



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

**Histología y biología reproductiva  
de tilapia en el Estado de Morelos.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G O**

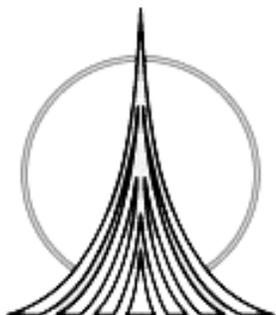
**P R E S E N T A :**

**GARCÍA ALBERTO GABRIELA**

**DIRECTOR DE TESIS: Dra. BERTHA PEÑA MENDOZA**

**PROYECTO FINANCIADO POR DGAPA PAPIIT IN201105**

**Y BECARIO DGAPA PARA DESARROLLO DE TESIS.**



**MÉXICO, D. F.**

**NOVIEMBRE, 2006.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

Martes, 7 de Noviembre del 2006.

## AGRADECIMIENTOS

*At la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme la oportunidad de ser parte de ella.*

*At la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por mi formación profesional.*

*At la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPE/PAPE) por el apoyo brindado para la realización de este estudio.*

*At la Dra. Bertha Peña Mendoza por sus enseñanzas y facilidades para llevar a cabo el presente trabajo, pero sobre todo por su valiosa amistad y consejos que me han ayudado a salir a delante y ser una mejor persona.*

*At el Doctor José Luis Gómez Márquez, por la comprensión, facilidades, paciencia, colaboración, apoyo y enseñanzas, pero que al igual que la Dra. Bertha por su valiosa amistad.*

*At el Biol. José Luis Guzmán Santiago, por sus valiosas observaciones realizadas a lo largo de la presente investigación y por su amistad y consejos otorgados.*

*At la M. en Bra. Judith Villavicencio Macias, por sus valiosos comentarios tan acertados durante la revisión de este estudio.*

*At la Biol. Angélica Elaine González Schaff, por sus valiosas observaciones durante la revisión del manuscrito de esta investigación.*

*At todos los integrantes del laboratorio de Limnología de la FFZ Zaragoza por la colaboración recibida durante todas las etapas de la realización de este trabajo.*

*At todos los profesores que a lo largo de la carrera me instruyeron y formaron como profesionista, en especial al M. en C. Faustino López B. y Carmen Salgado por su apoyo, consejos y amistad.*

*At todos mis compañeros de la carrera.*

GRACIAS

Martes, 7 de Noviembre del 2006.

## Dedicatorias

*A mis padres Andrés y Lidia, por todo lo que han hecho y hacen por mi, y sobre todo por el apoyo incondicional que siempre he recibido de ustedes, por darme el ejemplo de perseverancia y por creer en mi. "Los quiero mucho".*

*A mis hermanas Ana Lilia y Laura por su compañía y ayuda incondicional que he recibido a lo largo de mi vida. "Las quiero".*

*A mi sobrino Dany por darle a mi vida una alegría inmensa. "Besos. Je quiero, mucho, mucho".*

*A mis abuelos Rosita † y Felipe †, que vieron comenzar este sueño y lamentablemente no lo vieron terminar, me hubiera gustado mucho que estuvieran conmigo en este momento "Los extraño mucho".*

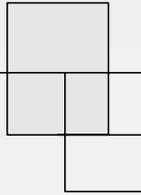
*A toda mi familia (tíos, primos, sobrinos, etc.) por que a pesar de todo siempre me han apoyado y animado a seguir a delante. "Gracias".*

*A Lucina y Viviana por todos los buenos y malos momentos, porque a pesar de que nos une un lazo de sangre la amistad nos unió aún más "La quiero un montón".*

*A ti †, donde quiera que te encuentres porque siempre te tendré en mi mente y corazón, aún a pesar del tiempo. "Nunca te olvidare".*

*A Alberto por ser mi compañero durante toda la carrera, por todo tu apoyo incondicional y aunque ya no estamos juntos quiero decirte que siempre te recordare. A tu familia incluyendo a Joño, les agradezco por todo el apoyo y porque este trabajo es también suyo. "Muchísimas Gracias".*

Martes, 7 de Noviembre del  
2006.



## Dedicatorias

*At mis amigos de la carrera: Juan Manuel, Gerardo, Flena, Esmeralda, Fleonora, Zenia, Daniel, Victoria, Miguel Ángel, Benito, Luis Miguel, Jorge, Arturo, Antelmo, Floisa, Flvira, Genaro, Mariano, Graciela, Brisa, etc., por lo buenos momentos, por su apoyo incondicional y amistad. "Gracias. Siempre los recordare".*

*At Yonadxandi, por ser casi mi comadre, por creer en mi y escucharme en los momentos difíciles, gracias por ser mi amiga. "Besos. Je quiero".*

*At Nestor que a pesar de todo me sigues escuchando, por ser incondicional conmigo aun en contra de muchas cosas. "Gracias"*

*At mis amigos del C.C.H.: Frick (Hermanito), Edgar Israel, Falo, Juanito, Héctor † Gerardo, Manuel, Jessica, Ricardo, Blanca, Bruno, Miriam, Flor, Nayelli, Mónica, Fabiola †, etc., porque a pesar de que el destino nos separo por un ratototote, siempre los querré y no los olvidare porque ustedes fueron parte de mi formación y creyeron en mi. "Los quiero mucho".*

*At la gente que siempre me puso obstáculos y no creyó en mi, porque gracias a ellos hicieron que persistiera y lograra mi meta.*



## INDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>ANTECEDENTES</b>	6
<b>DIAGNOSIS DE LA ESPECIE</b>	9
<b>ZONA DE ESTUDIO</b>	12
Presa Emiliano Zapata	12
Lago Coatetelco	15
<b>OBJETIVOS</b>	18
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	19
Fase de campo	19
Fase de laboratorio	20
Fase de gabinete	20
<b>RESULTADOS</b>	25
<b>Presa Emiliano Zapata</b>	25
Proporción Sexual	26
Relaciones Biométricas	27
Relación Longitud Total-Longitud Patrón	27
Relación Peso Total-Longitud Patrón	28
Factor de Condición (C)	30
Talla de Primera Maduración Sexual (P)	32
Fecundidad Relativa	33
Fecundidad Media ( $\Phi_{DS}$ )	33
Índice Gonadosomático (IGS)	34
Índice Hepatosomático (IHS)	36
Madurez Gonádica	37
Machos	39
Hembras	41
Factores Ambientales	43

---



---

<b>Lago Coatetelco</b>	48
Proporción Sexual	49
Relaciones Biométricas	50
Relación Longitud Total-Longitud Patrón	50
Relación Peso Total-Longitud Patrón	51
Factor de Condición (C)	53
Talla de Primera Maduración Sexual (P)	55
Fecundidad Relativa	56
Fecundidad Media ( $\Phi_{DS}$ )	56
Índice Gonadosomático (IGS)	57
Índice Hepatosomático (IHS)	59
Madurez Gonádica	60
Machos	62
Hembras	64
Factores Ambientales	67
<b>Descripción de la Maduración Gonádica</b>	72
Testículos	73
Ovarios	74
Gónadas Anómalas	77
<b>Análisis Histológico</b>	78
Testículos	78
Ovarios	85
<b>Comportamiento Reproductivo y Desarrollo Embrionario</b>	93
Cortejo y Freza	93
Incubación y cuidado de las crías	94
Desarrollo Embrionario	94
<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	98
Proporción Sexual	98
Relaciones Biométricas	99
Relación Longitud Total-Longitud Patrón	99
Relación Peso Total-Longitud Patrón	99
Factor de Condición (C)	101
Talla de Primera Maduración Sexual (P)	102
Fecundidad	103
Índice Gonadosomático (IGS) y Hepatosomático (IHS)	105
Madurez Gonádica	106
Análisis Macroscópico de las Gónadas	107

---



---

Análisis Histológico de las Gónadas	108
Comportamiento Reproductivo	111
Desarrollo Embrionario	112
Factores Ambientales	113
<b>CONCLUSIONES</b>	116
<b>REFERENCIAS</b>	118
<b>ANEXO</b>	127
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	130
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	137

## RESUMEN

En el presente trabajo se investigaron los aspectos reproductivos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en dos sistemas acuáticos del Estado de Morelos: la presa Emiliano Zapata (enero del 2004 a marzo del 2005) y el lago Coatetelco (Marzo 2004 a febrero del 2005). De la pesca comercial local con atarraya de abertura de luz de malla de 6.5 cm se obtuvieron un total de 518 peces para la presa Emiliano Zapata con una proporción sexual de 5.7:1 macho:hembra ( $\chi^2 = 127.02$ ,  $p < 0.05$ ); 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 períodos de desove en ambos sistemas: el primero responde a la época de secas y es de enero a febrero para ambos sistemas; mientras que el segundo responde a la época de lluvias y es de junio a julio. Con base en las observaciones macroscópicas y microscópicas, se realizó la descripción morfológica e histológica de testículos y ovarios de los peces. Además se realizó el seguimiento del comportamiento reproductivo y del desarrollo embrionario, el cual se llevó a cabo en aproximadamente 7 días, desde el cortejo hasta la formación completa de la cría.

---

---

## INTRODUCCIÓN

La tilapia fue introducida a México en 1964 y desde entonces ha sido muy apreciada en la piscicultura; su siembra en varios embalses mexicanos ha generado fuentes de alimentación y empleo en sitios en donde no existía una actividad pesquera importante (Basurto, 1984; Morales, 1991).

Estudios biológicos sobre las diferentes especies de tilapias, han sido realizados en México, principalmente en el estado de Oaxaca, lugar en donde se inició la siembra de tilapia (Basurto, 1984). A pesar de lo anterior, el cultivo de la tilapia a nivel mundial presenta grandes problemas, debido principalmente a su maduración precoz, reproducción prolífica, sobrepoblación y bajo crecimiento. Además, a menudo son consideradas como nocivas, debido a que compiten por alimento y espacio con las especies nativas (Varadaraj *et al.*, 1994).

La conducta reproductiva en la mayoría de los animales es cíclica, en periodos más o menos regulares. La mayoría tiene un ciclo anual de reproducción y una vez que han comenzado con él, lo continúan hasta que mueren, este proceso se denomina semilparidad. Muchas especies desovan más de una vez en un año y más o menos continuamente, a este proceso se le llama iteroparidad (Lagler *et al.*, 1984; Miller, 1984).

En los peces se observan por lo menos tres tipos de reproducción: bisexual, hermafrodita y partenogenética. En la reproducción bisexual que es la clase que prevalece, los espermatozoides y los óvulos se desarrollan en individuos masculinos y femeninos por separado. En el hermafroditismo (un tipo de intersexualidad) los dos sexos se encuentran en un mismo individuo, en algunas especies existe la autofertilización y en otras el verdadero hermafroditismo como sucede en ciertos serránidos, salmónidos, percas y hueros los cuales funcionan primeramente como machos y luego como hembras. Finalmente la partenogénesis que consiste en el desarrollo del óvulo sin fertilización, condición que debería de llamarse ginegénesis y ocurre en un pez tropical poecílido vivíparo del Amazonas *Poecilia formosa* (Lagler *et al.*, 1984).

La mayoría de los teleósteos presentan desoves cíclicos, en donde los ovarios tienen diferente apariencia durante las diferentes etapas del ciclo reproductivo, por lo que se describen tres tipos de desarrollo de los ovarios: los reproductores totales (sincrónicos) son las especies que después de comenzar a madurar las gónadas, todos los óvulos o el esperma que van a ser emitidos por cada pez en un solo período de reproducción se desarrollan simultáneamente. Los reproductores parciales (asincrónicos) son aquellos en los que la reproducción tarda mucho tiempo y se pueden encontrar simultáneamente en los ovarios, óvulos en fases muy diferentes de maduración, antes, durante y después del desove. Y por último el sincrónico por grupos, cuando al menos dos poblaciones de ovocitos se encuentran en diferente etapa (Holden y Raitt, 1975; Wallace y Selmam, 1981, Redding y Patiño, 1993:).

---

---

Existen otros factores que influyen en la reproducción, entre ellos está la edad, el crecimiento, la talla y la alimentación. Otro factor importante es la fecundidad, la cual aporta los datos necesarios para conocer el potencial reproductivo, ya que la fecundidad es el número de óvulos maduros en los ovarios de la hembra justo antes del desove y se puede cuantificar de tres formas diferentes, la primera es la fecundidad absoluta, que es el número de óvulos que se encuentran en el ovario y se aplica a nivel individuo; la segunda es la fecundidad relativa, se obtiene del número de óvulos por unidad de peso y la tercera, es la fecundidad de población, que es la suma de las fecundidades absolutas y relativas y por tanto el número de óvulos desovados en una temporada (Rodríguez, 1992).

Así mismo, la fecundidad de los peces esta íntimamente relacionada con la protección de los huevos. Las hembras pueden llegar a depositar óvulos de diferentes tamaños, en diferentes periodos durante la estación de desove, debido entre otros factores a que el alimento escasea. Asimismo, también existe relación entre el tamaño, el contenido de vitelo y la viabilidad de los óvulos en relación con la edad del pez. Los peces más jóvenes y los más viejos depositan óvulos más pequeños y con menos sustancias de reserva que aquellos individuos de edad media, mismos que presentan mayor proporción de óvulos fertilizados, mayor contenido de sustancias de reserva y por lo tanto, mayor viabilidad y sobrevivencia (Gallardo y Laguarda, 1985).

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.

La importancia de conocer la estructura microscópica de las gónadas, radica en que, estos órganos no están exentos de desarrollar como respuesta a eventos endógenos o a agentes exógenos, diversas alteraciones que solo pueden ser detectadas y definidas desde el punto de vista histológico; tal es el caso de fenómenos degenerativos como la atresia o de otros como proliferativos del tejido conjuntivo del estroma ovárico; o bien los de tipo inflamatorio o tumoral (Benítez, 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 espermatoцитos 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).

La estructura testicular en teleósteos varía de especie a especie, sin embargo hay dos tipos básicos: lobular y tubular que están clasificados de acuerdo a la diferenciación del tejido germinal (Billart *et al.*, 1982 citado en Nagahama, 1983; Benítez, 1992).

El tipo lobular, es típico de los teleósteos, está compuesto de numerosos lóbulos, los cuales están separados por una delgada capa de fibras de tejido conectivo, su arreglo varía considerablemente. Dentro de los lóbulos la espermatogonia tiene numerosas divisiones mitóticas para producir cistos. 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 continúa en el conducto espermático. El tipo tubular, esta restringido al grupo Atheriniforme. Los túbulos generalmente están orientados entre las tunicas externas y la cavidad central dentro de la cual los espermatozoides son liberados (Billart *et al.*, 1982 citado en Nagahama, 1983; Rodríguez, 1992).

Por su parte, 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 endocrina 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 tecales 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, Benítez, 1992, Rodríguez, 1992).

Existen patrones reproductivos por especie; sin embargo, se observan variantes poblacionales en relación a la zona geográfica, causa que obliga a evaluar la madurez gonádica. La evaluación gonádica de hembras y machos tiene implicaciones desde el punto de vista ecológico como de cultivo. Por lo que se requiere establecer parámetros como: la proporción de machos y hembras que garanticen la unión de productos sexuales durante la fecundación, la primera edad en la que se alcanza la madurez sexual, el establecimiento de la época reproductiva, etcétera,

---

---

todos ellos necesarios en el manejo de las pesquerías, ya que tiene repercusión en la producción.

La mojarra-tilapia en los últimos años se ha convertido en una de las especies más importantes en el país por sus extraordinarias cualidades biológicas como son su gran adaptabilidad, reproducción en todo el año; ser un cultivo que requiere de bajas inversiones y representa una fuente de proteínas a bajo costo para la población. Debido a lo anterior es importante conocer el ciclo reproductivo de la especie para determinar la explotación racional de la misma, así como su posible introducción a otros cuerpos de agua (bordos de temporal) en el estado de Morelos.

