de Secchi fue como mínima de 0.26m. y una máxima de 0.47m. (Figura 34).



**Figura 34. Variación de los sólidos disueltos y la visibilidad en el bordo Amate amarillo durante el periodo de muestreo.**

La cantidad de los sólidos disueltos en el micro reservorio Amate Amarillo varió de 480 mg/L en los meses de agosto y septiembre, hasta la mayor cantidad en el mes de abril del 2010 de 742 mg/L de sólidos disueltos (Figura 34).

Como se puede observar en la Figura 35, la temperatura del agua en temporada de lluvias es mayor que la temperatura ambiente, registrando sus máximos en los meses de mayo, agosto y octubre. La temperatura del agua, fluctuó entre 22.3 y 27.4°C, intervalo aceptable para el establecimiento de la especie en estudio, ya que la temperatura a la cual realiza todas las funciones biológicas es mayor de 20°C, lo que favorece el crecimiento y la reproducción de la especie.

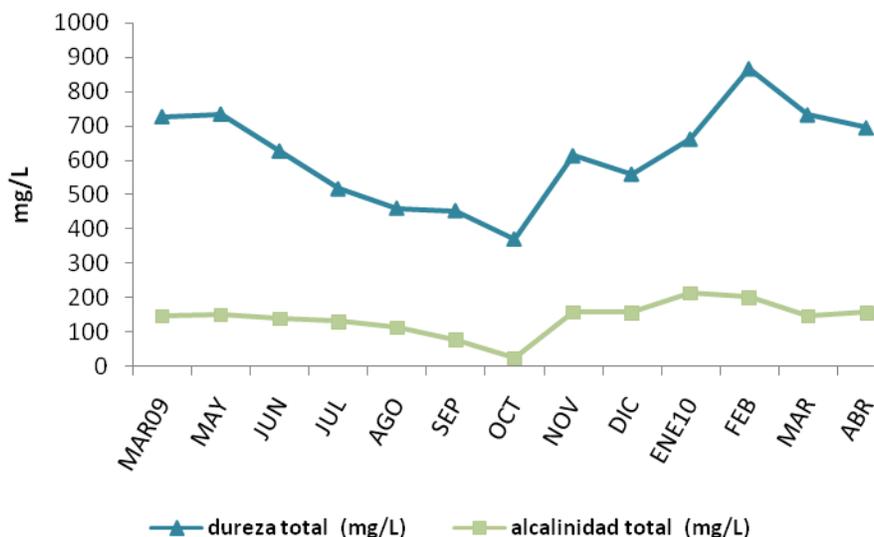


**Figura 35. Variación de la temperatura ambiente, temperatura del cuerpo de agua, pH y oxígeno disuelto en el periodo de muestreo.**

Con respecto a la variación temporal del oxígeno disuelto, éste fluctuó entre 5.81 y 17.06 mg/L. La mayor cantidad de oxígeno disuelto se registró cuando la temperatura ambiente disminuyó. Con respecto a los valores de pH, la media anual fue de 8.1, en general, es un sistema que no presenta valores muy alejados de 7, son aguas ligeramente alcalinas y duras (Tabla 6; Figura 35).

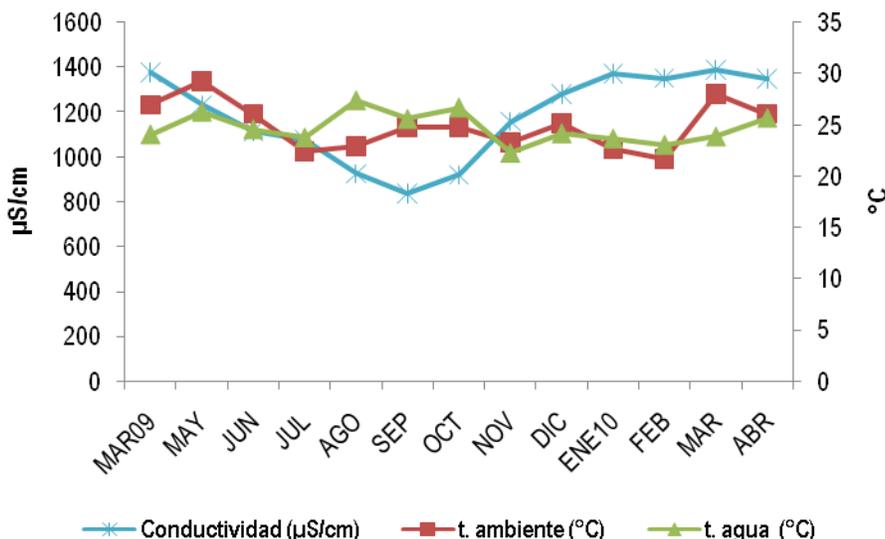
**Tabla 6. Parámetros físico-químicos en el Bordo Amate amarillo, en el periodo de Marzo del 2009 a Abril del 2010.**

Parámetros físico- químicos	mínimo	máximo	media
Transparencia la disco de Secchi (m)	0.26	0.48	0.36
Temperatura ambiente (°C)	21.7	29.3	24.96
Temperatura del agua (°C)	22.3	27.4	24.72
pH	7.61	8.68	8.10
Conductividad (μS/cm)	837.25	1389	1183.15
Sólidos disueltos (mg/L)	480	742	622.15
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.81	17.06	9.63
Dureza total (mg/L)	369.56	865.74	615.95
Alcalinidad total (mg/L)	24.69	213.44	139.77



**Figura 36. Variación de la dureza total y alcalinidad total en el bordo Amate amarillo durante el periodo de muestreo.**

Con respecto a la dureza total, el Bordo Amate amarillo presentó valores mínimos de 369mg/L y máximos de 865 mg/L de, por lo cual se puede considerar un agua muy dura (Figura 36).



**Figura 37. Comportamiento de la conductividad, temperatura ambiente y temperatura del agua en el bordo Amate amarillo.**

En cuanto a la conductividad eléctrica, esta presenta valores que van de 837  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 1389  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . presentando los valores más bajos en los meses de agosto a octubre. Lo cual tiene una relación con la temperatura del agua, ya que mientras mayor es la conductividad eléctrica mayor es la temperatura del agua (Figura 37)

Se realizó un análisis de dispersión entre los valores del índice gonadosomático y hepatosomático con los parámetros físico-químicos para observar gráficamente la tendencia que presentaban los datos para poder aplicar el análisis de correlación lineal, en este caso se utilizaron logaritmos para linealizar y obtener una mejor representación de los datos. Solo la relación entre el IGS con los sólidos disueltos y el IGS con la conductividad fue lineal.

Se obtuvo que existe una relación directa significativa entre el IHS de machos con dureza ( $r=0.779$ ;  $p=0.002$ ), IHS de hembras con oxígeno ( $r=0.754$ ;  $p=0.002$ ), IHS de machos con sólidos disueltos ( $r=0.793$ ;  $p=0.001$ ) y IHS de hembras con alcalinidad ( $r=0.690$ ;  $p=0.009$ ). Las otras correlaciones entre las variables no fueron significativas o los valores de asociación fueron muy bajos.

En la Figura 38 se muestra la relación de la dureza con el índice gonadosomático y hepatosomático donde solo el índice hepatosomático de machos tiene la misma tendencia, lo cual coincide con el análisis correlación. En la Figura 39 se observa la relación del índice gonadosomático y hepatosomático con respecto al oxígeno disuelto, donde el IHS de hembras muestra una tendencia similar al oxígeno.

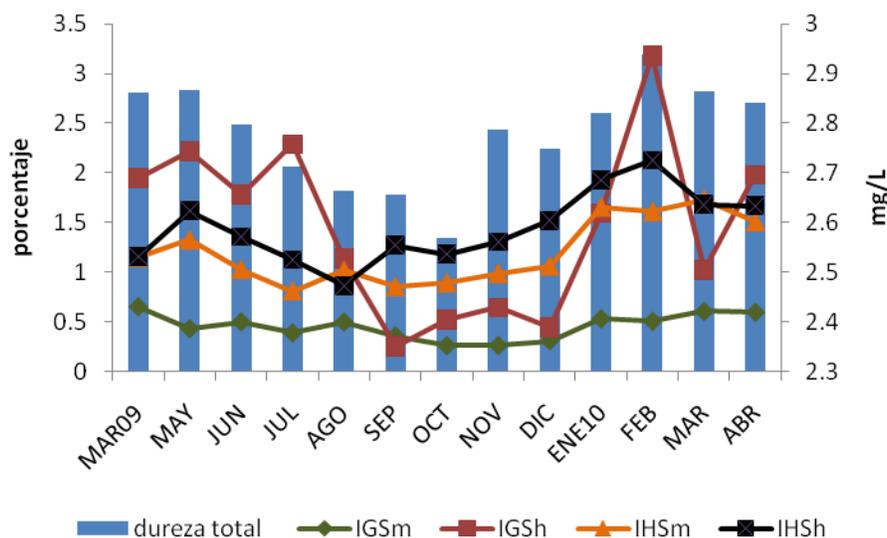


Figura 38. Relación dureza total e índices gonadosomático y hepatosomático.