---

---

## ANTECEDENTES

Con base en la revisión bibliográfica realizada para el presente estudio, a continuación se muestran los diferentes trabajos que se han realizado con la especie en cuestión sobre aspectos relacionados con actividades reproductivas a nivel biológico e histológico:

Babiker e Ibrahim (1979), al efectuar un estudio sobre la biología de la reproducción de la *Tilapia nilotica* (= *Oreochromis niloticus*) de diferentes edades, reportan que la proporción sexual fue de 2.81:1 y 0.47:1 (hembras:machos) en poblaciones de peces jóvenes y viejos respectivamente. Además observaron que la fecundidad estaba más relacionada con la longitud ( $r=0.860$ ) y peso corporal ( $r=0.806$ ) que con la edad ( $r=0.604$ ).

Basurto (1984), realizó un estudio en la Laguna de Chila, Veracruz con *O. niloticus*, en el cual obtuvo una proporción sexual de 1:1.6 (hembra:macho) y menciona que la talla de primera madurez sexual fue de 235 mm para hembras y 240 mm para los machos. Estimó una fecundidad media de 3200 ovocitos y determinó que la especie se reproduce todo el año, pero con mayor frecuencia en marzo.

Barbieri y Cruz (1988), estudiaron el desarrollo biológico de la *Tilapia rendalli*, en la presa Monjolinho, Brasil. Determinaron que el tipo de crecimiento de la especie es isométrico. El periodo reproductivo ocurre de agosto a octubre y la talla de primera maduración gonadal de 163 mm para hembras y de 184 mm para machos.

Menocal (1988), determinó las ecuaciones de la fecundidad con la longitud y peso eviscerado, no existiendo diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de las ecuaciones lineal, exponencial y potencial. La frecuencia de los ovocitos demuestra que la ovogénesis ocurre continuamente a través del periodo de desove, por lo que determinó la fecundidad mediante el conteo directo de los óvulos. Analizó la variación de la fecundidad y del diámetro de los óvulos en tres meses del periodo del desove (marzo, mayo y agosto), encontrando diferencias significativas para el tamaño de los óvulos; por lo que concluye que el tamaño de los óvulos está en relación con el tamaño del pez.

Alejo *et al.* (1989), analizaron algunos aspectos ecológicos, reproductivos y poblacionales de *Oreochromis mossambicus*. Obtuvieron una proporción sexual de 5:4 ♀:♂, se observaron dos periodos reproductivos: diciembre y septiembre. La fecundidad se vio más relacionada con el peso total de los organismos. El crecimiento fue de tipo alométrico negativo, de acuerdo con la relación peso-longitud.

Alvarado *et al.* (1990), trabajaron en el lago "El Rodeo", Morelos, sobre algunos aspectos reproductivos de la mojarra *Oreochromis mossambicus* y establecieron que la proporción de

---

---

---

---

sexos de la población fue de 1:1. La fecundidad de las hembras se vio influenciada por la longitud (86.142%) y no por el peso (75.683%), con un número mínimo de 500 óvulos por desove. Determinaron la existencia de tres épocas reproductivas (primavera, verano e invierno).

Palacios (1995), realizó un estudio biológico pesquero de la tilapia *O. aureus* en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero con 6000 organismos analizados de los cuales el 56.3 % eran hembras y el 43.7 % machos; especie asincrónica que presenta diferentes estadios de madurez gonádica, presentando dos picos reproductivos, de abril a junio y octubre a diciembre.

Ramos-Cruz (1995), realizó un estudio sobre la reproducción y crecimiento de la mojarra-tilapia *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México. Obtuvo que la población la conformaban el 72.2% machos y 27.8% las hembras. La proporción sexual fue de 2.6:1 (macho:hembra). Alcanza la primera madurez sexual a los 235 mm de longitud total, además detecto tres periodos de reproducción: de enero a abril, de junio a julio y de septiembre a noviembre.

Garduño y Avelar (1996), llevaron a cabo un estudio de edad y crecimiento de *O. niloticus* en el lago Coatetelco y reportan que la mojarra presenta un crecimiento alométrico negativo. Se determinó que no existe diferencia entre el crecimiento para ambos sexos. Los valores del factor de condición evidencian la posible presencia de dos épocas reproductivas principales, en enero y junio.

Barbieri *et al.* (2000), investigaron aspectos de reproducción de *O. niloticus* a través de ejemplares colectados en la presa Guarapiranga (Sao Paulo), en el periodo de agosto de 1996 a julio de 1997. El periodo reproductivo se extiende de septiembre a diciembre y el desove es de tipo fraccionado. El tamaño de la primera maduración gonadal fue estimada en 76 mm, correspondiendo al primer año de vida.

Gómez-Márquez (2002), llevo a cabo el estudio de la mojarra-tilapia del lago Coatetelco, Morelos, obtuvo una proporción de sexos de 1:1 ( $\chi^2 = 0.07$ ;  $p > 0.05$ ). Como talla de primera madurez sexual reporta 145 mm de longitud total y 50 g de peso total. Observó que la fecundidad está en mayor asociación con la longitud total ( $r^2 = 0.8083$ ) que con el peso total ( $r^2 = 0.8064$ ). El número de óvulos de las gónadas osciló entre 104 y 750 con diámetros 1 000 a 3 000  $\mu\text{m}$ , lo que significa que presentó una fecundidad baja.

Pérez y Patlani (2002), realizarón un estudio en la presa Emiliano Zapata sobre edad y crecimiento de la especie *O. niloticus*. Estimaron que la proporción de sexos obtenida de la captura comercial con atarraya de 6.5 cm fue de 1.4:1 (macho:hembra). Con respecto a la relación peso total-longitud total para la población de machos se registró que tienen un crecimiento que tiende a la isometría mientras que en las hembras se encontró un crecimiento alométrico negativo.

---

---

---

---

Ramírez y Cruz (2002), investigaron los aspectos reproductivos de la tilapia *O. niloticus* en la presa Emiliano Zapata en el estado de Morelos, donde obtuvieron una proporción sexual de 1:1.5 hembras:machos. La talla de la primera madurez sexual para las hembras fue de 174 mm y de 177 mm para los machos. Analizaron el número de óvulos, el diámetro y la longitud de la gónada en función del estadio de madurez así como la longitud y diámetro de los testículos. La fecundidad tuvo más relación con la longitud que con el peso total e identificaron dos periodos de desove con respecto a la madurez gonádica, índice hepatosomático, índice gonadosomático y factor de condición.

Gómez-Márquez *et al.* (2003), analizaron algunos aspectos reproductivos de la mojarra-tilapia *Oreochromis niloticus* en el Lago Coatetelco, Morelos. Las hembras representaron el 51% y los machos el 49% del total de la población. La proporción de sexo fue de 1:1.02 (machos:hembras). Las hembras alcanzaron la primera madurez sexual a los 117 mm y los machos a los 120 mm de longitud total. El número de óvulos presentes en las gónadas osciló entre 104 y 709 con diámetros que van 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. Se detectaron dos periodos de máxima actividad reproductiva (verano e invierno).

Canseco (2004), llevó a cabo estudios sobre los aspectos reproductivos de *O. niloticus* en diferentes sistemas acuáticos: naturales, estanques y acuarios de noviembre del 2001 a octubre del 2002. El crecimiento de los organismos en todos los sistemas fue de tipo alométrico negativo con tendencia a la isometría. Analizó el número de óvulos, el diámetro y la longitud de la gónada en función del estadio de madurez, así como la longitud y diámetro de los testículos. Con base en la proporción de estadios gonádicos y el índice gonadosomático se identificaron dos periodos de desove. Además analizó la estructura de los ovarios a nivel histológico.

Manríquez (2005), realizó estudios en aspectos de edad y crecimiento de *O. niloticus* por medio de otolitos en el Lago Coatetelco, Morelos. El intervalo de talla que registro fue de 24 a 232 mm de longitud total, la proporción sexual fue de 1:8.85 (hembra:macho). Registró para la población total y machos un crecimiento alométrico negativo, mientras que para las hembras reportó un crecimiento que tiende a la isometría.

Tovar (2005), realizó un estudio sobre edad y crecimiento de la especie *O. niloticus* por medio de estructuras duras en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Estimó que la proporción de sexos fue de 1:6.16 (hembra:macho). Con respecto a la relación peso total-longitud total registró para la población total y machos un crecimiento alométrico negativo, mientras que para las hembras fue un crecimiento que tiende a la isometría.

---

---

## DIAGNOSIS DE LA ESPECIE

Es conveniente señalar los cambios en la clasificación taxonómica que han presentado las especies de tilapias. Durante la introducción de este grupo de peces en México, sólo se reconocía a nivel mundial el género *Tilapia*, y en 1973 se agrupan las especies en dos géneros de acuerdo a sus hábitos alimenticios: *Sarotherodon* y *Tilapia*. En 1976, cuando se realiza la siembra de tilapia en la laguna de Chila, Veracruz, la especie introducida era conocida como *Tilapia nilotica* (= *D. niloticus*) y es hasta 1982 cuando ocurre una nueva reclasificación de géneros basándose no sólo en los hábitos alimenticios sino también en los reproductivos, adicionando a la clasificación dos géneros distintos: *Oreochromis* y *Danakilia*. En 1983, la Dra. Trewavas separa a las tilapias en 6 géneros distintos, con base a la dentición, así como sus hábitos reproductivos: *Tilapia*, *Tristamella*, *Danakilia*, *Sarotherodon*, *Oreochromis* y *Pelmatochromis*. Es así como la especie hasta entonces conocida como *Tilapia nilotica* se transforma en una sinonimia de *Oreochromis niloticus* (Morales, 1991).

De acuerdo con Berg modificado por Trewavas (1983) *Oreochromis niloticus* se clasifica de la siguiente manera (SEPESCA, 1988).

Phylum:	Vertebrata
Subphylum:	Craneata
Superclase:	Gnathostomata
Serie:	Pisces
Clase:	Actinopterygii
Orden:	Perciformes
Suborden:	Percoidei
<b>Familia:</b>	<b>Cichlidae</b>
<b>Genero:</b>	<b><i>Oreochromis</i></b>
<b>Especie:</b>	<b><i>Oreochromis niloticus</i></b>

Los organismos tienen una coloración grisácea oscura (en el período de reproducción se aclara). Es característico de esta especie franjas negras bien definidas y verticales en la aleta caudal, dorsal y anal; el margen superior de la aleta dorsal es negro o gris. Durante la reproducción, los machos presentan en la superficie ventral del cuerpo y las aletas anal, dorsal y pélvicas color gris oscuro (SEPESCA, 1988).

---

---

*Oreochromis niloticus* presenta de 19 a 22 branquiespinas en la rama inferior del primer arco branquial; AD-XVII-XVIII; con moda de XVII, 12-13, AA III, 10-11; AP I, 5; pectorales 15. De 30 a 32 escamas en una serie longitudinal. La coloración del cuerpo es rosada a morado oscuro, con el filo de la aleta dorsal de color negro, la cabeza rojo púrpura, el vientre rojo o morado y la aleta dorsal presenta líneas negras verticales finas, el color de los ojos es rosado claro y el perfil frontal es convexo (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986). Con respecto al hueso faríngeo, éste presenta un área dentada con densidad baja. En la parte superior presenta dientes bicúspides mientras que en el área inferior dientes monocúspides, curvados hacia atrás (Arredondo-Figueroa y Tejeda Salinas, 1989).



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

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 (Hepher y Pruginin, 1985, Morales, 1991).

Las tilapias como se les conoce en México, son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales del país. Se les encuentra en aguas lénticas principalmente, así como también a las orillas de los ríos entre piedras y plantas acuáticas.

Son especies euritermas siendo el intervalo de tolerancia de 12°C a 42°C. La temperatura ideal para su cultivo fluctúa alrededor de 25°C. Pueden vivir en aguas dulces, salobres y marinas por lo que se les considera especies eurihalinas, el intervalo de tolerancia es de 0 ‰ a 40 ‰ y en algunos casos se ha presentado por arriba de esta salinidad. Soportan concentraciones de oxígeno disuelto bastantes bajas, su requerimiento mínimo es de 0.5 mg/L. Se reproducen a temprana edad alrededor de las 8 o 10 semanas, alcanzando una talla de 7 a 16 cm (Morales, 1996; SEPESCA, 1988).

El género *Oreochromis* es preferentemente planctófago y presenta gónadas pequeñas, pero los huevos contienen gran cantidad de vitelo. Los huevos son de color amarillo naranja de 2.2 a 3 mm y son pocos (menos de 700). Tiene un período prenupcial corto. El macho es polígamo y usa el nido como un sitio temporal para el cortejo y la fertilización de los óvulos; desarrolla una coloración muy marcada en la época de reproducción y fija su territorio en donde establece su nido. Las hembras guardan los huevos y los alevines en la boca por espacio de 20 a 30 días. La supervivencia de las crías es alta. Los nidos tienen la forma de cráteres circulares ligeramente más grandes que la longitud de la hembra y se construyen en el fondo del estanque (Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo, 1986, Muñoz, 1990).

La tribu Tilapiini se clasifica según sus hábitos reproductivos en cinco géneros:

Género	Subgénero	Hábitos reproductivos
<i>Tilapia</i>	3-4	Desovan sobre un sustrato y cuidan los huevos y alevines.
<i>Tristramella</i>	-	Incubadores bucales biparentales.
<i>Danakilia</i>	-	Incubadores bucales (no se conocen detalles).
<i>Saratherodon</i>	-	Incubadores bucales maternos, paternos o biparentales.
<i>Oreochromis</i>	<i>Oreochromis</i>	Desovan en arena y son incubadores maternos.
	<i>Alcolapia</i>	Probablemente como <i>Oreochromis</i> .

SEPESCA, (1988).

## ZONA DE ESTUDIO

El Estado de Morelos tiene 4958.22 Km<sup>2</sup> (0.3 %) de la superficie del país, se encuentra situado en la parte central de México, en la vertiente sur de la serranía del Ajusco y dentro de la cuenca del río Balsas, colinda al norte con el Distrito Federal y el Estado de México; al sur con Guerrero; al este con Puebla; y al oeste con el Estado de México y Guerrero.

### Presa Emiliano Zapata.

La Presa Emiliano Zapata se localiza en el ejido de Tilzapotla, perteneciente al municipio de Puente de Ixtla, en el extremo suroeste del estado de Morelos situado a 18°30' latitud Norte y 99°16'34" longitud Oeste, a 899 m.s.n.m.(figura 2) (Anónimo, 1981).

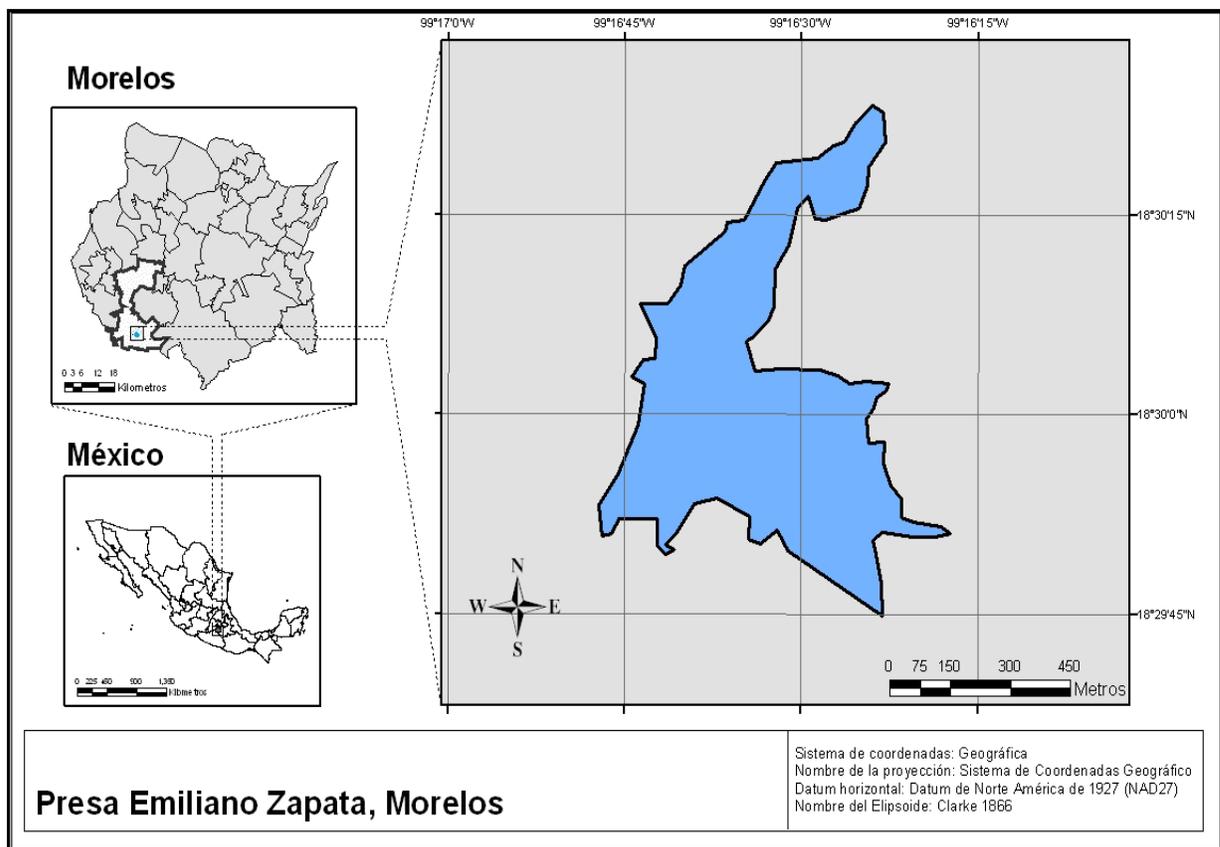


Figura 2. Ubicación de la presa Emiliano Zapata, Morelos.

---

---

Esta presa fue construida por el gobierno del estado de Morelos entre 1969 y 1970, para el aprovechamiento de las aguas de varios arroyos que confluyen al vaso, siendo los más importantes "La Joya", "La Piraña" y "El Grillo" y de esta manera incorporar al riego 83 hectáreas de cultivo de propiedad ejidal (SARH, 1982).

La presa cuenta con una cortina de tipo gravedad de sección semitrapezoidal con capacidad de almacenamiento de 1,560,000 m<sup>3</sup>, capacidad de azolve de 10,000 m<sup>3</sup> y capacidad útil para riego de 1,550,000 m<sup>3</sup>. El vaso presenta una pendiente media aproximada de 0.018 m (Anónimo, 1981, Contreras-Macbeath, 1995, González y López, 1995).

La Presa Emiliano Zapata ocupa un área de 13.2375 hectáreas con un perímetro de 2526.4 m, la profundidad máxima es de 17 m, la profundidad media es de 3.83 m. Es un cuerpo de agua permanente cuya área y volumen depende de la época de lluvias, así como de la extracción debido al manejo de la compuerta para las actividades agrícolas, tiende en la superficie a una forma elíptica y hacia el fondo a una sinusoide elíptica. El cuerpo de agua se clasifica como monomítico cálido, esto es un periodo de circulación y otro periodo de discontinuidad térmica (González y López, 1995).

### **Clima.**

El tipo de clima de la región de acuerdo a Köppen modificado por García (2004) es Aw<sub>0</sub>(w)(i')g", cálido subhúmedo con lluvias en verano y porcentaje de lluvia invernal menor a 5 mm. La precipitación media anual fluctúa entre 800 y 1000 mm y la temperatura media anual registra valores mayores a 24 °C. La temperatura más alta se presenta en mayo siendo de 32 a 33 °C y la más baja en enero con valores de 20 a 21 °C (Anónimo, 1981).

### **Geología.**

En el Estado de Morelos se encuentran dos provincias geológicas, la del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur. El vaso está circundado desde el lado poniente hasta el sureste por formación de rocas sedimentarias que han originado suelos consistentes de arenisca y conglomerado. Desde el extremo noroeste hacia el sureste se extienden formaciones de roca ígnea extrusiva ácida, pertenecientes a la edad Cenozoica del Periodo Cuaternario (Anónimo, 1981).

---

---

## **Suelo.**

El tipo de suelo que constituye el vaso es de tipo aluvial, la unidad de suelo que se encuentra alrededor de la presa es Feozem háplico de textura media y Regosol eútrico, siendo sus principales usos: la agricultura temporal, anual y pastizal inducido de potrero (Anónimo, 1981).

## **Vegetación.**

El tipo de vegetación es de Selva Baja Subcaducifolia y las especies que se presentan en la zona son el huizache (*Acacia sp.*), el Copal (*Bursera fagaroides*), el cuajote (*Bursera copallifera*), el Tepehuaje (*Lysiloma acapulcensis*), el Cazahuate (*Ipomoea wolcottiana*) y el pochote (*Ceiba pentandra*), además matorrales de *Opuntia sp.*, entre otras. La agricultura esta representada principalmente por cultivos de maíz (*Zea mays*) (Anónimo, 1981).

## **Hidrología.**

Los principales afluentes que llegan a la presa son los arroyos El Grillo, La Piraña, La Joya y El Ranchito (Anónimo, 1981).

## Lago Coatetelco.

El lago Coatetelco se localiza en el municipio de Miacatlán, a los  $18^{\circ}45'$  latitud Norte y  $99^{\circ}20'$  longitud Oeste, a 1000 m.s.n.m., este municipio colinda al noroeste con el Estado de México, al este con los municipios de Temixco y Xochitepec; al sur con Puente de Ixtla y al oeste con los municipios de Coatlán del Río y Mazatepec (figura 3) (Anónimo, 1981).

El lago abarca un área superficial de  $1,174,500 \text{ m}^2$  y presenta una profundidad promedio de 0.49 m y profundidad máxima de metro y medio durante la época de estiaje (Gómez-Márquez, 2002).

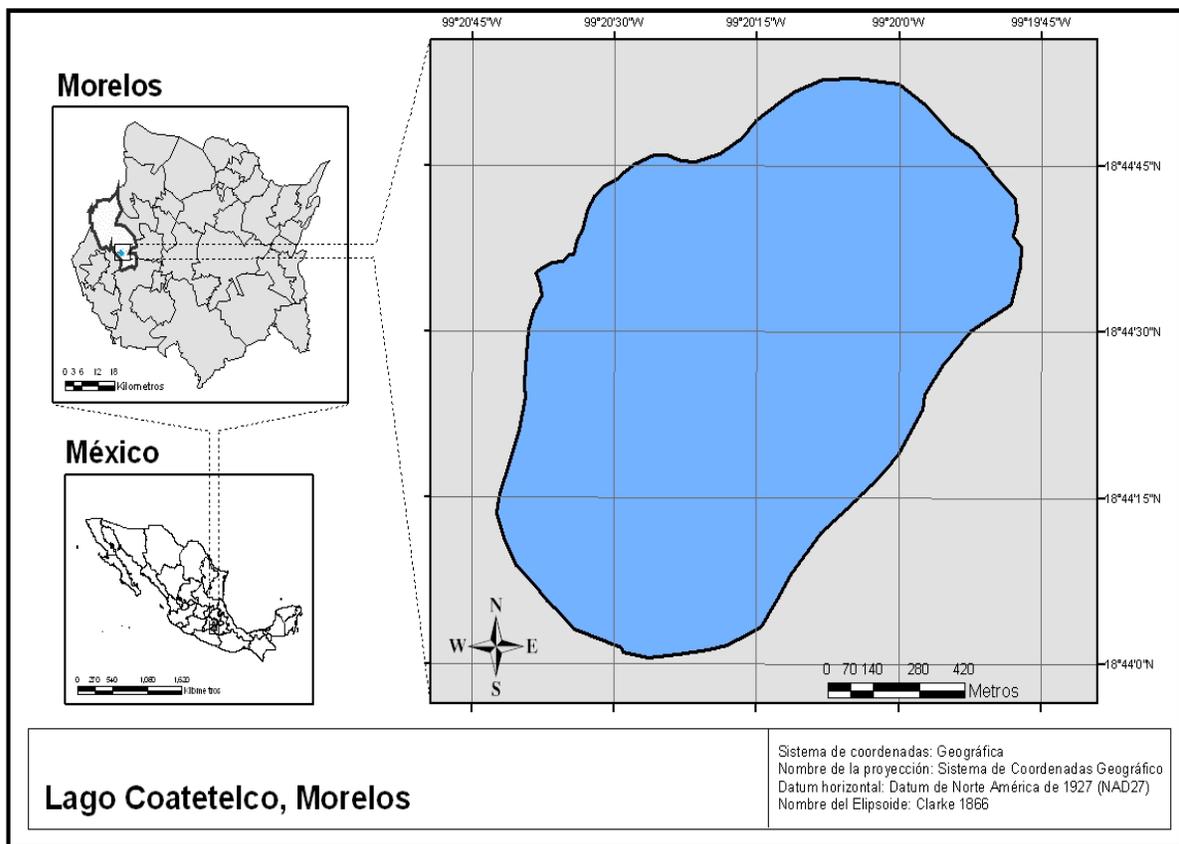


Figura 3. Ubicación lago Coatetelco, Morelos.

---

---

## Clima.

El tipo de clima de la región de acuerdo a Köppen modificado por García (2004) es  $Aw_0(w)(i)g''$ , cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual oscila entre los 26-27°C. La temperatura más alta se presenta en mayo y es de 33 °C, la más baja se registra en los meses de enero y febrero, ambos con un intervalo que va de 20-21 °C. La precipitación media anual oscila entre 800 y 1000 mm. La precipitación máxima se presenta en el mes de septiembre; con lluvias que oscilan entre 190 y 200 mm; la mínima se registra en los meses de febrero, marzo y diciembre con valor de 5 mm (Anónimo, 1981).

## Geología.

El Lago Coatetelco pertenece a la provincia geológica de la Sierra Madre del Sur. Esta provincia cubre la porción central y suroeste del estado y limita al norte y oriente con el Eje Neovolcánico. En esta provincia afloran las rocas más antiguas de Morelos, las del Cretácico Inferior; litológicamente están clasificadas como calizas de ambiente marino. El Cretácico Superior está representado por una secuencia interestratificada de areniscas y lutitas. Del Cenozoico afloran tanto rocas sedimentarias clásticas como rocas volcánicas que cubren discordantemente a las rocas del Cretácico. Son característicos de esta provincia algunos hundimientos de zonas cavernosas (dolinas), debidos a la disolución de las rocas calcáreas (Anónimo, 1981).

## Suelo.

Los tipos de suelo que predominan alrededor del lago son: al norte feozem háplico y vertisol pélico de textura media a fina y al oeste regosol eútrico y litosol de textura media (Anónimo, 1981).

## Vegetación.

El tipo de vegetación es de selva baja caducifolia. La vegetación natural en los alrededores de el lago predomina el huizache (*Acacia sp*), copal (*Bursera fagaroides* y *B. copallifera*), cazahuate (*Ipomea wolcottiana*) y pochote (*Ceiba pentandra*). La agricultura que se practica en las extensiones cercanas al lago es principalmente cultivos de maíz (*Zea mays*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y cacahuete (*Arachis hypogea*) (Anónimo, 1998).

---

---

## **Orografía.**

La orografía del municipio es montañosa, al norte se encuentra las montañas Frule y el Picacho que sirven de límite con Ocuella de Arteaga, municipio del estado de México, en su parte media está el cerro de Tepetzingo que sirve de límite con el municipio de Coatlán del Río, así como el cerro de los Quilotes y el Cerro Alto; y el Cerro de los Perritos ubicada dentro de los 1700 m.s.n.m., en este último cerro se encuentran ubicadas las ruinas arqueológicas de Xochicalco (Anónimo, 1981, Granados, 1990).

## **Hidrología.**

El lago pertenece a la región hidrológica del Río Balsas y a la Cuenca del Río Grande de Amacuzac, el municipio es atravesado por el río Tembembe que nace en el Estado de México, sus afluentes de aguas broncas son el arroyo Seco y el arroyo de Chiltepec, que nacen en las montañas de Palpan; sus aportes de agua llegan al lago Coatetelco y al lago El Rodeo. Además se cuenta con 32 pozos profundos para extracción de agua (Gómez-Márquez, 2002).

## OBJETIVO GENERAL

Conocer el desarrollo reproductivo de *Oreochromis niloticus*, con base en estudios histológicos de las gónadas, así como la época de reproducción de la especie y algunas características fisicoquímicas del agua que se relacionan con su reproducción.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- ✍ Obtener la relación peso – longitud de la especie, así como la condición de los organismos.
- ✍ Determinar la talla de primera maduración sexual de la especie.
- ✍ Determinar el índice de fecundidad relativa y media de *O. niloticus*.
- ✍ Analizar la variación del Índice gonadosomático (IGS) y el Índice hepatosomático (IHS) en función del tiempo.
- ✍ Reconocer la estructura microscópica de las gónadas (ovarios y testículos) por medio de cortes histológicos.
- ✍ Determinar las condiciones fisicoquímicas de los cuerpos de agua tales como: pH, conductividad, oxígeno disuelto, dureza total, alcalinidad, temperatura del ambiente y del agua y su relación con el ciclo reproductivo.

---

---

## MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto se conformo de tres fases:

- I. Fase de campo.
- II. Fase de laboratorio.
- III. Fase de gabinete.

### FASE DE CAMPO

Para la realización de este proyecto se efectuaron muestreos mensuales a partir de Enero del 2004 a Marzo del 2005. Las muestras de los organismos se tomaron a partir de la pesca comercial en la zona con atarraya de luz de malla de 65 mm. A un grupo de 30 organismos capturados en cada cuerpo de agua, se les realizó la siguiente biometría: longitud total (Lt), longitud patrón (Lp), altura (A) con un ictiómetro de  $\pm 0.01$  cm, además el peso total (Pt), peso eviscerado (Pe), peso de las gónadas (Pg) y peso del hígado (Ph) se tomaron con una balanza digital de 0.1 g de precisión (Ohaus), se registró el sexo basado en diferencias sexuales externas (ver anexo I), además se disectó el pez para exponer las gónadas y determinar la madurez gonádica con base en la escala propuesta por Holden y Raitt (1975) para *Rastrelliger* (ver anexo II). Las gónadas de cada espécimen se fijaron en formol al 10 % neutralizado con fosfato de sodio.

Se registró *in situ* la temperatura ambiental y del agua con un termómetro de -10 a 120°C; la transparencia por medio del disco de Secchi, así como el pH y la conductividad del agua con un potenciómetro de campo Corning de  $\pm 0.1$  unidad de precisión y un conductímetro de campo Corning de  $\pm 0.01$   $\mu\text{S}/\text{cm}$  de precisión respectivamente; además, se tomó una muestra de agua con la botella Van Dorn de 2 L de capacidad, para determinar:

- Oxígeno disuelto: Método de Winkler con la modificación de azida de sodio utilizando botellas D.B.O. de 300 ml de capacidad.
- $\text{CO}_2$ : Por medio del método volumétrico.
- Alcalinidad total: Método de indicadores.
- Dureza total y de calcio: Método complejométrico.

(Arredondo, 1986 y SARH, 1982).