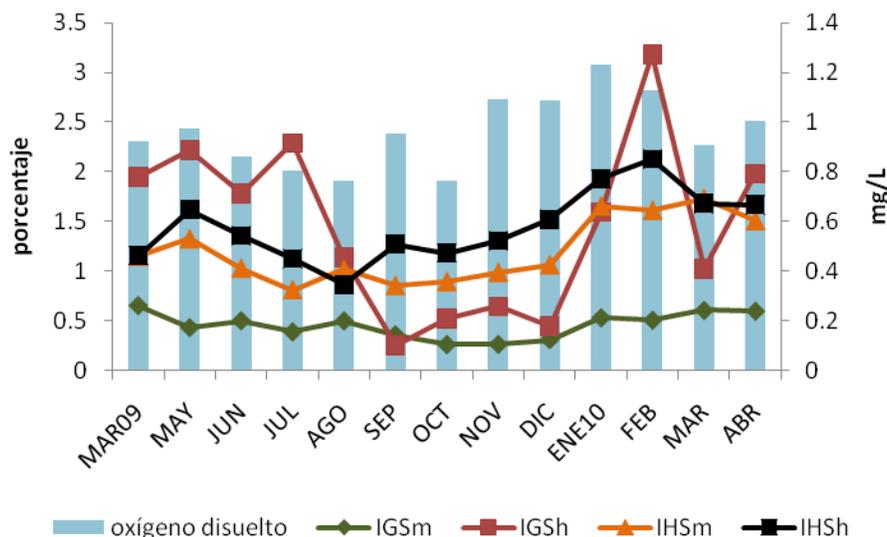


Figura 39. Relación oxígeno disuelto e índices gonadosomático y hepatosomático.

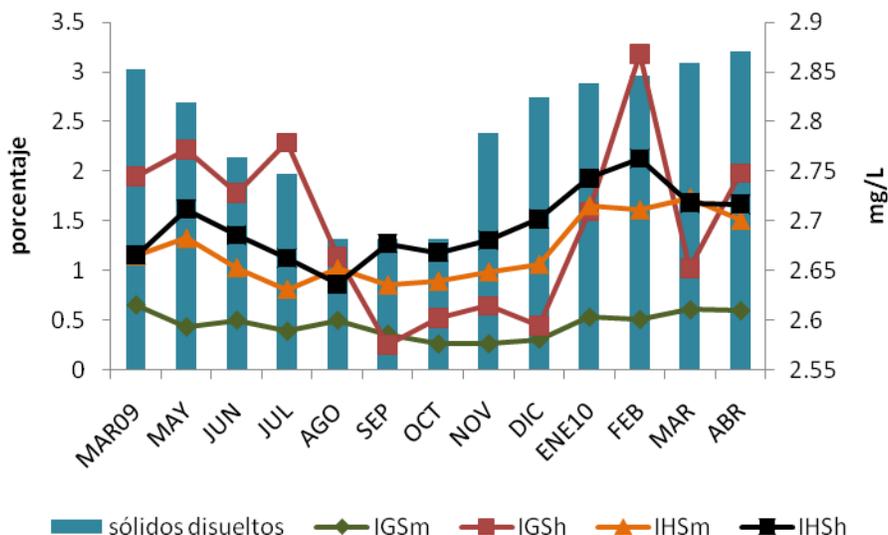


Figura 40. Relación sólidos disueltos e índices gonadosomático y hepatosomático.

En la Figura 40 se observa que la tendencia de los sólidos disueltos coincide con el IHS de las machos, como lo muestra el análisis de correlación. La mayor cantidad de sólidos se relaciona con la época de reproducción, esto debido a que hay un mayor aporte de alimento, por consiguiente un mejor desarrollo para los peces.

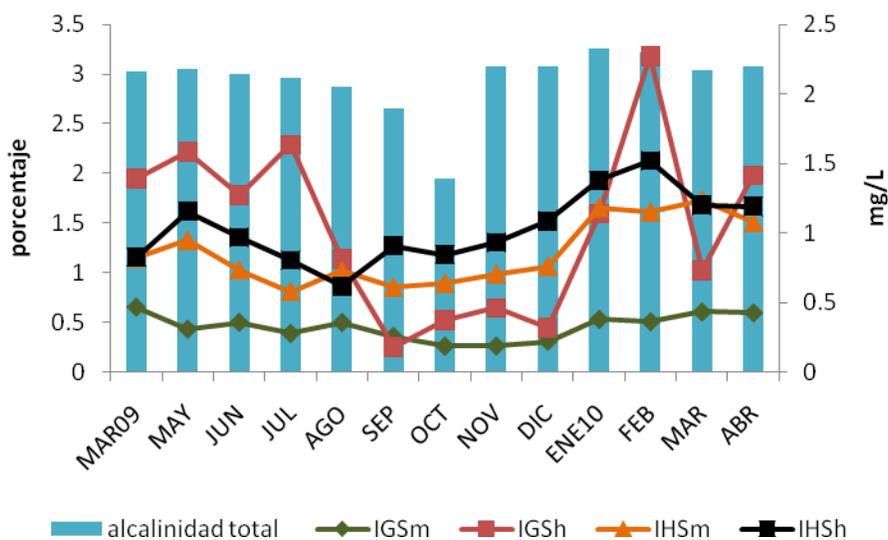


Figura 41. Relación alcalinidad total e índices gonadosomático y hepatosomático.

De acuerdo a la relación de los índices con la alcalinidad total, se observa que el IHS de hembras sigue una tendencia similar a la alcalinidad (Figura 41).

El estudio de biología reproductiva de la tilapia *Oreochromis niloticus* en el bordo Amate amarillo se llevó a cabo de marzo de 2009 a abril de 2010, con tamaño de muestra de 437 peces, obtenidos por medio de la captura comercial con atarraya de 6.5 cm de luz de malla realizada por los pescadores en el bordo.

La longitud total de las hembras varió de 11.7 a 18 cm y para los machos varió de 9.1 a 21.5 cm de longitud total. Estos resultados están dentro del intervalo reportado por otros autores para el género y la especie, tal como lo cita Gómez-Márquez *et al.* (1993) quienes reportaron longitudes de 0.4 a 13.0 cm para los individuos de *O. mossambicus*, Gómez-Márquez *et al.* (2003) reportaron tallas entre 117 y 206 mm de longitud total en el lago Coatetelco para *Oreochromis niloticus*. Gómez-Márquez *et al.* (2008), reportaron un intervalo de longitudes para hembras de 9 a 16.5 cm y para machos de 8.9 a 14.8 cm en el lago Coatetelco. Sastre (2008) cita que para *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata los machos alcanzaron tallas de 5.1 a 28.5 cm de longitud total, mientras que para las hembras fue de 7.8 a 25 cm de longitud total.

En la mayoría de las especies de tilapia los machos adquieren una mayor longitud que las hembras, debido principalmente a diferentes factores como la temperatura, que juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la especie (Fry e Iles, 1972; Morales, 1991). Además, de que las hembras una vez que alcanzan la madurez sexual, destinan mayores recursos energéticos a la maduración gonadal que al crecimiento, aunque siguen creciendo pero en menor proporción.

Del total de los 437 organismos, 124 (28.4%) fueron hembras y 313 (71.6%) machos, lo que correspondió a una proporción sexual de 2.5:1 (machos: hembras). Nikolsky (1963) sugiere que la proporción sexual esperada para la mayoría de las especies debe ser 1:1 (macho: hembra), lo que concuerda con los resultados obtenidos por Gómez-Márquez *et al.* (1993 y 2003) para *O. mossambicus* y *O. niloticus* respectivamente, donde se reportaron 1:1 y 1:1.02 (macho: hembra) en proporción sexual respectivamente. Así mismo Komolafe y Arawomo (2007) en su estudio con *O. niloticus* reportan una proporción aproximada de 1:1 (macho: hembra). Sin embargo, se han reportado otros trabajos que difieren en la proporción de sexos, como son los de: Manríquez (2005) que obtuvo para *O. niloticus* una mayor proporción en machos sobre las hembras de 8.85:1, Tovar (2005), reportó una proporción de 1:16.6 (hembra: macho) para *O. niloticus*. Saito (2004), quien obtuvo variaciones de *O. niloticus* hasta de 29:1 (macho: hembra). Con estos resultados se puede decir que la proporción de sexos favoreció a los machos, debido a que la captura realizada por los pescadores de los diversos sistemas no siempre es azarosa, ya sea por que el arte de pesca utilizado no es el adecuado (abertura de luz de malla de 6.5cm), o porque la pesca la realizan en las zonas abiertas, libres de vegetación, en las rocas y en la orilla, en donde es factible ubicar a los machos, debido a su comportamiento reproductivo, ya que las hembras se encuentran protegidas en la vegetación o rocas al cuidado de los huevos o como estrategia de sobrevivencia tal como lo citan Gómez-Márquez *et al.* (2003).

Fryer e Iles (1972) mencionan que en las poblaciones de cíclidos en los lagos africanos es común que los machos sean la proporción dominante, porque generalmente estos presentan mayor crecimiento que las hembras, sin que esto represente un riesgo para la pesquería. Así mismo, Devlin y Nagahama (2002) citan que las fluctuaciones de temperatura en los diferentes hábitats donde los peces viven, pueden alterar las rutas bioquímicas de la determinación del sexo y actuar sobre los individuos para inducir el desarrollo de machos o de hembras y de esta manera favorecer la presencia de uno u otro sexo. Por lo tanto, la determinación del sexo y el sesgo que se presenta en *O. niloticus*, probablemente es un fenómeno que se ha visto afectado por factores ambientales que imperan en el reservorio donde este se encuentra.

Con respecto a la relación peso-longitud ésta es una característica que resulta ser importante dentro del análisis de la pesquería, ya que proporciona información sobre la condición de una población, además de que permite establecer el peso como una potencia de la longitud, es decir la forma del cuerpo como reflejo de los cambios fisiológicos que sufre a través de su vida (Lagler *et al.*, 1977).