---

---

## FASE DE LABORATORIO

A los ovarios se les registró la longitud total y diámetro, al ovario izquierdo se le realizó el conteo de óvulos, así como la medición de los mismos con ayuda de un estereoscopio marca Nikon con ocular micrométrico de 10X y aumento de 4X. Para determinar la fecundidad absoluta, fecundidad relativa, así como el potencial reproductivo de la población.

El ovario derecho se deshidrató y se incluyó en parafina para la realización de cortes histológicos de 10  $\mu$ m, los cortes se tiñeron como se especifica en la técnica de hematoxilina-eosina (Estrada *et al.*, 1982) (ver anexo III).

A los testículos se les registró la longitud total y diámetro, mismos que se deshidrataron e incluyeron en parafina para la realización de cortes histológicos a 10  $\mu$ m y se tiñeron según la técnica de hematoxilina-eosina (Estrada *et al.*, 1982).

## FASE DE GABINETE

Se realizó el análisis exploratorio de datos (Longitud total, longitud patrón, peso total, peso eviscerado, peso de las gónadas y peso del hígado) con el fin de observar las tendencias y el comportamiento de los mismos (Salgado-Ugarte, 1992).

### Relación Peso – Longitud

Con los datos aportados por la biometría se estableció la relación peso-longitud por medio de la siguiente expresión:

$$P = a L^b$$

Donde:

P = peso total (g)

L = longitud patrón de los organismos (cm)

a y b = constantes

Esta expresión puede transformarse en una recta, mediante el uso de logaritmos, obteniéndose:

$$\log P = \log a + b \log L$$

---

---

Donde:

$\log a$  = ordenada en el origen.

$b$  = pendiente de la recta.

Los valores de las constantes se obtuvieron por medio del método de mínimos cuadrados. 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, 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 (C)**

Se obtuvo la relación peso-longitud por sexo y total para después calcular el factor de condición con el fin de comparar dicha relación. El modelo usual de expresión del valor de condición es la ecuación matemática usada por Clark citado en Nikolsky, 1963:

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

Donde:

$C$  = Coeficiente de condición,

$Pe$  = Peso eviscerado del pez,

$L$  = Longitud,

$b$  = Pendiente de la relación peso-longitud.

Con el coeficiente de condición de Clark es posible definir la verdadera condición del pez sin el efecto del peso de las gónadas y el contenido intestinal, ya que pueden enmascarar la dinámica de la condición del pez (Nikolsky, 1963).

### **Proporción sexual**

Se calculó la proporción sexual mensual y total para los individuos de los dos sistemas mediante la prueba de  $\chi^2$  ( $p < 0.05$ ) para determinar si existía o no diferencia significativa entre dicha proporción por sistema.

---

---

## Talla de primera maduración sexual (P)

Por medio del modelo logístico (King, 1995), se obtuvo la longitud media para la primera reproducción o longitud media de maduración sexual (P) que se define como la longitud a la cual el 50% de todos los individuos son sexualmente maduros. Para esto se utilizó la longitud (L), el número de organismos totales por muestreo y la proporción de organismos maduros.

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

Donde:

- P= Proporción de peces maduros.
- L= Longitud patrón.
- L<sub>m</sub>= Longitud media.
- r= Pendiente.

## Fecundidad relativa

La fecundidad relativa es expresada como el número de óvulos producido por unidad de biomasa de hembra, 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). Para su determinación se realizó una regresión entre los datos de longitud patrón, peso y número de óvulos.

$$F = aX^b$$

Donde:

- F = Fecundidad relativa
- X = Longitud patrón (cm) o peso total (g)
- a y b = constantes

---

---

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

Es el número promedio de óvulos en el ovario antes del desove y se determinó por medio de la siguiente fórmula (Shoesmith, 1990).

$$\Phi_{DS} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AL_j^b$$

Donde:

$\Phi_{DS}$  = Fecundidad media

n = Número de peces involucrados en el análisis.

A y b = Parámetros estimados de la regresión lineal de mínimos cuadrados del log del no. de folículos y el log de longitud,

L = Longitud patrón.

## Índice Gonadosomático (IGS)

Constituye la expresión más utilizada en el estudio de las gónadas para describir el ciclo reproductivo de los peces. La expresión se basa en el incremento del tamaño de la gónada a medida que se acerca la época reproductiva. Se determinó mediante la siguiente expresión (de Vlaming *et al.*, 1982):

$$IGS = \frac{Pg}{Pe} 100$$

Donde:

Pg = peso de la gónada

Pe = 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). Su expresión es:

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

Donde:

Ph = peso del hígado

Pe = peso del pez eviscerado.

---

---

## **Histología**

Una vez obtenidos los cortes histológicos, se procedió al reconocimiento en los diferentes estadios de maduración de *D. niloticus* de la anatomía microscópica de las gónadas (ovario y testículo) con ayuda de un microscopio óptico con aumentos de 4X, 10X, 40X y 100X en objetivos y 10X en los oculares.

## **Factores ambientales**

Para conocer el comportamiento de los factores ambientales durante todo el año y principalmente en el momento de la reproducción de la especie se realizaron gráficas de la temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad total y dureza total contra el tiempo.

## RESULTADOS

### PRESA EMILIANO ZAPATA

Se trabajó con 518 organismos de *Oreochromis niloticus* de enero de 2004 a marzo de 2005 con intervalos de talla y peso diferentes entre machos y hembras (Tabla 1).

Se aplicó una prueba t-student, estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre sexos para la longitud total ( $t= 5.19$ ;  $p<0.05$ ) y el peso total ( $t= 4.86$ ;  $p<0.05$ ), mientras que para la longitud patrón ( $t= 1.12$ ,  $p>0.05$ ) no hay diferencias significativas entre sexos.

Tabla 1. Intervalos de longitud total, longitud patrón y peso total para machos y hembras de *O. niloticus*.

	Machos			Hembras		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
<b>Longitud total (cm)</b>	13.1	20.9	17.4	9.9	20.4	16.7
<b>Longitud patrón (cm)</b>	10.3	16.5	13.5	7.7	16.5	13.0
<b>Peso total (g)</b>	17.6	158.7	87.8	17.2	138.1	77.2

## Proporción Sexual

De los 518 organismos capturados, 437 (84 %) fueron machos, 76 (15 %) hembras y 5 (1 %) indeterminados. Por lo tanto se obtiene una proporción sexual total (macho:hembra) de 5.75:1, ( $\chi^2 = 127.02$ ,  $p < 0.05$ ).

Como se puede observar en la figura 4, la proporción de machos fue superior en la mayoría de los meses, por lo que se registraron diferencias significativas. Para enero, marzo y octubre de 2004, no se registraron diferencias significativas, por lo que se obtiene una proporción sexual aproximada macho:hembra de 2:1 y para enero del 2005 fue de 1:1.

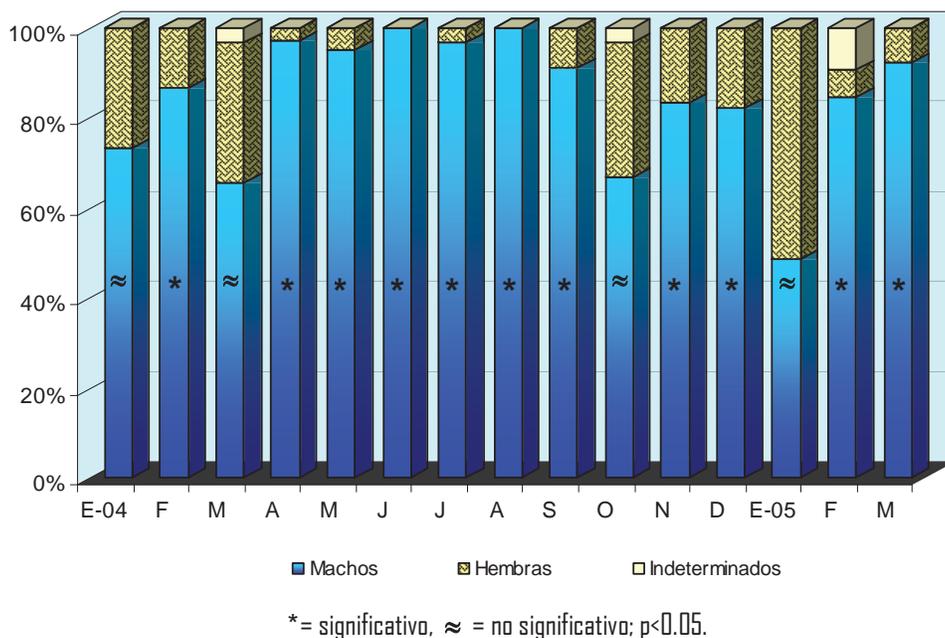


Figura 4. Variación de la proporción sexual para los organismos de *D. niloticus*.

## Relaciones Biométricas

### Relación longitud total – longitud patrón

Se realizó el análisis de regresión lineal entre la longitud total y la longitud patrón, obteniendo una alta correlación ( $r^2 = 0.93$ ,  $p < 0.05$ ), por lo tanto los valores calculados por el modelo son adecuados (Figura 5).

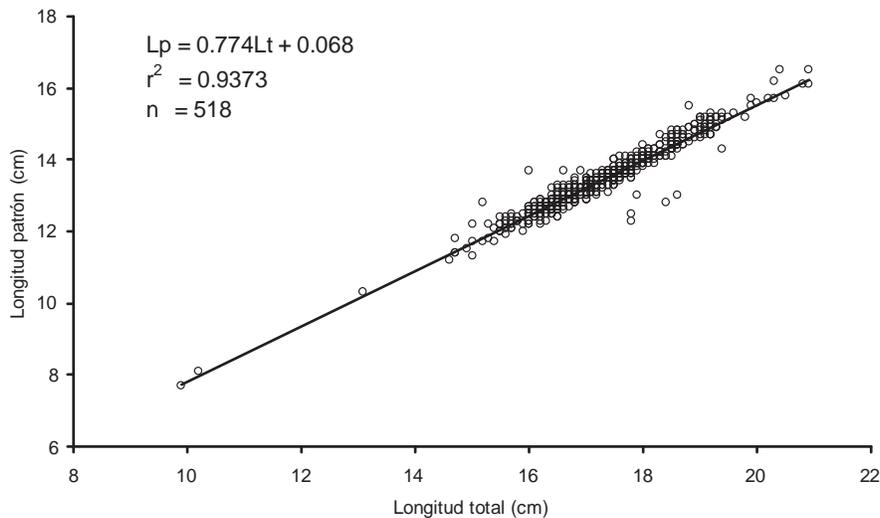


Figura 5. Relación longitud total – longitud patrón de *Oreochromis niloticus*.

Se realizó un análisis de correlación entre las longitudes (total y patrón) y peso total, para comparar los valores obtenidos (Tabla 2). De acuerdo a los resultados se determinó que la longitud patrón se utilizaría para llevar a cabo los siguientes análisis; además de que es la variable que biológicamente presenta menor error en su medición.

Tabla 2. Matriz de correlación para las longitudes (total y patrón) con el peso total de *O. niloticus*.

	Lt (cm)	Lp (cm)	Pt (cm)
Lt (cm)	1		
Lp (cm)	0.97	1	
Pt (g)	0.89	0.91	1

Se realizó el análisis de covarianza (ANDECOVA) para la longitud patrón y el peso total por sexo, resultó que existían diferencias significativas ( $F= 11.36$ ,  $p < 0.05$ ), por lo que se decidió realizar todos los análisis siguientes por sexo separado (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de covarianza de la longitud patrón, peso total y sexo para la población total de *D. niloticus*

Numero de obs =	518	R-cuadrado =	0.8540
EEM Raíz =	0.035592	R-cuadrado adj =	0.8531

Fuente	SC Parcial	gl	CM	F	Prob > F
Modelo	3.8078	3	1.2692	1001.95	0.0000
Log Lp	3.3950	1	3.3950	2680.00	0.0000
Log Lp*Sexo	0.0287	2	0.0143	11.36	<b>0.0000</b>
Residuos	0.6511	514	0.0012		
Total	4.4589	517	0.0086		

### Relación peso total – longitud patrón

La relación peso total–longitud patrón tanto para la población como para ambos sexos muestra un crecimiento de tipo potencial (Figura 6).

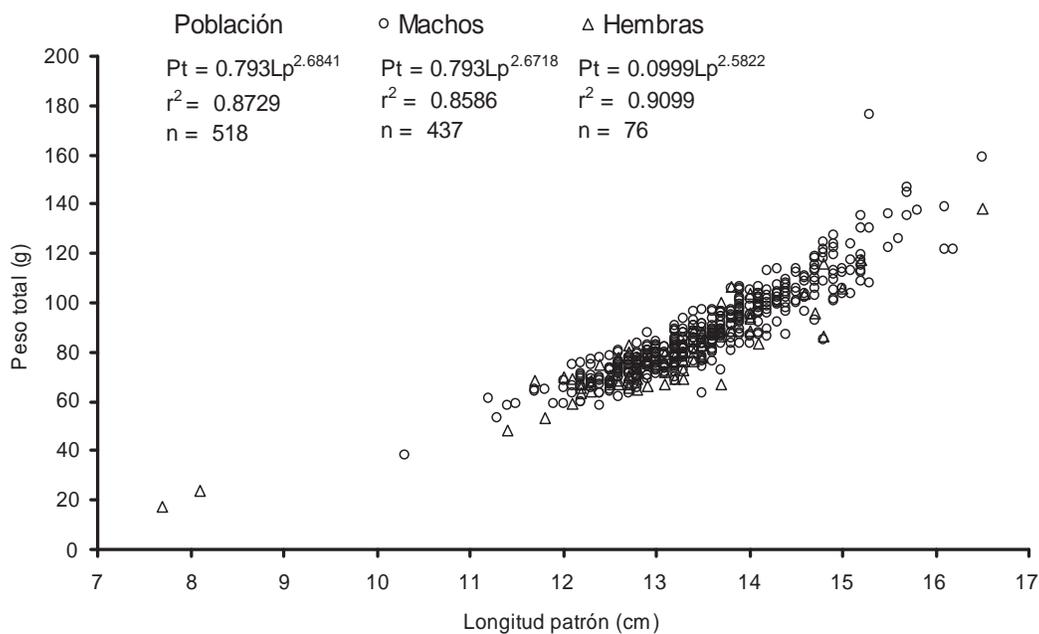


Figura 6. Relación peso total – longitud patrón para la población, machos y hembras de *D. niloticus*.

El valor de la pendiente de 2.6718 para machos; 2.5822 para las hembras y 2.6841 para la población (valores diferentes de 3, según la prueba t-student) (Tabla 4), indica que tienen un crecimiento de tipo alométrico negativo; es decir, que crecen más en longitud que en peso.

Tabla 4. Resultados de la prueba de t-student ( $p < 0.05$ ) para los valores de las pendientes de la relación peso total-longitud patrón de *O. niloticus*.

	Pendiente (b)	Prueba t-student	Valor teórico	No. organismos	Prueba de hipótesis Ho:b=3
<b>Total</b>	2.6841	-6.99	1.96	518	Rechaza Ho
<b>Machos</b>	2.6718	-6.31	1.96	437	Rechaza Ho
<b>Hembras</b>	2.5822	-4.42	1.99	76	Rechaza Ho

### Factor de Condición (C).

La variación del factor de condición de Clark a través del tiempo para los machos presenta dos etapas: una de baja condición a partir del mes de enero a junio de 2004 correspondiente a la época de secas y la segunda de buena condición que corresponde a la época de lluvias de julio de 2004 a febrero de 2005 (Figura 7).

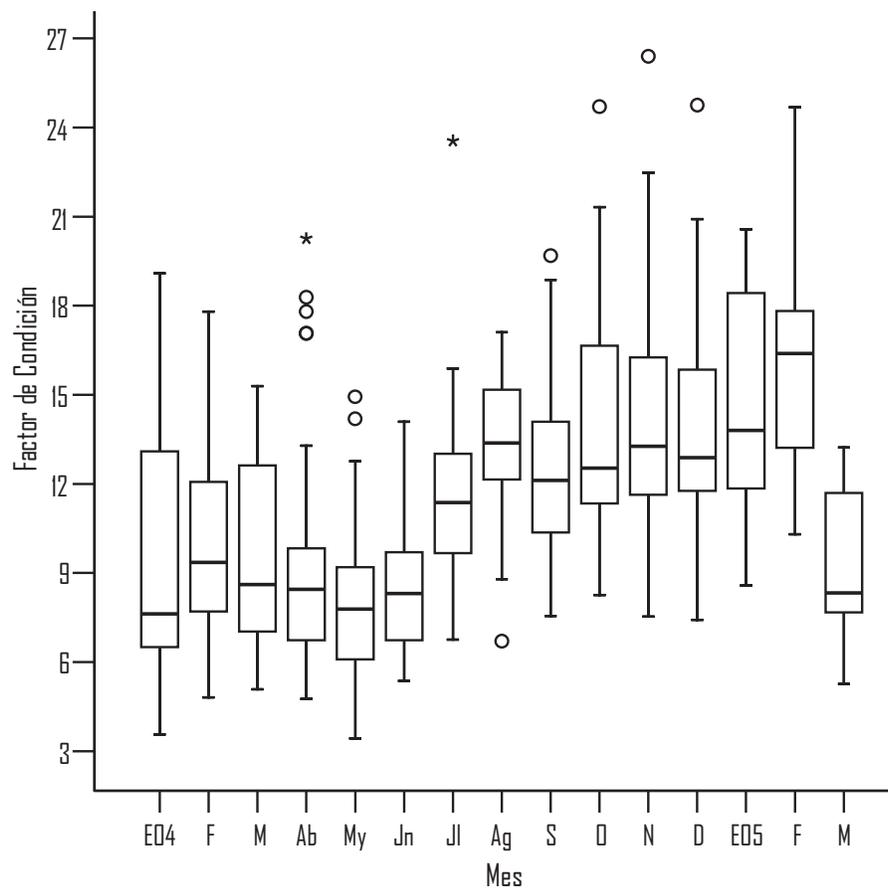


Figura 7. Variación temporal del factor de condición de Clark para machos de *D. niloticus*

Los valores del factor de condición para hembras son parecidos a los de los machos y presentan también dos temporadas en las que la condición de bienestar de los peces se mantiene estable: la primera que va de enero a abril de 2004 (secas) y la segunda de mayo de 2004 a enero de 2005 (lluvias) y vuelve a decrecer en marzo de 2005. No se puede ver las fluctuaciones del coeficiente a lo largo del muestreo, debido a que no se capturaron hembras en algunos meses como se puede observar en la figura 8.

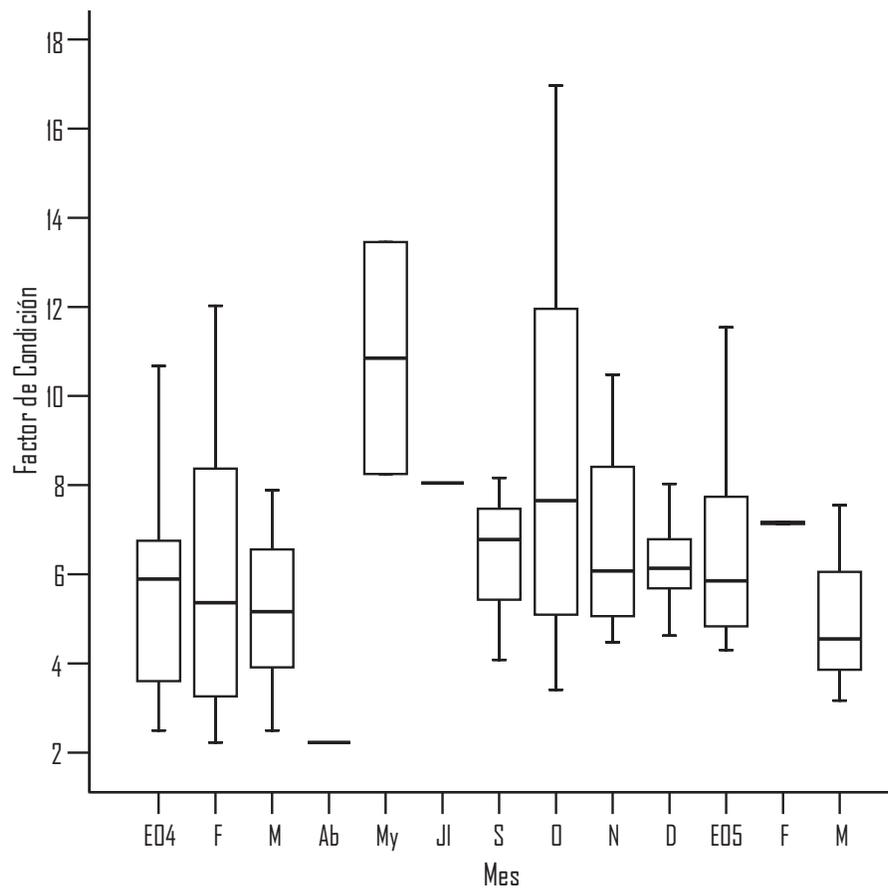


Figura 8. Variación temporal del factor de condición de Clark para hembras de *O. niloticus*

### Talla de Primera Maduración Sexual (P).

Referente a la talla mínima que presentan los machos al inicio de la etapa reproductiva se estimó que ésta, la alcanzan cuando presentan una longitud patrón de 12.42 cm (Figura 9).

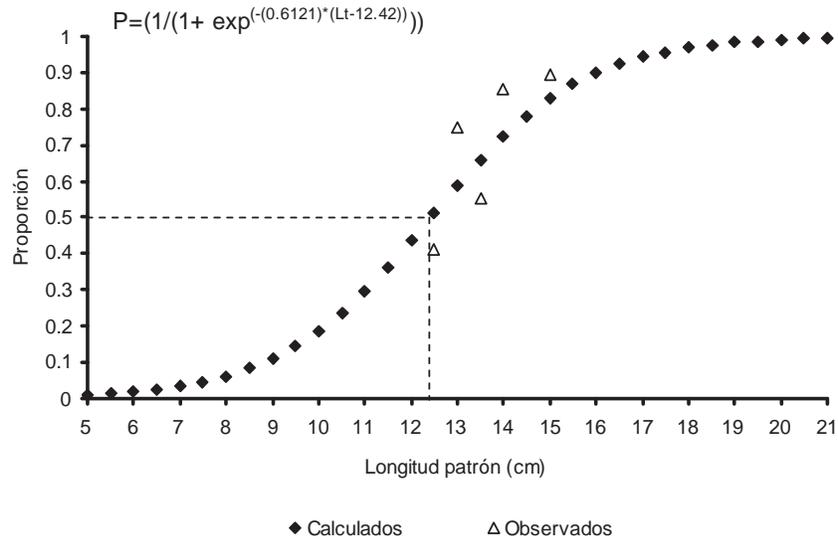


Figura 9. Talla de primera maduración sexual para machos de *D. niloticus*.

Por su parte, las hembras comienzan a madurar sexualmente a la talla de 13.87 cm de longitud patrón, mayor que la de los machos (Figuras 10).

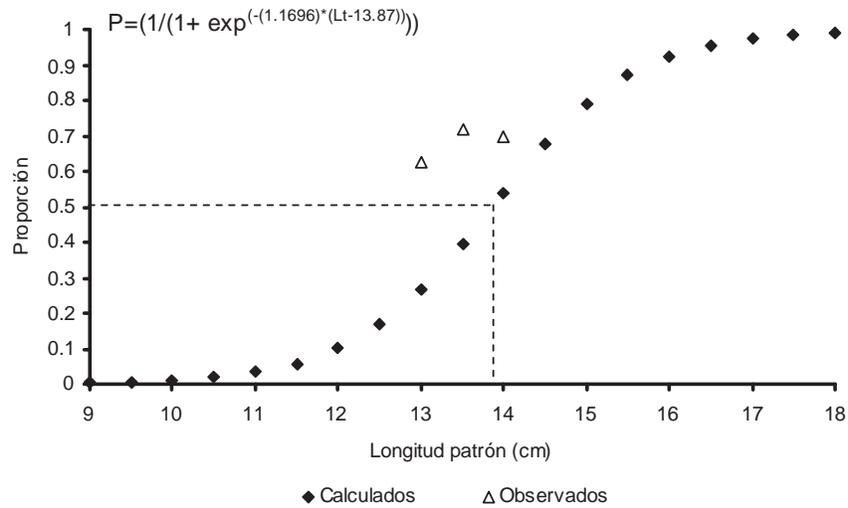


Figura 10. Talla de primera maduración sexual para hembras de *D. niloticus*.

**Fecundidad Relativa.**

Para la fecundidad relativa se calculó utilizando 44 hembras maduras, se realizó un análisis de regresión entre el número de folículos y la longitud patrón de donde se obtuvo un valor de pendiente de 2.1691. Se puede observar de manera general que la tendencia es que a mayor longitud del organismo, mayor cantidad de folículos (Figura II).

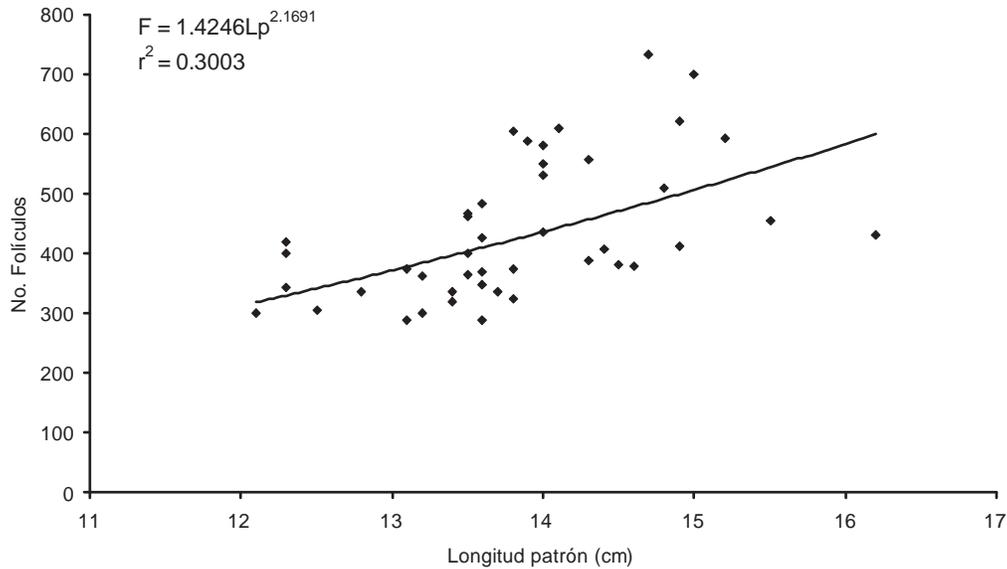


Figura II. Comportamiento de la fecundidad relativa para hembras de *Oreochromis niloticus*.

**Fecundidad Media ( $\Phi_{DS}$ ).**

El modelo que se obtuvo para la fecundidad media fue el siguiente:

$$\Phi_{DS} = \frac{1}{44} \sum_{j=1}^n 1.4246 Lp^{2.1691}$$

Por lo tanto la fecundidad media que se obtuvo fue de 426 folículos, teniendo un conteo mínimo de 287 folículos y un máximo de 733 folículos en ambos ovarios, así como longitudes patrón que van de los 12.1 a los 16.2 cm.

### Índice Gonadosomático (IGS).

El comportamiento anual del índice gonadosomático en machos presenta una época de desove en los meses de mayo a agosto de 2004, el cual se presenta durante la época de lluvias; además se observa otra época de desove pero menor intensidad en el mes de febrero del 2005 durante la época de secas (Figura 12).

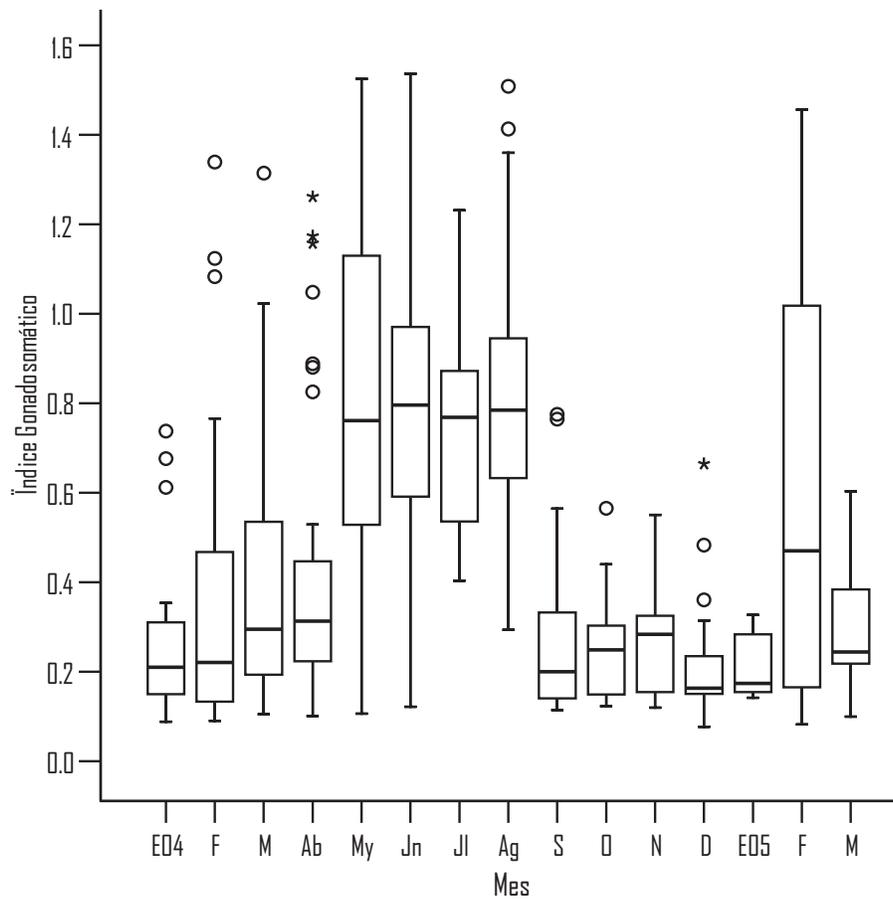


Figura 12. Comportamiento temporal del índice gonadosomático para machos de *D. niloticus*.

En el caso de las hembras no se observa bien el comportamiento del índice gonadosomático debido a que la muestra no fue representativa, sin embargo se observa los valores máximos en julio de 2004 y en febrero del 2005 pero de menor intensidad correspondiendo a la época de lluvias y a la época de secas respectivamente (Figura 13).