Para la población total, machos y hembras del bordo Amate amarillo se registró un crecimiento de tipo alométrico negativo corroborando que los valores de las pendientes son diferentes de 3 con la prueba t-student ( $p < 0.05$ ), lo que indica que los organismos crecen más en longitud que en peso. Las diferencias o similitudes respecto al valor de la pendiente de la relación peso-longitud además de ser atribuidas a factores intrínsecos de la especie, se relacionan también con el hábitat, época del año y reproducción, ya que los organismos aumentan su peso durante la maduración sexual. Esto concuerda con el estudio de García (2006) para *O. niloticus* donde la población presentó un crecimiento de tipo alométrico negativo. Ramírez y Cruz (2002) reportan que para *O. niloticus* en la presa Emiliano Zapata, obtuvieron un crecimiento alométrico negativo con tendencia a la isometría. Sin embargo, difiere de lo reportado por Badillo y Navarro (2001) en La Laguna de Metztitlan para *O. niloticus* que presentó un crecimiento de tipo isométrico y Pérez y Patlani (2002) en la presa Emiliano Zapata, donde la población de *O. niloticus* tiende a la isometría, es decir, crece tanto en longitud como en peso en la misma proporción.

La importancia de conocer el tipo de crecimiento, es que marca diferencias existentes entre diferentes poblaciones de una misma especie o entre la misma población en diferentes años. Así mismo, ecológicamente hablando las especies que presenten un tipo crecimiento alométrico, se debe a que los peces en condiciones naturales, crecen más en longitud y posteriormente en peso para evitar la depredación y en esto tiene influencia los factores ambientales como la temperatura o la cantidad y calidad del alimento.

Todo esto se ve reflejado por medio del factor de condición, que es un indicador del bienestar o robustez de una población de peces, el cual sirve de base para inferir los cambios en la condición de los organismos al aumentar la talla, edad, variaciones estacionales en el balance metabólico ocasionados por la disponibilidad del alimento, así como la condición sexual antes y después del desove (Lagler *et al.*, 1977, Granado, 2002).

Para este estudio se utilizó el factor de condición de Clark, que utiliza como variable el peso eviscerado del pez, de esta manera se evita el efecto de las gónadas y las vísceras que pueden llegar a representar una variación del 15 y 30 % respectivamente del peso total del pez, lo que puede enmascarar la verdadera dinámica de la condición del pez (Nikolsky, 1963).

En el análisis de la variación del factor de condición de Clark, se registraron los valores máximos en los meses de mayo, septiembre y febrero para machos y para las hembras en marzo, junio, julio y febrero, meses en los que comienza la época de secas, lo que ocasiona una mayor concentración del alimento, a causa de la disminución en la profundidad del cuerpo de agua además de un aumento en la temperatura, que permitió a los organismos obtener una mayor condición somática, lo cual repercute en mejores condiciones para llevar a cabo la reproducción.

Estos resultados coinciden con lo reportados por Admassu (1996) para *O. niloticus* con el periodo primario de reproducción durante enero a marzo. Ramírez y Cruz (2002) reportan un incremento en los meses de marzo y mayo para *O. niloticus* en la Presa Emiliano Zapata. Gómez-Márquez *et al.* (1993) observaron la máxima intensidad en el mes de julio en el lago Coatetelco para *Oreochromis niloticus*; Peña-Mendoza *et al.* (2005) reportaron un pico máximo en el mes de febrero (época de secas) en la Presa Emiliano Zapata. Por el contrario Barbieri (2000) reporta para *Oreochromis niloticus* en la Presa Guarapiranga que el pico de reproducción es de septiembre a diciembre (época de lluvias).

Un factor determinante para el desarrollo y la vida de esta especie es que cuenten con una buena condición física, ya que esto ayudaría a que la mayoría de los organismos tuviera un mayor tamaño, mayor madurez y mejor calidad de los productos sexuales y por consiguiente una mejoría en la calidad de la especie para su comercialización; en cambio, cuando la condición física es muy baja nos indica que las reservas energéticas y el metabolismo son muy bajos, lo cual propiciaría adquirir alguna enfermedad con facilidad y por ende tener una alta mortalidad de los organismos.

Además de estudiar el factor de condición para conocer el comportamiento de la población, también se analizaron ciertos indicadores biológicos como el índice gonadosomático (IGS) e índice hepatosomático (IHS), para determinar la época de reproducción por medio de las variaciones de estos índices. El índice gonadosomático se utiliza con frecuencia para seguir el ciclo reproductivo de una especie durante todo el año en intervalos mensuales o menos; este índice, se basa en que el peso de la gónada con respecto al peso total del organismo guarda una relación directa que explica el estadio de desarrollo gonádico, ya que, alcanza el valor máximo antes del desove (Lagler *et al.*, 1977; Rodríguez, 1992; Granado, 2002).

Para los valores mensuales de IGS, se presentó una variación a lo largo del periodo de estudio para ambos sexos, aunque los valores son claramente mayores para el caso de las hembras. Para los machos, se puede observar que existe un pico de enero a abril (época de secas) y otro pico de junio a agosto (época de lluvias), los cuales coinciden con los valores máximos de temperatura de agua, debido a que es cuando se presenta el periodo de lluvias y hay una mayor disponibilidad de alimento el por aporte de la materia orgánica provenientes del cauce o de la zona aledaña de los cultivos.

Para el caso de las hembras los mayores valores del IGS se encuentran en los meses de febrero, mayo y julio, esto relacionado con lo que reporta Mendieta (1985) para *Tilapia aurea* donde registró que el periodo de mayor reproducción se lleva a cabo en los primeros seis meses del año. Ramírez y Cruz (2002) para *Oreochromis niloticus* reportan valores mayores en los meses de agosto y septiembre (época de lluvias) para ambos sexos.

El índice hepatosomático (IHS) es la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del organismo y es específico para hembras, debido a que el hígado segrega vitelogeninas durante la vitelogénesis exógena, mismas que van a ser captadas por el óvulo en desarrollo; por lo tanto, es directamente proporcional al ciclo reproductivo y decae justo antes del desove siendo un indicador de la puesta (Rodríguez, 1992). En el caso de *Oreochromis niloticus*, los valores altos de IHS durante los periodos de baja actividad reproductiva pueden ser producidos por la acumulación de sustancias de reserva, para ser usados durante la madurez sexual.

En el Bordo Amate amarillo, *O. niloticus* mostró un comportamiento similar del IHS tanto para machos como para hembras, presentando un pico en el mes de mayo y otro en octubre donde se puede decir que se presenta el otro pico de reproducción. Difiere a lo reportado por Ramírez y Cruz (2002) para *Oreochromis niloticus*, donde muestran su valor máximo del IHS en el mes de agosto.

Esto hace evidente al comparar el IGS y IHS con el proceso de madurez, queda de manifiesto que al observar el aumento y variación de estos índices con los estadios de maduración, se observa que tienen una misma tendencia.

Durante el periodo de muestreo en el bordo Amate amarillo para *Oreochromis niloticus* la proporción de machos: hembras no fue homogénea, por lo que los machos están mejor representados que las hembras, dado que en algunos meses solo se capturó una hembra; sin embargo, es posible observar que en las hembras se presentan dos picos de reproducción una en junio y julio de 2009 y otra de enero a febrero de 2010. Los machos tienden a los mismos picos reproductivos, en los meses de mayo a agosto y de enero a abril. Ramírez y Cruz (2002) reportan valores similares en su estudio, ya que el estadio IV estuvo mas pronunciado en los meses de julio y agosto y otro pico en el mes de febrero.

Los valores bajos y los picos estacionales del IGS observados para machos y hembras de la tilapia están sin duda relacionadas con la gran variación en el IGS cada mes, lo que sugiere que algunos peces cada mes están reproductivamente activos, mientras que otros no estaban en condiciones de desovar. Estos resultados no se pueden confirmar por el índice gonadosomático de las hembras debido principalmente a que el número de hembras capturadas fue bajo; sin embargo, similares resultados y comportamiento son reportado por Gómez-Márquez *et al.* (2003) para *O. niloticus* del lago Coatetelco en el Estado de Morelos.

Además, los ciclos de reproducción en los peces están estrechamente relacionados con los cambios ambientales, particularmente con los cambios estacionales de la luz y la temperatura. Estos dos factores son, con frecuencia, los más importantes porque ellos pueden actuar - directamente o a través de los órganos de los sentidos - en las glándulas que producen hormonas que determinan la conducta y la respuesta fisiológica adecuada para la reproducción de los peces. Numerosos estudios experimentales demuestran que la temperatura es uno de los principales factores ambientales que regulan el ciclo reproductivo de los peces, aunque la luz también juega un importante papel, así como otra serie de variables como la salinidad del agua, la concentración de amoníaco, el ruido, etc. (Lagler *et al.*, 1977; King, 1995).

### **Talla de primera madurez sexual**

Para que se de la madurez sexual deben presentarse factores como: el fotoperiodo, la temperatura, disponibilidad de alimento. De acuerdo a la talla los machos alcanzan dicha madurez cuando tienen una talla de 15.84 cm y las hembras 16.03 cm.

Vásquez *et al.* (1988) con *O. aureus*, reportan que alcanzan dicha madurez a una longitud total de 18.2 cm para machos y 17.14 cm para hembras. Hafedh *et al.* (1999) en la tilapia del Nilo, reportaron que la talla de primera maduración para los machos fue de 9.2 cm y para las hembras de 8.1 cm. Barbieri *et al.* (2000) para *O. niloticus* en la Presa de Guarapiranga, citan que la talla de primera maduración sexual fue estimada en 7.6 cm. Gómez-Márquez *et al.* (2003) mencionan que los peces alcanzan la primera madurez sexual a los 11.7 cm de longitud total en hembras y 12.0 cm de longitud total en machos, en el Lago Coatetelco para *Oreochromis niloticus*. Peña-Mendoza *et al.* (2005) señalan que *O. niloticus* alcanza la primera talla de maduración a los 15.13 cm (hembras) y a los 15.20 cm (machos) de longitud total. García (2011) para *Oreochromis niloticus*, en el bordo "La Palapa" cita que la talla de primera madurez fue de 17.2 cm para hembras y para machos de 16.8 cm.