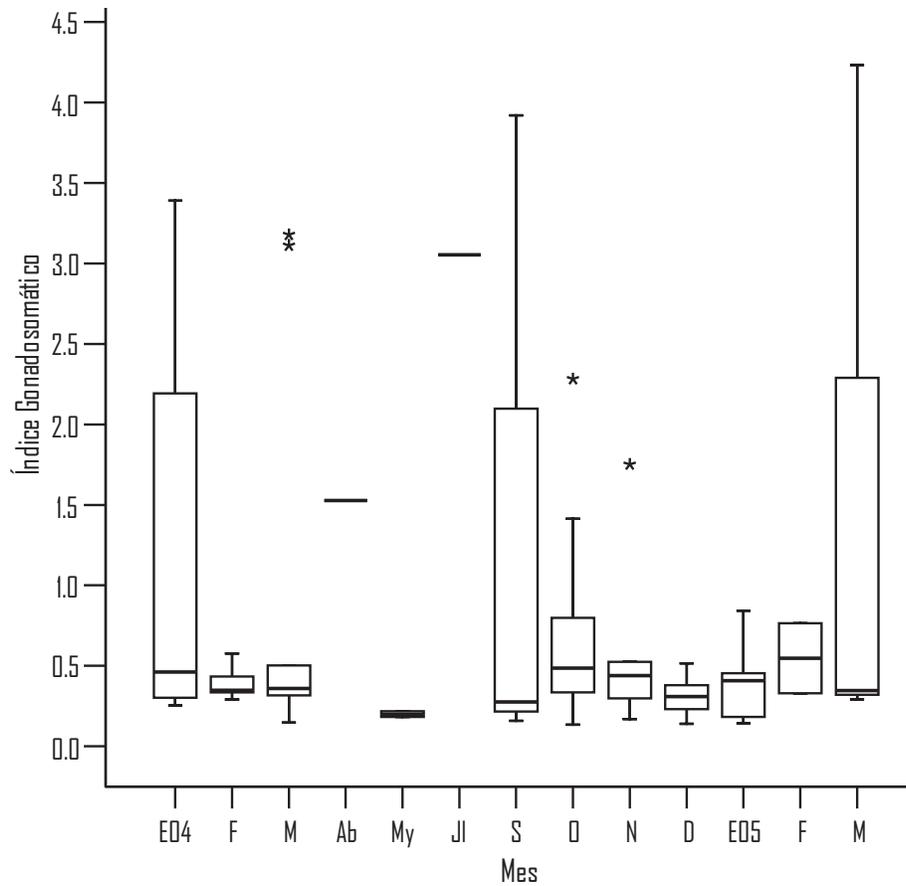


Figura 13. Comportamiento temporal del índice gonadosomático para hembras de *O. niloticus*.

### Índice Hepatosomático (IHS).

En el caso del índice hepatosomático para las hembras, aunque hace falta información se puede observar dos incrementos marcados, el primero de febrero a abril de 2004 y el segundo en febrero de 2005, lo que indica la presencia de dos periodos reproductivos el primero corresponde a la época de lluvias y el otro a la época de secas (Figura 14).

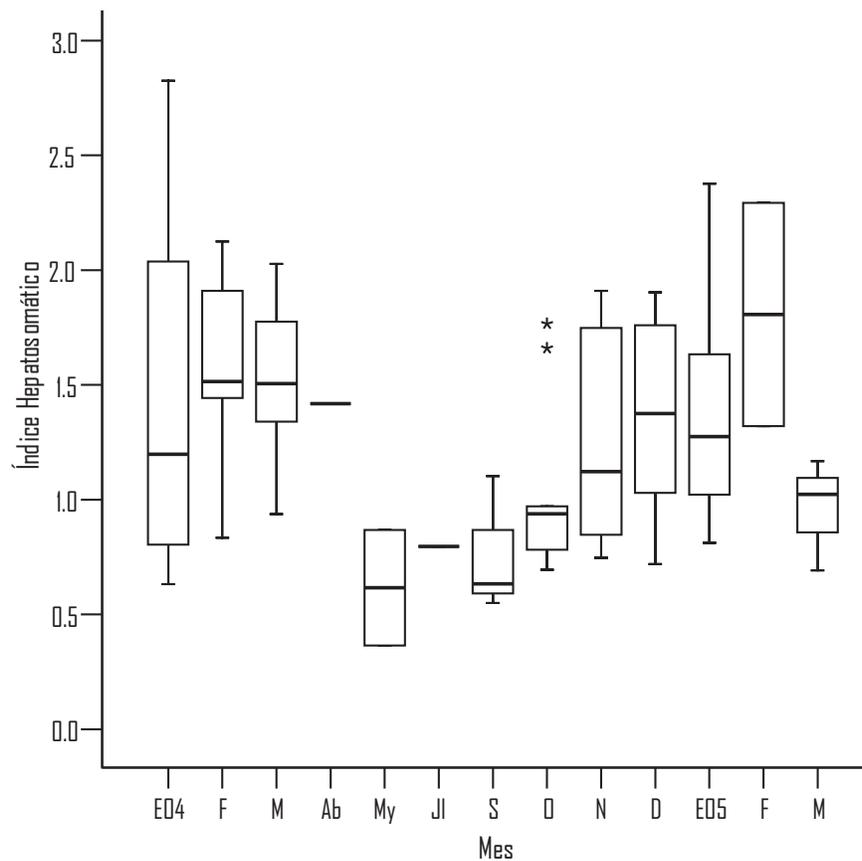


Figura 14. Comportamiento temporal del índice hepatosomático para hembras de *D. niloticus*.

### Madurez Gonádica.

Durante todo el muestreo se puede observar la presencia de machos en estadio II con máximos en los meses de febrero, septiembre y diciembre del 2004; así como marzo del 2005; en proceso de maduración (estadio III) con máximo en agosto. El proceso de reproducción máxima (estadio IV) se presenta en el periodo comprendido entre los meses de enero a agosto siendo en mayo el máximo. En general se observa el máximo proceso reproductivo entre los meses de mayo a agosto y es posible que presente otro, pero más pequeño en febrero. El estadio V o en proceso de recuperación presenta dos picos, uno en abril y el otro de octubre a febrero (Figura 15).

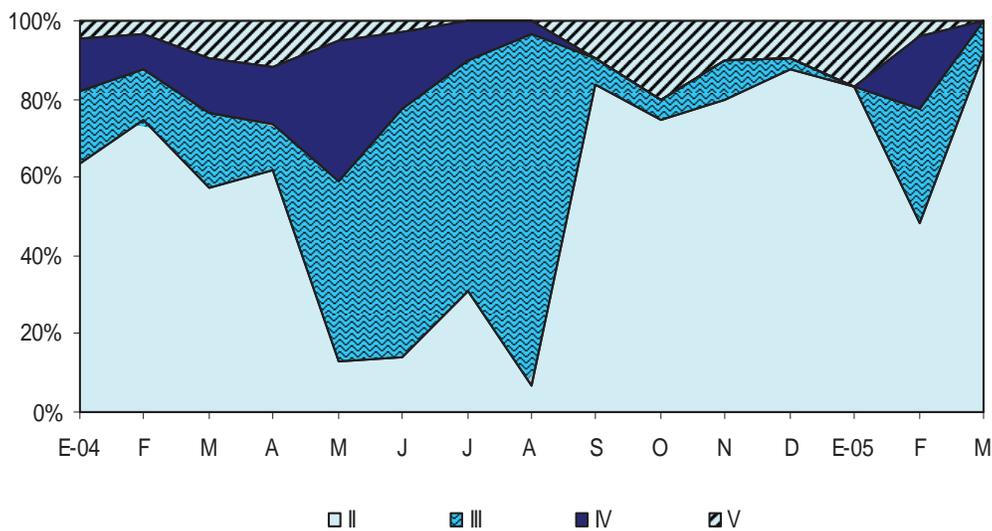


Figura 15. Estadios de maduración gonádica de los machos de *Oreochromis niloticus*.

Con respecto a las hembras se observa que durante todo el estudio se capturaron animales en estadio II, excepto en el mes de abril y julio donde prevalece el estadio III y IV respectivamente, el estadio de reproducción (IV) presenta el máximo en julio y se mantiene presente de septiembre a diciembre del 2004 y marzo del 2005 (Figura 16).

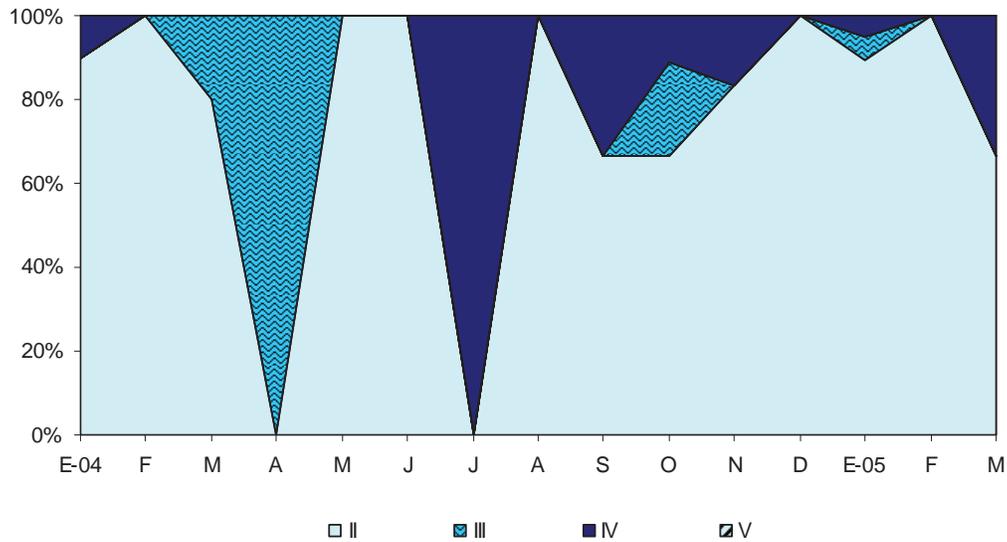


Figura 16. Estadios de maduración gonádica de las hembras de *Oreochromis niloticus*.

**Machos.**

De los 437 machos obtenidos en el transcurso del estudio, se utilizaron 350 peces para el análisis de los testículos.

Como se observa en la tabla 5 la longitud del testículo aumenta conforme avanza el estadio de madurez y disminuye una vez que ha llevado a cabo el proceso reproductivo. Así mismo, se realizó una prueba t-student entre la longitud del testículo derecho y la longitud del testículo izquierdo. Resultó que no hay diferencias significativas ( $t=1.089$ ,  $p>0.05$ ) entre las longitudes de los testículos derecho e izquierdo.

Tabla 5. Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los testículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Longitud testículo derecho (cm)			Longitud testículo izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	1.8	4.9	3.4	1.8	4.9	3.4
III	3.0	5.9	4.4	3.0	5.7	4.3
IV	3.8	7.0	5.3	3.8	6.9	5.1
V	3.5	4.6	3.9	3.5	4.4	3.9

En el diámetro de los testículos se puede observar el mismo comportamiento, este va aumentando conforme avanza el estadio y se registro un aumento que va desde 0.05 cm en el estadio II hasta 0.70 cm en el estadio IV y una vez pasado el proceso reproductivo (estadio V) disminuye, ya que se encuentran en estado de reposo o recuperación (Tabla 6). También se realizó una prueba t-student ( $t=1.792$ ,  $p>0.05$ ) entre el diámetro del testículo derecho y el izquierdo; de acuerdo a este análisis hay diferencias significativas entre los diámetros de los testículos derecho e izquierdo.

Tabla 6. Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los testículos de *D. niloticus*.

Madurez gonádica	Diámetro testículo derecho (cm)			Diámetro testículo izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	0.05	0.35	0.18	0.05	0.40	0.17
III	0.15	0.50	0.32	0.18	0.45	0.30
IV	0.15	0.70	0.45	0.30	0.70	0.43
V	0.05	0.20	0.14	0.05	0.20	0.14

De la misma manera, se ve reflejado este comportamiento en el peso de los testículos, ya que se registró un peso mínimo de 0.05 g en el estadio II y un peso máximo de 3.10 g en el estadio IV, una vez llevado a cabo la reproducción (estadio V) disminuye (tabla 7).

Tabla 7. Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los testículos de *D. niloticus*.

Madurez gonádica	Peso testículos (g)		
	mínimo	máximo	promedio
II	0.05	0.5	0.18
III	0.20	1.0	0.59
IV	0.50	3.10	1.16
V	0.10	0.20	0.14

## Hembras.

Para el caso de las hembras de tilapia obtenidas de la presa, se trabajo con el total (76 individuos) para el análisis de ovarios.

Como primer análisis se realizó una prueba t-student entre el ovario derecho e izquierdo para la longitud ( $t=1.089$ ,  $p>0.05$ ) y diámetro ( $t=1.089$ ,  $p>0.05$ ), resultando que no hay diferencias significativas entre las longitudes, ni tampoco en los diámetros de los ovarios derecho e izquierdo.

En cuanto a la longitud de los ovarios se puede observar que este aumenta su tamaño inicial gradualmente conforme avanza el proceso reproductivo (Tabla 8).

Tabla 8. Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Longitud ovario derecho (cm)			Longitud ovario izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	1.3	3.2	2.2	1.2	3.0	2.2
III	2.1	3.3	2.7	2.1	3.3	2.6
IV	2.3	3.5	3.0	2.3	3.5	3.0

En la relación entre el diámetro de los ovarios y los estadios gonádicos se observa que también presenta un comportamiento similar al de la longitud registrándose un mínimo de 0.13 cm en el estadio II mientras que en el IV se registra un máximo de 0.95 cm (Tabla 9).

Tabla 9. Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Diámetro ovario derecho (cm)			Diámetro ovario izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	0.15	0.45	0.28	0.13	0.45	0.26
III	0.35	0.88	0.53	0.36	0.80	0.55
IV	0.60	0.95	0.74	0.60	0.85	0.67

En la relación entre el peso de los ovarios y los estadios gonádicos, se registra un aumento gradual en su peso inicial y la misma tendencia, conforme avanza el proceso reproductivo este va aumentando (Tabla 10). Se observa un peso mínimo de 0.1 g en el estadio II y un máximo de 3.7 g en el estadio IV.

Tabla 10. Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Peso ovarios (g)		
	mínimo	máximo	promedio
II	0.1	0.6	0.24
III	0.5	3.2	1.63
IV	1.1	3.7	2.16

En la tabla II es posible observar que en los estadios II, III y IV es mayor la presencia de los folículos de menor tamaño (100-1000  $\mu\text{m}$ ) en comparación con los otros tamaños de folículos, la presencia de los folículos de mayor tamaño (2001-3000  $\mu\text{m}$ ) es indicativo del inicio de la etapa de reproducción.

Tabla II. Relación entre los estadios gonádicos, número y diámetro de los folículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Intervalo diámetro folículos ( $\mu\text{m}$ )	Número de folículos en el ovario izquierdo.		
		mínimo	máximo	promedio
II	100-1000	398	484	449
	1001-2000	107	723	279
III	100-1000	378	748	506
	1001-2000	186	311	241
	2001-3000	110	302	201
IV	100-1000	308	1313	570
	2001-3000	107	291	188

### Factores Ambientales.

La temperatura ambiente fluctuó entre los 17.1 °C en diciembre y los 35 °C en marzo, la mayoría de las muestras se colectaron entre las 7 y 9 de la mañana. Para la temperatura del agua fue registrado el mínimo a los 21.6 °C en enero del 2004 y el máximo a los 29.5 °C en el mes de julio correspondiendo a la época fría y a la época cálida respectivamente (Figura 17). En gran parte de los muestreos la temperatura ambiente esta por debajo de la del agua excepto en marzo y septiembre.

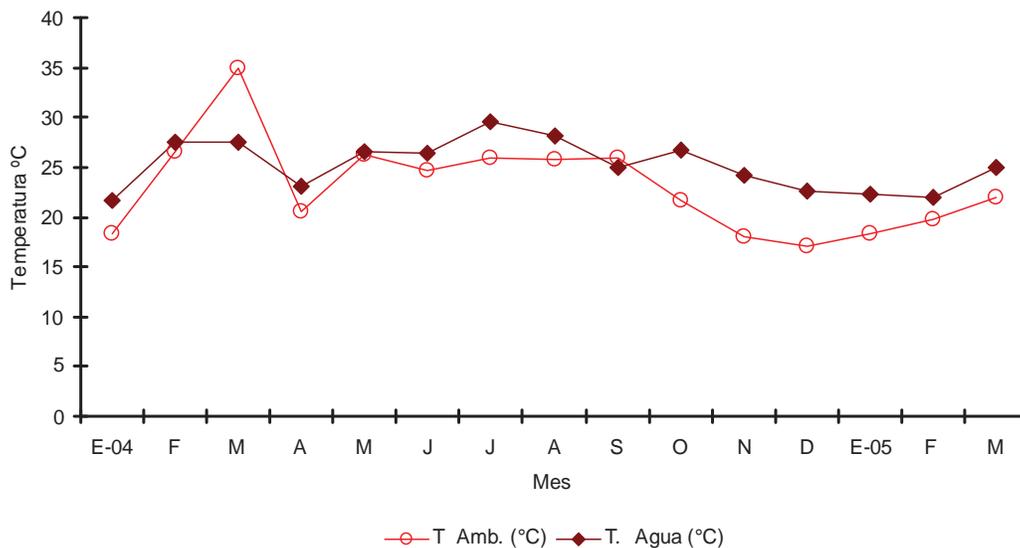


Figura 17. Comportamiento temporal de la temperatura ambiental y del agua.

El pH del agua registró un promedio de 7.99 unidades mostrando el máximo en el mes de enero del 2005 con 9.23 unidades y el mínimo en octubre con 7.23 y diciembre con 7.2 unidades (Figura 18). El pH tiene una tendencia a la neutralidad en la época de lluvias mientras que en la época de secas tiende a valores básicos.

Por su parte, las concentraciones del oxígeno disuelto fueron variables a lo largo del tiempo, con media de 8.078 mg/L, máxima en marzo de 11.034 mg/L y mínima de 3.976 mg/L en noviembre. En general se observa tendencia a aumentar la concentración en la época de secas y a disminuir en la época de lluvias (Figura 18).

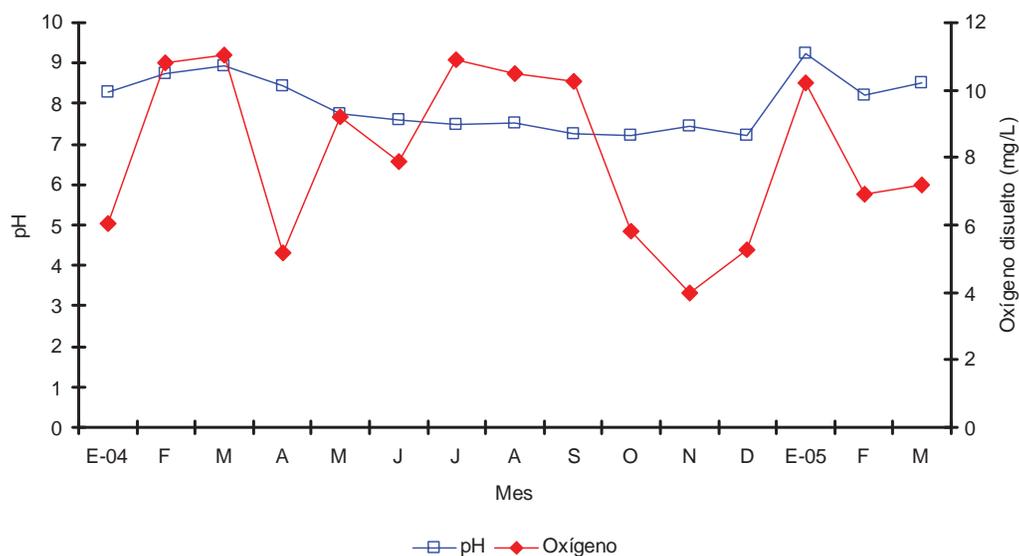


Figura 18. Comportamiento temporal del pH y la concentración de oxígeno disuelto.

La dureza total presentó concentraciones mayores respecto a la alcalinidad total con valores de 356.92 mg/L en promedio, con un pico máximo de 429.43 mg/L en diciembre y un mínimo de 200.20 mg/L en febrero.

La alcalinidad total registró una media de 23.7 mg/L oscilando los valores entre 15 mg/L en mayo y agosto y máximo en el mes de julio con 60 mg/L.

En relación a la conductividad esta osciló entre los 648 y 755  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en los meses de febrero (secas) y junio (lluvias) respectivamente, mostrando un promedio de 692.33  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se muestra a lo largo del muestreo un comportamiento similar respecto a la dureza total (Figura 19).

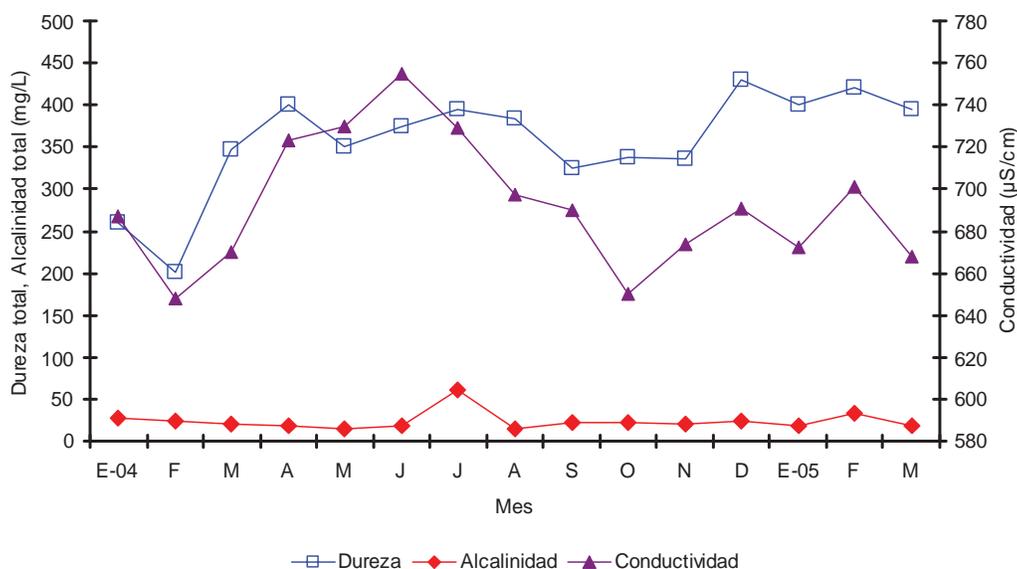


Figura 19. Comportamiento temporal de la dureza total (mg/L), alcalinidad total (mg/L) y la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Se realizó el análisis de correlación de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y los indicadores del proceso reproductivo para machos donde la correlación es baja entre el índice gonosomático, la temperatura ambiente; así como con la conductividad pero con alto nivel de significancia.

Tabla 12. Análisis de Correlación de Spearman para machos de *D. niloticus*.

	T. Amb. (°C)	T. Agua (°C)	D <sup>2</sup> (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad Total (mg/L)	Factor de Condición	IGS
T. Amb. (°C)	1.000	0.786** (0.001)	0.812** (0.000)	0.245 (0.379)	0.002 (0.995)	-0.394 (0.146)	-0.194 (0.490)	-0.435 (0.105)	0.558* (0.031)
T. Agua (°C)	0.786** (0.001)	1.000	0.658** (0.008)	-0.107 (0.703)	-0.025 (0.929)	-0.275 (0.321)	-0.189 (0.500)	-0.193 (0.490)	0.449 (0.093)
D <sup>2</sup> (mg/L)	0.812** (0.000)	0.658** (0.008)	1.000	0.346 (0.206)	-0.050 (0.860)	-0.199 (0.478)	-0.040 (0.889)	-0.086 (0.761)	0.361 (0.187)
pH	0.245 (0.379)	-0.107 (0.703)	0.346 (0.206)	1.000	-0.271 (0.328)	0.009 (0.975)	-0.210 (0.452)	-0.246 (0.376)	0.114 (0.685)
Conductividad (µS/cm)	0.002 (0.995)	-0.025 (0.929)	-0.050 (0.860)	-0.271 (0.328)	1.000	0.410 (0.129)	-0.190 (0.497)	-0.246 (0.376)	0.671** (0.006)
Dureza Total (mg/L)	-0.394 (0.146)	-0.275 (0.321)	-0.199 (0.478)	0.009 (0.975)	0.410 (0.129)	1.000	-0.076 (0.789)	0.216 (0.438)	0.057 (0.839)
Alcalinidad Total (mg/L)	-0.194 (0.490)	-0.189 (0.500)	-0.040 (0.889)	-0.210 (0.452)	-0.190 (0.497)	-0.076 (0.789)	1.000	0.352 (0.198)	-0.311 (0.259)
Factor de Condición	-0.435 (0.105)	-0.193 (0.490)	-0.086 (0.761)	-0.246 (0.376)	-0.246 (0.376)	0.216 (0.438)	0.352 (0.198)	1.000	-0.461 (0.084)
IGS	<b>0.558*</b> (0.031)	0.449 (0.093)	0.361 (0.187)	0.114 (0.685)	<b>0.671**</b> (0.006)	0.057 (0.839)	-0.311 (0.259)	-0.461 (0.084)	1.000

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

r= coeficiente de correlación. IGS= Índice Gonadosomático.

(Nivel de significancia); n= 15.

Así mismo, el análisis de correlación de Spearman para las hembras mostró baja correlación y no significativa entre el factor de condición y pH de manera inversa; por otra parte se registró una baja correlación inversa entre el índice hepatosomático y la temperatura del agua y de manera directa con el pH y alcalinidad total, aunque todas ellas no son significativas.

Tabla 13. Análisis de Correlación de Spearman para hembras de *O. niloticus*.

	T. Amb. (°C)	T. Agua (°C)	D <sup>2</sup> (mg/L)	pH	Conduct. (µS/cm)	D. Total (mg/L)	A. Total (mg/L)	Factor de Condición	IGS	IHS
T. Amb. (°C)	1.000	0.797** (0.001)	0.777** (0.002)	0.322 (0.283)	-0.127 (0.680)	-0.387 (0.192)	-0.151 (0.622)	0.050 (0.872)	0.168 (0.583)	-0.242 (0.425)
T. Agua (°C)	0.797** (0.001)	1.000	0.587* (0.035)	-0.011 (0.971)	-0.193 (0.528)	-0.336 (0.262)	-0.031 (0.921)	0.226 (0.458)	0.190 (0.534)	-0.444 (0.129)
D <sup>2</sup> (mg/L)	0.777** (0.002)	0.587* (0.035)	1.000	0.440 (0.133)	-0.121 (0.694)	-0.220 (0.469)	0.094 (0.760)	0.077 (0.803)	0.099 (0.748)	-0.137 (0.655)
pH	0.322 (0.283)	-0.011 (0.971)	0.440 (0.133)	1.000	-0.324 (0.280)	-0.030 (0.922)	-0.346 (0.246)	-0.445 (0.128)	0.077 (0.803)	0.396 (0.181)
Conduct. (µS/cm)	-0.127 (0.680)	-0.193 (0.528)	-0.121 (0.694)	-0.324 (0.280)	1.000	0.460 (0.114)	0.066 (0.829)	0.253 (0.405)	0.000 (1.000)	-0.236 (0.437)
Dureza Total (mg/L)	-0.387 (0.192)	-0.336 (0.262)	-0.220 (0.469)	-0.030 (0.922)	0.460 (0.114)	1.000	-0.100 (0.745)	-0.039 (0.900)	-0.146 (0.634)	0.041 (0.893)
Alcalinidad Total (mg/L)	-0.151 (0.622)	-0.031 (0.921)	0.094 (0.760)	-0.346 (0.246)	0.066 (0.829)	-0.100 (0.745)	1.000	0.177 (0.562)	0.188 (0.538)	0.388 (0.190)
Factor de Condición	0.050 (0.872)	0.226 (0.458)	0.077 (0.803)	-0.445 (0.128)	0.253 (0.405)	-0.039 (0.900)	0.177 (0.562)	1.000	-0.401 (0.174)	-0.418 (0.156)
IGS	0.168 (0.583)	0.190 (0.534)	0.099 (0.748)	0.077 (0.803)	0.000 (1.000)	-0.146 (0.634)	0.188 (0.538)	-0.401 (0.174)	1.000	-0.082 (0.789)
IHS	-0.242 (0.425)	-0.444 (0.129)	-0.137 (0.655)	0.396 (0.181)	-0.236 (0.437)	0.041 (0.893)	0.388 (0.190)	-0.418 (0.156)	-0.082 (0.789)	1.000

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

r= coeficiente de correlación. IGS= Índice Gonadosomático.

(Nivel de significancia); n= 13. IHS= Índice Hepatosomático.

**LAGO COATETELCO.**

En este sistema, se trabajó de Marzo de 2004 a Febrero de 2005, con un total de 390 peces de *Oreochromis niloticus* con intervalos de talla y peso diferentes entre machos y hembras (Tabla 14).

Se aplicó una prueba t-student a la longitud entre sexos y se concluyó que existían diferencias estadísticamente significativas para la longitud total ( $t= 11.48$ ;  $p<0.05$ ), longitud patrón ( $t= 9.52$ ;  $p<0.05$ ) y el peso total ( $t= 10.03$ ;  $p<0.05$ ) entre sexos.

Tabla 14. Intervalos de longitud total, longitud patrón y peso total para machos y hembras de *O. niloticus*.

	Machos			Hembras		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
<b>Longitud total (cm)</b>	13.3	20.1	16.5	12.0	17.2	15.2
<b>Longitud patrón (cm)</b>	10.3	15.8	12.8	9.6	13.6	12.0
<b>Peso total (g)</b>	39.5	130.4	73.5	29.8	89.9	62.3

**Proporción sexual.**

De los 390 organismos capturados, 240 (62 %) fueron machos, 146 (37 %) hembras y 4 (1 %) indeterminados. Por lo tanto, se determinó una proporción sexual total (macho:hembra) de 1.64:1, ( $\chi^2 = 11.45, p < 0.05$ ).

Para los peces de este sistema se registraron diferencias significativas en los meses de mayo, junio, julio, diciembre de 2004 y enero de 2005; en los tres primeros meses dominaron los machos mientras que en los dos últimos las hembras. Para los meses de agosto, octubre y febrero se obtuvo una proporción sexual macho:hembra de 1:1 y para marzo, abril, septiembre y noviembre fue de 2:1, por lo que para estos meses no se registraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), como se puede observar en la figura 20.

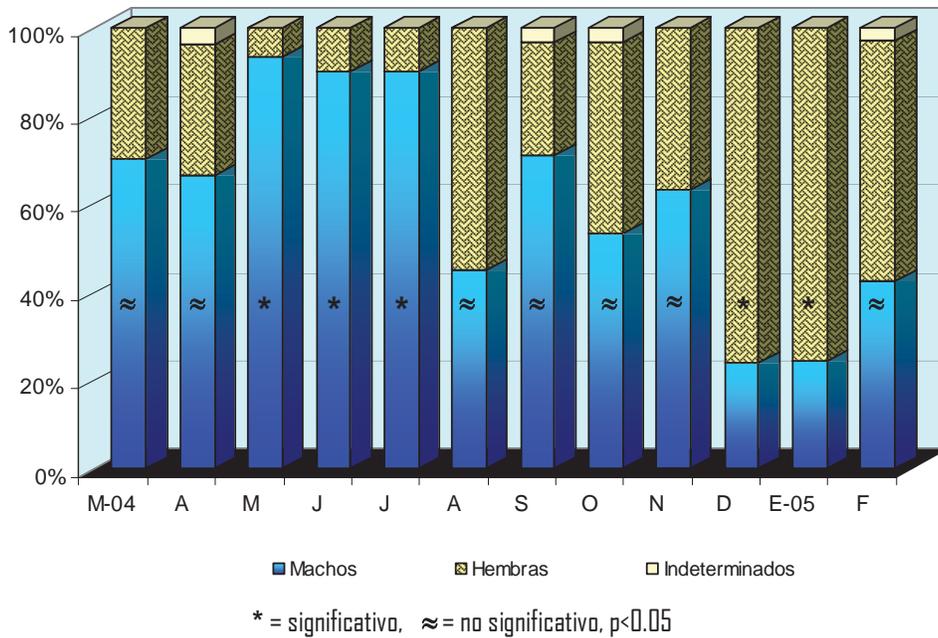


Figura 20. Variación de la proporción sexual para los organismos de *D. niloticus*.