Esta información, no solo brinda aportaciones para la parte biológica de la especie sino también como un medio para saber que tipo de arte pesquero utilizar, lo cual beneficia a la sociedad de pescadores y por lo tanto tiende a obtener una mejor talla para la parte económica de la producción de esta especie.

El estudio de la madurez sexual y el ciclo reproductivo de *Oreochromis niloticus* constituye una primera aportación al comportamiento de la biología básica de esta especie, la cual promete en un futuro una pesquería de gran importancia.

Al analizar la variación de las fases de desarrollo de las gónadas de hembras y machos de *Oreochromis niloticus*, en el bordo Amate amarillo, éstas se encontraban en un proceso de maduración constante, debido al porcentaje de organismos en estado de inicio de madurez y en maduración, indicando que los peces presentan dos periodos de desove máximos al año; para el caso de las hembras este se presenta en junio y julio de 2009 y otra de enero y febrero de 2010, la cual esta representada por el estadio de madurez IV. Mientras que para los machos el estadio de madurez IV se registró en los meses de marzo a mayo y septiembre del 2009, así como abril del 2010. Morales (1991) menciona que la frecuencia de los desoves varia considerablemente en función de los factores ambientales y que en México pueden presentarse de uno a diez desoves durante un año. Basurto (1995) menciona que la población en la Laguna de Chila se reproduce todo el año y que los individuos de *Oreochromis niloticus* alcanzan el estadio IV en marzo, aunque a partir de enero se empiezan a observar tilapias con gónadas en fase de reproducción.

Sin embargo, bajo condiciones ambientales, pueden comportarse con una gran plasticidad reproductiva, la cual puede explicarse por la ubicación geográfica de la especie, así se da una respuesta reproductiva de la población independientemente de otros factores internos de la propia población, como factores de denso-dependencia y disponibilidad de recursos no detectados que, no obstante, deben tener también cierta influencia en el ciclo reproductivo (Njiru *et al.*, 2006; Kolding, 2006)

## **Fecundidad**

La fecundidad es un factor importante ya que aporta los datos necesarios para conocer el potencial reproductivo de la especie. Expresada como el número de óvulos producidos, es un parámetro de gran interés no sólo característico de la población sino también como término fundamental en los modelos de dinámica poblacional (Granado, 2002). Varía de acuerdo a muchos factores entre los que se incluyen la edad, el tamaño, la especie y las condiciones ambientales (disponibilidad de alimento, temperatura del agua, temporada del año) (Salgado *et al.*, 2005). Los huevos varían en su forma, pero la mayoría de las especies son esféricos (Lagler *et al.*, 1977; Moyle y Cech, 2000). Bagenal (1978) cita que las especies exhiben amplias fluctuaciones en la fecundidad entre peces de la misma especie, tamaño y edad y que esta se encuentra relacionada con la longitud de los peces, es decir, a mayor longitud es mayor el número de óvulos presentes en el ovario.

Para estimar la fecundidad relativa se analizaron 109 hembras, se realizó un análisis de regresión entre el número de folículos y el peso total, que fue mayor ( $r^2=0.187$ ) a la relación entre el número de folículos y la longitud total ( $r^2=0.136$ ). Se puede observar de manera general que la tendencia es que a mayor peso total del pez, mayor cantidad de folículos. Por otro lado, la fecundidad media que se obtuvo fue de 489 ovocitos, teniendo un conteo mínimo de 429 y un máximo de 594 ovocitos, con un diámetro de los ovocitos de 358 a 3097  $\mu\text{m}$ .

Biswas *et al.* (2005) al trabajar con *O. niloticus* reportaron que el número promedio de huevos por desove fue de 1213 a 1943, en un sistema controlado. Gómez-Márquez *et al.* (1993) para *O. mossambicus* en la laguna El Rodeo obtuvo que el número de óvulos por desove individual fue menor a 500. Komolafe y Arawomo (2007) para 1 430 especímenes de *O. niloticus*, reportó que el diámetro de los óvulos varía entre 2,12 mm y 2,69 mm, con una media de  $2,47 \pm 0,02$  y la fecundidad varió entre 73 y 1 810 huevos por hembra con un promedio de 815 huevos. Gómez-Márquez *et al.* (2003) reportaron que el número de óvulos presentes en las gónadas osciló entre 104 y 709 con diámetro de 1 000 a 3 000  $\mu\text{m}$ . Ramírez y Cruz (2002) para *O. niloticus* en la presa Emiliano Zapata, reportaron que en 152 organismos, se obtuvo una fecundidad media de 446 óvulos, con un valor mínimo de óvulos cuantificados de 266 y un máximo de 1110 de óvulos cuantificados. García (2011) para *Oreochromis niloticus* en el estado de Morelos, reportó una fecundidad media de 718 ovocitos/pez con diámetros entre 300 a 3200  $\mu\text{m}$ .

Los ovarios están suspendidos desde el techo de la cavidad visceral o desde la vejiga natatoria por la mosavaria, por lo que los ovarios se localizan ventrolateralmente a la vejiga natatoria y dorsolateralmente al intestino, su tamaño varía durante el ciclo reproductor (Kobelkowsky, 2003). Con respecto a la apariencia de las gónadas (ovarios y testículos), tamaño y número de los ovocitos, éstos concuerdan con lo reportado por Peña-Mendoza *et al.* (2011), quienes hacen la descripción de éstos órganos a escala macroscópica y microscópica. En el caso de los ovarios, a simple vista se pueden observar los folículos desde que éstos presentan un diámetro aproximado de 500  $\mu\text{m}$  y aumentan su tamaño conforme avanza la madurez, hasta llegar a los 3000  $\mu\text{m}$  tiempo en el que también cambian de color pasando de un tono transparente cuando se encuentran en la fase de ovogonias y espermatocitos primarios hasta un tono amarillo naranja cuando se han transformado en folículos maduros, con gran cantidad de vitelo. Con respecto al número de folículos que se cuantificaron cuando el ovario se encuentra en estadio de maduración II, éste número tiende a decrecer conforme avanza la maduración, debido a que los folículos aumentan de tamaño y el espacio en la cavidad del ovario es limitada para sostener el mismo número con diferente diámetro y hacia el final del proceso reproductivo, algunos de estos folículos se degeneran o pasan a la atresia.

Histológicamente el folículo es el ovocito que se encuentra rodeado por una capa de células foliculares, la cual se compone por una membrana basal y sobre de ella una doble capa de células "teca" que rodean al folículo y entre las cuales hay capilares sanguíneos, denominándose a una capa la teca externa y a la otra la teca interna, hacia el interior de la membrana basal se puede encontrar otra capa de células denominada células de la granulosa y más hacia el interior la zona pelúcida (Grier, 2003), estructuras que claramente se pueden observar en los folículos de diferentes grados de maduración (Figuras 22 a 25). Las células de la teca y la granulosa son separadas por la membrana basal (Taylor *et al.*, 1998). Entre la superficie del ovocito y la capa de las células de la granulosa existe una capa acelular, llamada zona radiata. Asimismo, es posible distinguir la presencia de un núcleo y glóbulos de vitelo o sacos lipídicos, los cuales se incrementan en número y tamaño conforme avanza la madurez, similar a lo reportado por Çek *et al.*, (2001).

Coward y Bromage (1999) mencionan que en los incubadores bucales como *O. niloticus* el número de ovocitos residuales que permanecen en el ovario después del desove es razonablemente constante (generalmente <10 ovocitos por ovario) independientemente de la fecundidad.

En este estudio el desarrollo de los ovocitos se dividió en cinco estadios basados en criterios morfológicos macroscópicos así como del análisis histológico y es similar a lo reportado para *O. niloticus* por Peña-Mendoza *et al.* (2011). Por lo tanto, el crecimiento del folículo en el ovario, las diferentes etapas de maduración y el proceso de ovulación para que la especie lleve a cabo la reproducción, es importante para la aplicación a nivel de la acuicultura, así como en el manejo de las pesquerías.

Los testículos están suspendidos por los mesorquia y tienen la misma localización que los ovarios. Los conductos testiculares principales de ambos testículos abandonan estas gónadas como conductos espermáticos; ambos conductos espermáticos se unen en un conducto espermático común, el cual se une al conducto urinario común para formar el conducto urogenital, el cual es corto y se abre al exterior mediante el orificio o abertura urogenital, que se encuentra al extremo de la papila urogenital (Kobelkowsky, 2003). Los testículos, también incrementan su longitud y peso como consecuencia de la maduración y por consiguiente de la producción de espermatozoides, tal como lo citan Peña-Mendoza *et al.* (2005). Estos órganos pasan de ser transparentes al inicio de la maduración a ser blanco-lechosos cuando se encuentran en un grado de madurez IV, o sea bien maduros. En los testículos a diferencia de los ovarios a simple vista no se puede percibir algún cambio. Generalmente los testículos maduros presentan una superficie dorsolateral, que corresponde a su contacto con la vejiga natatoria y una superficie ventrolateral que contacta al intestino, de tal manera que en un corte transversal se nota en forma triangular (Kobelkowsky, 2003).

En los testículos de los peces, que pueden ser de dos tipos tubular (ateriniformes) y lobular (Teleósteos) como la tilapia, también existe el epitelio germinal y es similar al del ovario. Las células somáticas son las células de Sertoli, quienes forman el borde externo del espermatocisto. Este tipo de testículo está compuesto por numerosos lóbulos, los cuales están separados por una delgada capa de fibras de tejido conjuntivo. Dentro de los lóbulos la espermatogonia tiene numerosas divisiones mitóticas para producir cistos que contienen varias células germinales que están aproximadamente en el mismo estadio de desarrollo. (Figuras 26 a 31). Cuando se da la espermatogénesis y la espermiogénesis, los cistos se expanden y habitualmente se rompen, liberando el esperma dentro del lumen lobular, el cual se continúa por el conducto espermático (Rodríguez, 1992).

## **Análisis multivariado de covarianza**

García-Berthou y Moreno-Amich (1993) mencionan que el estudio de la reproducción es de tipo fundamental y requiere cierta complejidad en ciencias pesqueras, por eso proponen un método que en lugar de tener una sola variable de respuesta, hacen la propuesta de incluir todas las variables morfométricas dependientes relacionadas con la actividad reproductiva y se ajusten por medio de la covariada (la longitud).

Al aplicar el análisis multivariado de covarianza (ANAMUCOVA), en la relación de los datos agrupados (hembra y macho) los resultados fueron altamente significativos, lo que sugiere que existe una variación estacional y una dependencia sobre la longitud del organismo y las diferentes variables del peso (gónada, hígado, eviscerado y total) analizados.

Respecto a los datos obtenidos tanto para machos como para hembras el peso total y el peso eviscerado siguen una misma tendencia, donde el peso eviscerado tiende a disminuir en la época de reproducción, ya que el mayor aporte de energía se brinda para aspectos del desarrollo gonadal. Así mismo, el peso eviscerado se comportó de manera similar a los pesos medios del hígado, mostrando valores bajos en los meses mayo (época de secas), y otro en septiembre-octubre (para el caso de los machos), mientras que para el caso de las hembras se mostro un descenso en el mes de noviembre. En cuanto al peso de la gónada se presentan dos máximos que concuerdan con la época de reproducción, uno en el mes de mayo (para ambos sexos) y otro en la época de lluvias (septiembre y octubre) para el caso de los machos, mientras que las hembras presentan un segunda disminución en el mes de noviembre durante la época reproductiva, por consiguiente la baja condición somática durante la estación de desove de los peces indica que el crecimiento somático esta limitado debido al desarrollo de las gónadas.

Gómez-Márquez (2002) cita que el peso mínimo del hígado podría atribuirse a que este órgano presenta una mayor relación con los ovarios y testículos debido al proceso de vitelogénesis. Por lo tanto, es directamente proporcional al ciclo reproductivo y el valor de este decae justo antes del desove, siendo un indicador del proceso reproductivo (Rodríguez, 1992).

Sastré (2008), menciona que en el análisis por sexos separados se mostró una misma tendencia, registrando una relación inversa entre el valor medio del peso del hígado y el de las gónadas, donde los valores medios elevados del peso de las gónadas se presentaron en abril-marzo (época de secas) y julio agosto (época de lluvias). Asimismo, García-González (2011), cita que el comportamiento que siguen las medias ajustadas respecto a ovarios y testículos, presenta dos picos de reproducción: uno en septiembre (época de lluvias) y otro de febrero a mayo (época de secas). En cuanto al peso del hígado este muestra un comportamiento inverso al peso de la gónada para ambos sexos.

Por lo tanto, el ANAMUCOVA permite la interpretación simultánea de tendencias en los valores medios ajustados, lo que hace factibles compararlos en una escala semejante, en los diferentes niveles de los factores considerados (García-Berthou y Moreno-Amich, 1993). Por lo que, al utilizar la longitud como covariada se realiza un mejor ajuste ya que es la variable más apropiada para este propósito porque depende menos de características ambientales y condiciones fisiológicas. Así mismo, estima los valores medios de los pesos a un mismo tamaño del organismo y con esto se puede considerar a este análisis como confiable al considerar los resultados obtenidos.

De manera global se puede considerar que los indicadores de la reproducción (IGS, IHS y madurez gonádica) así como el ANAMUCOVA, mostraron en este caso el comportamiento del proceso reproductivo de manera similar, aunque los supuestos de los indicadores (IGS e IHS) no fueron probados.

Salgado-Ugarte (1995) citado en Gómez-Márquez (2002) al tomar en cuenta los comentarios de García-Berthou y Moreno-Amich (1993), cita que el uso del análisis multivariado de covarianza presenta algunas ventajas. Por ejemplo, un análisis preliminar del índice gonadosomático, muestra una clara heterocedasticidad lo cual hace difícil las comparaciones y por otro lado, la comparación de los valores medios adyacentes, permitió evaluar la significancia de la variación de las medias a lo largo de los diferentes periodos en estudio. Por lo tanto, dada la característica de la relación del peso de la gónada y del peso corporal, es necesario realizar un análisis multivariado que permita reconocer el comportamiento de todas las variables involucradas en la reproducción, manteniendo constante el efecto de la longitud para poder analizar más apropiadamente las variaciones de los componentes y definir la época de reproducción y el estado fisiológico de los organismos en función de la variable temporal.

### **Parámetros físico-químicos**

Las propiedades físicas y químicas influyen en los aspectos productivos y reproductivos de los peces, por lo que es importante que los parámetros del agua se mantengan dentro de los intervalos óptimos para el desarrollo de los peces.

El comportamiento hidrológico del sistema se caracteriza por una etapa de dilución, debido al incremento en el volumen que se da a partir del inicio de la temporada de lluvias (junio), en la que a pesar del acarreo de materiales procedentes de la cuenca hay una reducción de estos por unidad de volumen y otra etapa de concentración de materiales ocasionada por la evaporación e infiltración durante la estación seca, además de la pérdida por el suministro de agua para riego que se realiza de este cuerpo de agua. Estas fases (concentración y dilución) las describen Arredondo *et al.* (1982) y Hernández-Avilés *et al.* (1992) entre otros y son comunes en este tipo de ecosistemas.

El ser un sistema con periodos de mezcla continuos debido a que es un cuerpo pequeño (< de 5 ha), somero (4 m de profundidad), favorecido por la acción del viento y por la actividad pesquera, presenta una remoción constante de los materiales y nutrientes del fondo, menor transparencia y por lo tanto de moderada a buena productividad.

La temperatura es uno de los factores que se debe tomar en cuenta para un estudio limnológico, porque influye en el comportamiento de los organismos y tiene una participación importante en la solubilidad de los gases, en la tasa fotosintética, en el crecimiento y en la reproducción de las especies (Wetzel, 2001). Así mismo, influye en el proceso de estratificación aunque la producción primaria del lago o embalse sea relativamente baja (Prat y Rieradevall, 1998).

En el bordo Amate Amarillo se registraron temperaturas de agua que oscilaron entre 22.3°C y 27.4°C, característico de sistemas con climas subtropicales. Dorantes y Zavala (2003) afirman que el intervalo de temperatura de 20 a 30°C es adecuado para el cultivo de peces; Morales (1991) menciona una temperatura óptima de 24 a 29°C, mientras que Anónimo (1994) establece que temperaturas de 20 a 35°C. Dado que en el micro reservorio Amate amarillo las temperaturas oscilan entre los intervalos reportados por los autores anteriores, se puede decir que el desarrollo de las tilapias es el adecuado.

Díaz-Pardo *et al.* (1986) mencionan que un factor importante que determina en cierto grado el comportamiento de la temperatura a través de la columna de agua es la relación entre temperatura de la superficie del cuerpo de agua y la del aire, que se manifiestan en el intercambio de calor entre ambas fases.

Respecto al oxígeno disuelto su concentración durante todo el estudio fue variable. El oxígeno disuelto mostró concentraciones bajas en los meses de marzo a agosto donde las temperaturas ambientales son elevadas, debidas principalmente a la solubilidad que presenta el oxígeno.

El oxígeno disuelto es uno de los parámetros más importantes de los lagos, porque es esencial para el metabolismo de todos los organismos acuáticos que presentan una respiración de tipo aeróbica (Wetzel, 2001) por lo tanto es un factor limitante para la vida en el agua (Delincé, 1992).

La tilapia puede vivir en condiciones ambientales adversas, ya que soporta baja concentraciones de oxígeno disuelto con valores que van de 1 a 5 mg/L y con un pH de 7 a 8 (Anónimo, 1994). Morales (1991) menciona que los niveles en los que se desarrolla la tilapia van de 4-5 mg/L de oxígeno disuelto y pH de 6.5-8.5. Arredondo-Figueroa (1986) sugiere que las aguas que presentan un pH entre 6.5-9 son más apropiadas para el desarrollo de los peces.

En el Bordo Amate Amarillo, se presentaron valores de oxígeno que oscilaron entre 5 a 17 mg/L, lo cual en cierto grado rebasa lo reportado por los autores anteriores, pero el estudio que se llevo a cabo sobre la tilapia, muestra que ésta se desarrolla y reproduce aceptablemente a pesar de las condiciones adversas de los niveles de oxígeno.

Boyd (1979) sugiere que el pH es el resultado de la interacción de los procesos bióticos y abióticos y es considerado como una medida de acidez, alcalinidad o neutralidad del agua.

Con respecto al pH los valores oscilan entre 7.61 y 8.68 lo cual muestra que son aguas que van de neutras a ligeramente alcalinas, lo cual coincide con lo reportado por Delincé (1992), donde reporta que a lo largo de un año de estudio, se presentaron valores de pH que van de neutras a ligeramente alcalinas, con presencia de formas bicarbonatas.

De acuerdo con Romero-Rojas (1999) las aguas duras se encuentran en intervalos de 150-300 mg/L y las aguas muy duras entre intervalos mayores a 300 mg/L. De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio podemos decir que el agua de Amate amarillo es considerada como muy dura. Con respecto a la productividad considerando la alcalinidad, la conductividad o la cantidad de sólidos disueltos del sistema, Arredondo y Ponce (1998) indican que las aguas que contienen 40 mg/L, o más de alcalinidad total son consideradas muy productivas, por lo cual se podría decir que el microreservorio Amate amarillo es muy productivo.

Wetzel (2001) menciona que los lagos que tienen cantidades elevadas de carbonatos y bicarbonatos derivados de la disolución de la calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) provocan valores elevados de alcalinidad y pH. La dureza y la alcalinidad del agua afectan directamente el metabolismo de los organismos reduciendo la producción de la tilapia, así una alcalinidad superior a 175 mg/L  $\text{CaCO}_3$  resulta perjudicial, debido a las formaciones calcáreas que se producen y que afectan tanto a la producción del sistema como a los peces al dañar sus branquias (Aguilera y Noriega, 1988). Anónimo (1994) menciona que el intervalo de alcalinidad para que se desarrolle la tilapia debe de ser de 14 mg/L a 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . En el bordo Amate amarillo, este valor fue superior en los meses de enero y febrero del 2010, por lo cual se puede decir que las condiciones de alcalinidad para la especie son aceptables.

Arredondo y Ponce (1998) citan que las aguas duras tienden a ser más productivas biológicamente que las aguas suaves, ya que estas últimas son deficientes en calcio y magnesio. Así mismo, el grado de dureza total presente en cualquier sistema acuático es necesario para la supervivencia y crecimiento de los peces. Cuando los valores de la dureza están por debajo de los 20 mg/L, estos ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad.

La transparencia del agua esta expresada usualmente como la profundidad de visión del disco de Secchi (Margalef, 1983), así mismo esta influenciada por la productividad primaria (la parte biogénica). Anónimo (1994) reporta que el intervalo adecuado para el desarrollo de la tilapia es de 0.45 m. En conjunto con el fitoplancton la transparencia esta determinada por las características de absorción de la luz tanto del agua como la materia disuelta y particulada (Wetzel y Likens, 1991; Wetzel, 2001) además de los procesos de llenado y vaciado del sistema que llevan consigo el arrastre de material. Delincé (1992), reporta que cuando existe buena producción de fitoplancton, la visibilidad puede oscilar entre 0.4 y 0.8 m para considerar al sistema productivo como es el caso para el Amate amarillo. Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con lo reportado por Pérez y Patlani (2002), Ramírez y Cruz (2002), Tovar (2005), Manríquez (2005), García (2006), quienes trabajaron en sistemas similares en el estado de Morelos.

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se realice la determinación (Romero-Rojas, 1999). La conductividad en los cuerpos de agua dulce varía entre 50 y 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Boyd, 1979), en nuestro país oscila entre 20 y 10 000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Arredondo y Ponce, 1998). En el bordo Amate amarillo se obtuvieron datos de 837 a 1389  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , lo cual es normal dado que es un cuerpo de agua dulce en condiciones adecuadas para el cultivo de peces.

Con base en lo analizado anteriormente se puede decir que el agua del sistema presenta condiciones adecuadas para el cultivo y reproducción de *Oreochromis niloticus*, ya que como se ha mencionado ésta se puede reproducir en este sistema acuático en dos épocas en el transcurso del año.

- De los 437 organismos capturados se obtuvieron tallas de 120 a 261 mm de longitud total y de 22.1 a 263 g de peso total.
- Por medio de la prueba de t student se obtuvo que la población total presentó un tipo de crecimiento alométrico negativo ( $b= 2.697$ ,  $t\text{-Student} =2.7334$ ;  $p< 0.05$ ), lo cual indica que la población crece más en longitud que en peso.
- Se obtuvieron 124 hembras (28.4%) y 313 machos (71.6%), por lo que la proporción sexual de la población fue de 2.5:1 (machos: hembras).
- La talla de primera madurez para los machos se registró a los 15.84 cm de longitud total y para hembras fue de 16.03 cm longitud total.
- La fecundidad media obtenida fue de 489 ovocitos, teniendo un mínimo de 429 y un máximo de 594 ovocitos, con diámetros que van de 700 a 4500  $\mu\text{m}$ .
- De acuerdo al IGS de las hembras, se observaron que los picos de reproducción, se encuentran en los meses de mayo y julio (época de lluvias) y los meses de enero, febrero y marzo (época de secas), mientras que para los machos, fue en los meses de junio a agosto (época de lluvias) y otro de enero a abril (época de secas).
- Con lo que respecta al IHS, se puede observar que tanto para hembras como para machos presenta comportamientos similares que el IGS.
- El comportamiento que siguen las medias ajustadas del análisis ANOMUCOVA de las gónadas, muestra dos picos de reproducción, uno en el mes de mayo (para ambos sexos) y otro septiembre y octubre (época de lluvias) para el caso de los machos, mientras que las hembras se presentan en el mes de noviembre.
- En cuanto al peso del hígado este presenta un comportamiento inverso al del peso de la gónada en el análisis multivariado de covarianza para ambos sexos.
- De acuerdo a los parámetros físico-químicos se puede decir que es un cuerpo de agua productivo, con agua muy dura, con temperaturas cálidas, bien oxigenadas y que están dentro del intervalo para el desarrollo y reproducción de la tilapia.

- Admassu, D., 1996. The breeding season of tilapia, *Oreochromis niloticus* in Lake Awassa (Ethiopian rift valley). *Hydrobiología* 337: 77-83.
- Aguilera, H.P. y C.P. Noriega. 1988. La Tilapia y su cultivo. Secretaria de Pesca. FONDEPESCA. SEPESCA. México, D. F. 59 p.
- Anónimo, 1994. Piscicultura rural. Unidad de Comunicación social de la Secretaria de Pesca. SEPESCA. México, D.F. 25 p.
- Anónimo, 2008. Anuario Estadístico de Pesca. CONAPESCA, SAGARPA. 256 p. <http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/> Ultima fecha de consulta, 15/06/2011.
- Arredondo, F.J.L, J.L.C, García y P.C. Martínez, 1982. La conducta físico-química y el rendimiento pesquero de un estanque temporal tropical, utilizado para la piscicultura extensiva en el estado de Morelos, *Rev. Lat. Acui.* 12: 1-12.
- Arredondo F.J.L., 1983. Especies Animales Acuáticas de Importancia Nutricional Introducidos en México. *Biotica*, 8(2):175-199.
- Arredondo-Figueroa J.L. y M. Guzmán-Arroyo, 1986. Actual situación taxonómica de las especies de la tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México, *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. Méx.* 65(2): 555-572.
- Arredondo, F.J.L. y J.T.P Ponce, 1998. Calidad del agua en acuicultura, conceptos y aplicaciones. AGT editor, México. 222 p.
- APHA AWWA y WPCF. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18 ed. American Public Health Association, EE. UU. 1100p.
- Badillo, H.B. y Navarro C.J.G., 2001. Evaluación del Cultivo de Mojarra de (*Oreochromis niloticus*) en Jaulas Flotantes en la Laguna de Metztlán, Edo. de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 61 p.
- Bagenal, T. 1978. Aspects of fish fecundity: 75-101. En Shelby, D. Gerking (Edited). *Ecology of freshwater fish production*. Ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edimburgo, Melbourn.
- Baltazar, P. M., 2007. La Tilapia en el Perú. *Acuicultura, Mercado y Perspectivas*. *Rev. Perú Biol.* 13 (3): 267-273.
- Barbieri G., M.T. Giamas, F.A.R. Teixeira, E.C. Campos, H. y Vermulm Jr, 2000. Biología populacional da Tilápia, *Oreochromis niloticus*, da represa de guarapiranga, São Paulo-

- II. Dinámica da reproducao. Revista Boletín do Instituto de Pesca, São Paulo, 26(1): 9-13.
- Basurto, M. 1995. Algunos aspectos reproductivos de la tilapia *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Chila, Veracruz. Biotam, 6(3): 32-41.
- Bayuelo E. y O. Sanz, 2005. Reproducción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el Jardín Zoológico de la Habana. Ciencias 3: 63-70.
- Benítez, F. J. 1991. La gónada de los teleósteos. Temas Actuales sobre Reproducción de Teleósteos. ENEP Iztacala. UNAM, México. 45-55.
- Benítez, F. J. 1992. Estructura histológica de la gónada de teleósteos. Temas Actuales sobre Reproducción de Teleósteos. ENEP Iztacala. UNAM, México. 119 p.
- Biswas A.K., T. Morita, G. Yoshizaki, M. Maita y T. Takeuchi, 2005. Control of reproduction in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) by photoperiod manipulation. Aquaculture (243): 229-239.
- Boyd, C. E. 1979. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Auburn University. Auburn Alabama. USA. 345 p.
- Campos-Mendoza A., N. Bromage y B.J. McAndrew, 2003. The effect of photoperiod on the reproductive performance of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. Fish Physiology and Biochemistry (1-4): 503-504.
- Çek, S., N. Bromage, C. Randall y Krishen Rana, 2001. Oogenesis, Hepatosomatic and Gonadosomatic Indexes, and Sex Ratio in Rosy Barb (*Puntius conchonius*). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 1: 33-41.
- Coward, K. y Bromage, N.R. 1999. Reproductive physiology of female tilapia broodstock, Reviews in Fish Biology and Fisheries. 10: 1-25.
- Delincé, G. 1992. The ecology of the fish pond system. Klumer Academic Publisher Dordrecht Netherlands. 230 p.
- Devlin, H. R. y Y. Nagahama, (2002). Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. Aquaculture 208: 191-364.
- Dorantes, G.E y Zavala, M.M. 2003. Estudios de la calidad del agua de tres cuerpos de agua acuáticos en el estado de Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 92 p.

- Díaz-Pardo, E., C. Guerra y G. Vázquez. 1986. Estudio bioecológico de la Laguna de Atezca, Hidalgo, México-I. Análisis limnológicos. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Mex. 30: 171-189.
- Eccles, D.H., 1992. FAO species identification sheets for fishery purposes. Field guide to the freshwater fishes of Tanzania. Prepared and published with the support of the United Nations Development Programme (project URT/87/016). FAO, Rome. 145 p.
- Estrada, F. E. y A. M. C. Uribe, 2002. Atlas de Histología de Vertebrados. UNAM. 222 p.
- Fernando, C.H., 1991. Impacts of fish introductions in Tropical Asia and America, Can. J. Fish Aquat. 48. (suplem.1): 24-32.
- Fryer, G. y T.D. Iles, 1972. The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa. Their Biology and Evolution. Oliver and Boyd, Edinburgh, Scotland. 641 p.
- García, A.G, 2006. Histología y Biología Reproductiva de tilapia en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 139 p.
- García-Berthou, E. y R. Moreno-Amich. 1993. Multivariate analysis of covariance in morphometric studies of the reproductive cycle. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 1394-1399.
- García, G. M. A. 2011. Reproducción de *Oreochromis niloticus* en el bordo "La Palapa", Morelos, Méx., Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM., México, D. F. 95 p.
- García, T. y P. Phillip, 1986. Desarrollo de los ovocitos en la tilapia *Oreochromis aureus*. Revista de Investigaciones Marinas 2: 63-70.
- Gómez-Márquez, J.L., A.R.M. Castillo, G.M.A Fabila y D.V.A Zamora, 1993. Reproducción de la tilapia en la Laguna "El Rodeo", Estado de Morelos, México. Revista Tópicos de Investigación y Posgrado 1: 16-22.
- Gómez-Márquez, J. L. 2002. Estudio limnológico-pesquero del lago Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM, México. 181 p.
- Gómez-Márquez, J.L., B. Peña-Mendoza, I.H. Salgado-Ugarte y M. Guzmán-Arroyo, 2003. Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Coatetelco lake, Morelos, México. Revista de Biología Tropical 51: 221-228.
- Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza, I. H. Salgado-Ugarte, y Arredondo-Figueroa, J. L. 2008. Age and growth of the tilapia, *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) from a tropical shallow lake in Mexico. Rev. Biol. Trop. 56(2): 875-884.

- Graaf, G.J., F. Galemoni y E.A. Huisman, 1999. Reproductive biology of pond reared Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research* 30: 25-33.
- Granado, L. C, 2002. *Ecología de Peces*. Primera Reimpresión. Editorial Secretariado de Publicaciones Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 219 p.
- Grier, H. 2003. The Unifying concept: Germinal epithelia in the male and female preproductive systems 9-13. En: *Curso: Reproducción en peces*. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 17-21 de Noviembre.
- Hafedh, A.Y.S., A.Q. Siddiqui, M.Y. Al-Saiady, 1999. Effects of dietary protein levels on gonad maturation, size and age at first maturity, fecundity and growth of Nile tilapia. *Aquaculture International* 7: 319-332.
- Hernández-Avilés, J.S. y Peña-Mendoza, B. 1992. Rendimientos piscícolas en dos bordos semi-permanentes en el estado de Morelos, México. *Hidrobiológica* 3/4: 11-23.
- Holden, M. y D. Raitt, 1975. *Manual de Ciencia Pesquera*. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. FAO. Pesca. (115) Rev. 1: 211p.
- Hulata, G., 1997. Large-scale tilapia alevines production in Israel. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* 49: 174-179.
- INEGI. 2001. *Anuario Estadístico Morelos*. Edición 2007. México. 254 p.
- INEGI. 2007. *Cuaderno Estadístico Municipal de Ayala, Morelos*. Edición 2001. México. 254 p.
- Instituto de Biología. "*Oreochromis niloticus* - IBUNAM: CNPE: PE13925".UNIBIO: Colecciones Biológicas. 2008-03-14. Universidad Nacional Autónoma de México. Consultada en: 2010-2-14. Disponible en: <http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:CNPE:PE13925>.
- King, M., 1995. *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Editorial Fishing News Books. Primera Edición. England. 342 p.
- Kobelkowsky, A., 2003. Anatomía macroscópica del sistema reproductor y caracteres sexuales secundarios 14 -16. En: *Curso: Reproducción en peces*. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 17-21 de Noviembre.

- Kolding, J. 2006. Population dynamics and life-history styles of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*, in Ferguson's Gulf, Lake Turkana, Kenya. *Environmental Biology of Fishes*. 37(1): 25-46.
- Komolafe, O.O. y G.A.O. Arawomo, 2007. Reproductive strategy of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in Opa reservoir, Ile-Ife, Nigeria. *Revista de Biología Tropical* 2: 595-602.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Miller y D.R.M. Pasi6n, 1977. *Ichthyology*. Segunda Edici6n. Editor Wiley. New York. USA. 506 p.
- Little, D.C., 1989. An evaluation of strategies for production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) alevines suitable for hormonal treatment. Ph.D. Thesis, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. 10: 17-20.
- Manr6quez, L.Y. 2005. Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* por medio de otolitos en el lago de Coatetelco, Morelos., Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, M6xico. 111 p.
- Margalef, F. 1983. *Limnolog6a*. Omega. Barcelona, Espa6a. 1010 p.
- Mendieta, H., 1985. Estudio Preliminar del 6ndice Gonadosom6tico de *Tilapia aurea*. *Revista Latinoamericana de Acuicultura* 10: 6-12.
- Morales A., 1991. La tilapia en M6xico biolog6a, cultivo y pesquer6as. Primera Edici6n. A.G.T Editor, S.A. M6xico, D.F. 190 p.
- Moyle, B.P. y J.J. Cech Jr., 2000. *Fishes: An Introduction to Ichthyology*. Fourth edition. Prentice Hall. 612 p.
- Mu6et6n-G6mez, M.S., M. Villarejo-Fuerte, G. Garc6a-Melgar, 2000. Manual de t6cnicas histol6gicas aplicadas a organismos marinos. 1<sup>a</sup>. Edici6n. Editorial Universidad Aut6noma de Baja California Sur. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Baja California Sur, M6xico. 81 p.
- Nagahama, Y., 1983. The Functional Morphology of Teleost Gonads: 223-275. En: Hoar, S. y J. Randall (Editores). *Fish Physiology*. Vol IX A. New York: Academic Press.
- Njiru, M., P. Nzungi., A. Getabu., E. Wakwabi., A. Othina., T. Jembe y S. Wekesa. 2006. Are fisheries management, measures in Lake Victoria successful? The case of Nile perch and Nile tilapia fishery. *African Journal of Ecology*. (OnlineEarly Articles).
- Nikolsky, D.V., 1963. *The Ecology of fishes*. Academic Press, New York. 356 p.

- Paxton, J.R y W.N. Eschmeyer, 1995. Encyclopedia of Fishes. Primera Edición. Editorial Academic Press. USA. 240 p.
- Pauly. D. 1984. Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for use with Programmable calculators. ICLARM. Manila, Philippines. 325 p.
- Peña-Mendoza, B., J.L. Gómez-Márquez, I.H. Salgado-Ugarte y D. Ramírez-Noguera, 2005. Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Emiliano Zapata dam, Morelos, México. Revista Biología Tropical 53 (3-4): 515-522.
- Peña-Mendoza, B., J.L. Gómez-Márquez y G. García-Alberto, 2011. Ciclo reproductor e histología de las gónadas de tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes:Cichlidae). Ciencia Pesquera 19(2): En prensa.
- Pérez, O.G. y J.S. Patlani, J. 2002. Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la Presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM, México. 84 p.
- Prat, N. y Rieradevall, M., 1998. Criterios de evaluación de la calidad del agua en lagos y embalses basados en los microinvertebrados bentónicos. Actual. Biol. 20(69): 137-147.
- Ramírez, N.D. y C.L. Cruz, 2000. Aspectos reproductivos de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 53 p.
- Rodríguez, G.M., 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. Primera Edición. Editorial AGT Editor. México, D.F 79 p.
- Romero-Rojas, J.A. 1999. Calidad del agua. Ed. Alfaomega. México, D. F. 273 p.
- Saito, Q.V.M., 2004. Edad y crecimiento por lectura medio de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 87 p.
- Sastré, B. L. 2008. Análisis Biológico Pesquero de *Oreochromis niloticus* en la Presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Tesis de Maestría. FES Zaragoza, UNAM. 137 p.
- Salgado, U,I.H. 1992. El Análisis exploratorio de datos biológicos. Edición Marc Ediciones. México. 242 p.
- Salgado-Ugarte, I.H., J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza, 2005. Métodos actualizados para Análisis de Datos Biológico-Pesqueros. FES Zaragoza, UNAM, México. 240 p.

- SEPESCA. 1988. Manual Técnico para el cultivo de la tilapia en los centros Acuícolas de la Secretaria de Pesca. 202 p.
- Smith, S.J., W.O. Watanabe, J.R. Chan, D.H. Ernst, R.I. Wicklund y B.L. Olla, 1991. Hatchery production of Tilapia roja of Florida seed in brackishwater Tanques: the influence of broodstock age. *Aquaculture and Fisheries Management* 22:141-147.
- Taylor, R.G., H.J. Grier y J. A. Whittington, 1998. Spawning rhythms of common snook in Florida. *Journal of Fish Biology* 53, 502–520.
- Teugels, G.G. y D.F.E. Thys Van Den Audenaerde, 2003. Cichlidae. 521-600. En: D. Paugy, C. Lévêque and G.G Teugels (eds.). *The fresh and brackish water fishes of West Africa Volume 2. Coll. faune et flore tropicales 40. Institut de recherche de développement, Paris, France, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, France and Musée royal de l'Afrique Central, Tervuren, Belgium.*
- Torres-Orozco, R.B., 1991. Los peces en México. Primera Edición. Editorial AGT Editor, S.A. México, D.F. 235 p.
- Tovar, G. A., 2005. Edad y crecimiento de (*Oreochromis niloticus*) por medio de estructuras duras. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM, México. 74 p.
- Trewavas, E., 1983. A review of the Tilapiine fish of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis*, and *Danakilia*. *Bull Br. Mus. (Nat. Hist.) Zool.* 583 p.
- Vásquez J., T. Sánchez y D. Fonticiella, 1988. Formación de bancos de reproductores de *Oreochromis aureus*. *Revista Latinoamericana de Acuicultura* 38: 42-51.
- Wallace, R. A. y K. Selman, 1981. Cellular and dynamic aspect of oocyte growth in teleosts, *Am. Zool.*, 21, 325.
- Welcomme, R.L. 1967. The relation between fecundity and fertility in the mouthbrooding cichlid fish *Tilapia leucosticta*, *Journal of Zoology* 151: 453-468.
- Wetzel, R.G. y G.E. Likens. 1991. *Limnological analysis. Second Edition.* Springer Verlag, New York. 391 p.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology. Lakes and Rivers Ecosystem. Third Edition.* Academic Press. 1006 p.

Descripción de la maduración ovárica para *Oreochromis niloticus*

Fase	Estadio	Descripción macroscópica y microscópica de Ovarios.
I	Inmaduro	Lóbulo alargado. No es posible distinguir entre testículos y ovarios.
II	Desarrollo	Longitud de 2.1 cm, diámetro de 0.27 cm y peso promedio de 0.22 g, coloración rosáceo a amarillo, dos tamaños de folículos: 100–1 000 $\mu\text{m}$ y de 1 001–2 000 $\mu\text{m}$ . Folículos en previtelogenésis en los cuales se observaron las células foliculares poco diferenciadas, la membrana basal, la zona pelúcida, el citoplasma, el núcleo prominente y central conteniendo nucléolos y cromosomas. Folículos en vitelogénesis temprana comenzando la acumulación de las vesículas vitelinas.
III	Maduración	En promedio longitud de 2.5 cm, diámetro de 0.53 cm y peso de 1.27 g, coloración amarillenta, se identificaron tres tamaños de folículos: 100–1 000 $\mu\text{m}$ , 1 001–2 000 $\mu\text{m}$ y 2 001–3 000 $\mu\text{m}$ . Se observan folículos en previtelogenésis, vitelogénesis temprana y avanzada. En estos últimos se observa la membrana vitelina bien diferenciada; así como las células foliculares. Las vesículas vitelinas ocupan la mayor parte del citoplasma del folículo.
IV	Reproductiva	Coloración amarillenta a naranja, longitud, diámetro y peso promedio de 2.9 cm, 0.72 cm y 2.38 g respectivamente, dos tamaños de folículos de 100–1 000 $\mu\text{m}$ y 2 001–3 000 $\mu\text{m}$ . Existe acumulación de glóbulos de vitelo en el citoplasma del folículo, el núcleo se rompe y migra hacia el polo animal, los cromosomas se condensan, las células foliculares forman una capa sencilla de células, la membrana vitelina es más evidente.
V	Posdesove	Longitud de 2.3 cm, diámetro de 0.43 cm y peso 0.7 g en promedio, paredes flácidas, traslucidas o sanguinolentas, dos tamaños de folículos: 100–1 000 y 2 001–3 000 $\mu\text{m}$ con mayor presencia de los pequeños y pocos o ausencia de los más grandes.

**Descripción de la maduración testicular para *Oreochromis niloticus***

<b>Fase</b>	<b>Estadio</b>	<b>Descripción macroscópica y microscópica de los testículos.</b>
<b>I</b>	<b>Inmaduro</b>	Lóbulo alargado. No es posible distinguir entre testículos y ovarios.
<b>II</b>	<b>Desarrollo</b>	Color blanco translucido a opaco, con longitud de 3.3 cm, diámetro de 0.16 cm y peso de 0.17 g en promedio. Gran cantidad de espermatogonias en la periferia del testículo, espermatocitos primarios y secundarios ocupan casi todo el espacio interior del testículo, el lumen lobular reducido a su mínima expresión.
<b>III</b>	<b>Maduración</b>	Coloración de blanco a crema, con longitud de 4.6 cm, diámetro de 0.31 cm y peso de 0.61 g en promedio. La cantidad de espermatogonias disminuye, los espermatocitos primarios y secundarios ocupan gran parte del espacio interior del testículo. El lumen lobular ocupa de uno a dos tercios del espacio interior del testículo. Hay presencia de espermatozoides.
<b>IV</b>	<b>Reproductiva</b>	Coloración crema y longitud de 5.5 cm, diámetro de 0.45 cm y peso de 1.24 g en promedio. Las espermatogonias, los espermatocitos primarios y secundarios son reducidos a su mínima expresión y relegados a la periferia del testículo. Las espermátides ocupan la periferia del lumen lobular. Los espermatozoides ocupan toda la luz del lumen lobular. El lumen lobular abarca más de dos tercios del espacio interior del testículo.
<b>V</b>	<b>Posdesove</b>	Coloración crema con paredes flácidas, longitud, diámetro y peso promedio de 3.9 cm, 0.14 cm y 0.14 g respectivamente.

**Figura 1.** *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757).

**Figura 2.** Ubicación del bordo Amate amarillo, Morelos.

**Figura 3.** Relación longitud total – longitud patrón de la población total de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 4.** Relación peso – longitud de la población total de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 5.** Relación peso total– longitud total para la población de machos de *O. niloticus*.

**Figura 6.** Relación peso total– longitud total para la población de hembras de *O. niloticus*.

**Figura 7.** Proporción de sexos durante el periodo de muestreo.

**Figura 8.** Factor de condición de Clark para la población de hembras (Ch) y machos (Cm).

**Figura 9.** Talla de primera madurez sexual para machos de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 10.** Talla de primera madurez sexual para hembras de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 11.** Comportamiento de la fecundidad relativa para hembras de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 12.** Variación mensual del IGS e IHS en hembras y machos durante el periodo de muestro.

**Figura 13.** Distribución de la madurez gonádica para la población de machos.

**Figura 14.** Comportamiento de la madurez gonádica para la población de hembras.

**Figura 15.** Desarrollo gonádico de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 16.** Desarrollo gonádico de los ovarios de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 17.** Folículos en estadio II de *Oreochromis niloticus* (10X).

**Figura 18.** Folículos presentes en el estadio III de maduración (10X).

**Figura 19.** Folículos presentes en el estadio IV de maduración (10X).

**Figura 20.** Folículos en el estadio V de recuperación (10X).

**Figura 21.** Desarrollo gonádico de los testículos de *Oreochromis niloticus*.

**Figura 22.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II, donde se identifica citoplasma (C), núcleo (N), folículos en previtelogenésis (1), células de la granulosa (G), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO), (10X).

**Figura 23.** Micrografía de folículos vitelogenéticos de ovario en estadio III, se observan células de la teca interna (Ti) y externa (Te), tejido conjuntivo (TC), membrana basal (MB), células de la granulosa (G) y membrana vitelina (MV), (10X).

**Figura 24.** Micrografía de corte transversal donde se observan folículos maduros en estadio IV, se observan folículos previtelogenéticos (1) y folículos maduros (2), además de tejido conjuntivo (TC), capas foliculares (CF), vitelo (V) y pared del ovario (PO) (10X).

**Figura 25.** Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV, se observan membrana vitelina (MV), membrana basal (MB), gránulos de vitelo (Gv), células de la teca (T) y tejido conjuntivo (TC) (10X).

**Figuras 26 y 27.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio II, en las que se identifican lumen lobular (LL), pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ep) y espermatocitos secundarios (Es) tejido conjuntivo (TC), lóbulos (L), cistos (C) (10X).

**Figuras 28 y 29.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III, se identifica los espermatozoides (E), la pared testicular (PT), lumen lobular (LL), espermatocitos secundarios (Es) y espermátidas (Ed) (10X).

**Figuras 30 y 31.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan espermatozoides (E), espermatocitos secundarios (Es), pared testicular (PT), espermátidas (Ed), lumen lobular (LL) y pared del lumen lobular (PI) (10X).

**Figura 32.** Variación mensual de las medias del peso total, peso del hígado, peso eviscerado y peso de los testículos de *O. niloticus*.

**Figura 33.** Variación mensual de las medias del peso total, peso del hígado, peso eviscerado y peso de los ovarios de *O. niloticus*.

**Figura 34.** Variación de los sólidos disueltos y la visibilidad en el bordo Amate amarillo durante el periodo de muestreo.

**Figura 35.** Variación de la temperatura ambiente, temperatura del cuerpo de agua, pH y oxígeno disuelto en el periodo de muestreo.

**Figura 36.** Variación de la dureza total y alcalinidad total en el bordo Amate amarillo durante el periodo de muestreo.

**Figura 37.** Comportamiento de la conductividad, temperatura ambiente y temperatura del agua en el bordo Amate amarillo.

**Figura 38.** Relación dureza total e índices gonadosomático y hepatosomático.

**Figura 39.** Relación oxígeno disuelto e índices gonadosomático y hepatosomático.

**Figura 40.** Relación sólidos disueltos e índices gonadosomático y hepatosomático.

**Figura 41.** Relación alcalinidad total e índices gonadosomático y hepatosomático.

**Tabla 1.** Longitud patrón, Longitud total y peso total de machos y hembras de *O. niloticus* obtenidos durante el periodo de trabajo.

**Tabla 2.** Matriz de correlación para la longitud total y longitud patrón con el peso total de *O. niloticus*.

**Tabla 3.** Longitud, diámetro y peso de los ovarios de *O. niloticus*.

**Tabla 4.** Variación y longitud de los ovocitos de *Oreochromis niloticus*.

**Tabla 5.** Longitud, Diámetro y Peso de testículos de *O. niloticus*.

**Tabla 6.** Parámetros físico-químicos en el Bordo Amate amarillo, en el periodo de Marzo del 2009 a Abril del 2010.