## Relaciones Biométricas.

### Relación longitud total – longitud patrón.

Con los datos obtenidos de los peces de este sistema también se realizó una regresión lineal entre las longitudes (total y patrón) y se determinó que existe una alta correlación ( $r^2 = 0.94$ ,  $p < 0.05$ ) entre las dos variables, por lo que se puede predecir una variable a través de la otra, de acuerdo al modelo obtenido (Figura 21).

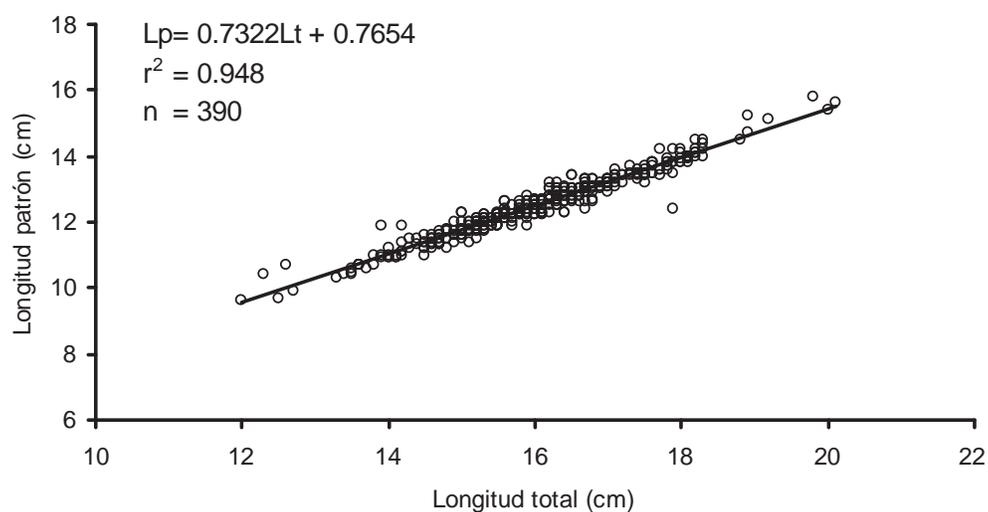


Figura 21. Relación longitud total – longitud patrón para los organismos de *Oreochromis niloticus*.

Se realizó un análisis de correlación entre las longitudes (total y patrón) y peso total, para poder comparar los valores obtenidos y determinar que longitud se ajusta mejor (Tabla 15). Debido a que los resultados son muy cercanos; por lo tanto, es indistinto trabajar los análisis con una u otra longitud, se decidió que se utilizaría la longitud patrón, ya que es la variable que biológicamente presenta menor error en su medición.

Tabla 15. Matriz de correlación para las longitudes (total y patrón) con el peso total de *O. niloticus*.

	Lt (cm)	Lp (cm)	Pt (cm)
Lt (cm)	1		
Lp (cm)	0.97	1	
Pt (g)	0.913	0.910	1

De acuerdo al análisis de covarianza, que se realizó para la longitud patrón y el peso, se observa una diferencia significativa ( $F= 3.19$ ;  $p<0.05$ ), entre machos y hembras por lo que se tomó la decisión de trabajar por sexos separados (Tabla 16).

Tabla 16. . Análisis de covarianza para el análisis de la longitud patrón de la población total de *O. niloticus*.

Numero de obs =	390	R-cuadrado =	0.8360
EEM Raíz =	0.032509	R-cuadrado adj =	0.8347

Fuente	SC Parcial	gl	CM	F	Prob > F
Modelo	2.0794	3	0.69314	655.86	0.0000
Log Lp	1.5799	1	1.5799	1495.00	0.0000
Log Lp*Sexo	0.0067	2	0.0033	3.19	<b>0.0423</b>
Residuos	0.4079	386	0.0010		
Total	2.4873	389	0.0063		

### Relación peso total – longitud patrón.

La relación peso total y longitud patrón para los peces del lago Coatetelco tuvo un comportamiento de tipo potencial tanto para la población como para machos y hembras como se puede ver en la figura 22.

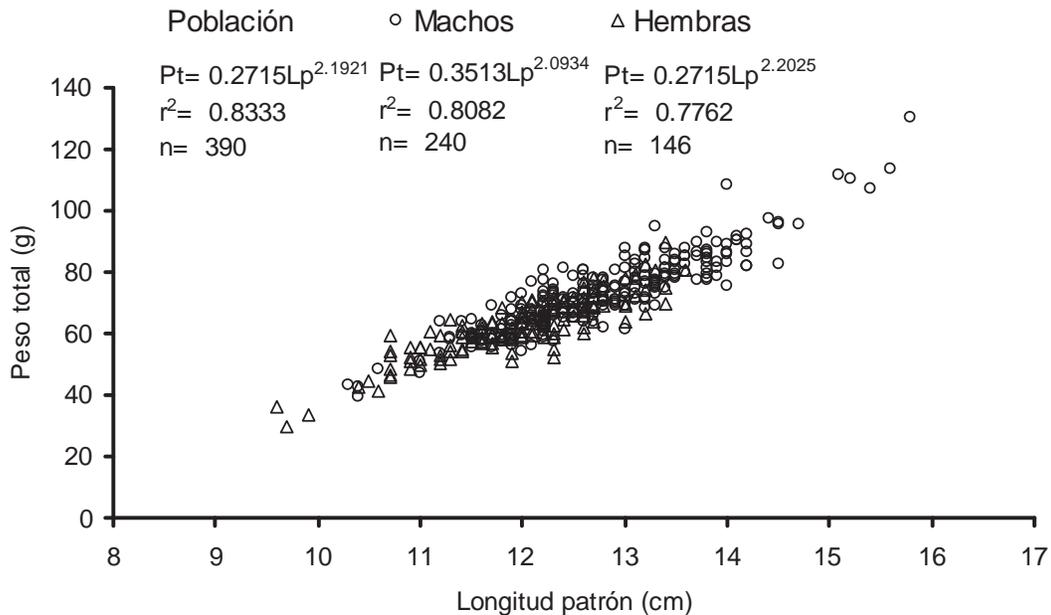


Figura 22. Relación peso total – longitud patrón para la población, machos y hembras de *O. niloticus*.

De acuerdo a la prueba de t-student ( $p < 0.05$ ) que se aplicó a los valores de las pendientes, resultaron ser diferentes de 3. Los valores de las pendientes obtenidos de la relación peso total-longitud patrón, tanto para machos como para hembras fueron similares, lo que indica que el tipo de crecimiento que presentan es alométrico negativo. (Tabla 17).

Tabla 17. Resultados de la prueba de t-student ( $p < 0.05$ ) para los valores de las pendientes de la relación peso total-longitud patrón de *O. niloticus*.

	Pendiente (b)	Prueba t-student	Valor teórico	No. organismos	Prueba de hipótesis $H_0: b=3$
<b>Total</b>	2.1921	-16.21	1.96	390	Rechaza $H_0$
<b>Machos</b>	2.0934	-13.72	1.97	240	Rechaza $H_0$
<b>Hembras</b>	2.2025	-8.09	1.98	146	Rechaza $H_0$

**Factor de Condición (C).**

En la figura 23 el factor de condición para machos presenta dos etapas durante el año: una de baja condición que va de marzo a junio y la segunda de mejor condición, pero con fluctuaciones a lo largo del periodo de julio a febrero; así mismo, se puede observar que el valor máximo se presentó en el mes de agosto y el mínimo en mayo, que corresponden a la época de lluvias y secas respectivamente.

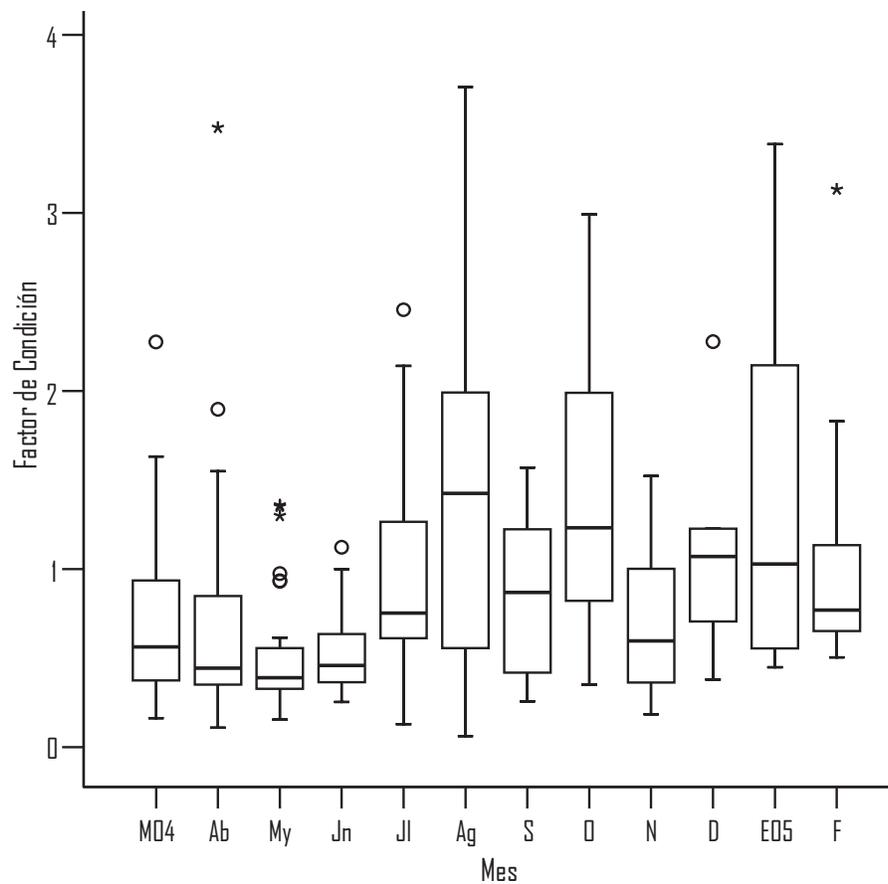


Figura 23. Variación temporal del factor de condición de Clark para machos de *O. niloticus*.

Para el caso de las hembras los valores del factor de condición se encuentran muy por arriba de los valores obtenidos para los machos, pero el comportamiento es similar. Al igual que los machos se observan dos periodos: uno de marzo a junio (época de secas) y otro de julio a diciembre (época de lluvias), este último presenta una alta variabilidad en los valores, pero en ambos periodos presentan una buena condición; el pico más alto se registró en diciembre y el más bajo en junio (Figura 24).

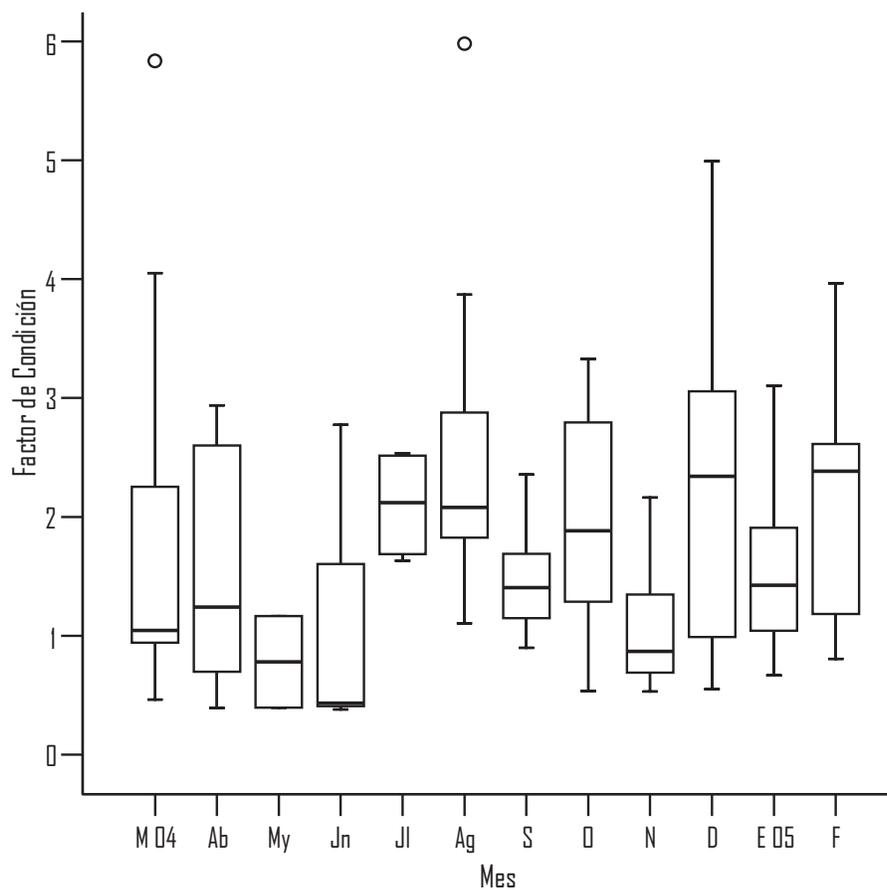


Figura 24. Variación temporal del factor de condición de Clark para hembras de *D. niloticus*.

**Talla de Primera Maduración Sexual (P).**

Se determinó que los machos inician su proceso reproductivo a la longitud patrón de 12.47 cm, mientras que para las hembras su talla de primera madurez sexual lo comienzan a la longitud patrón de 12.58 cm (Figuras 25 y 26).

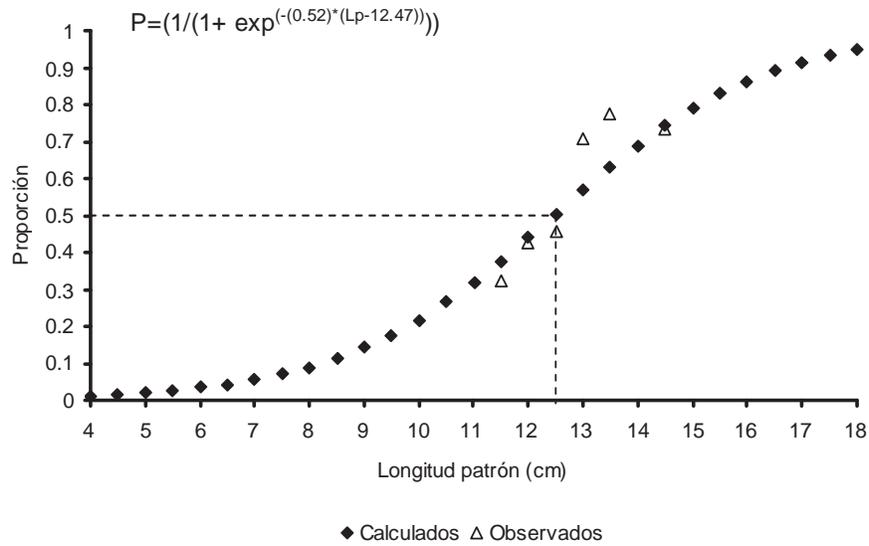


Figura 25. Talla de primera maduración sexual para machos de *O. niloticus*.

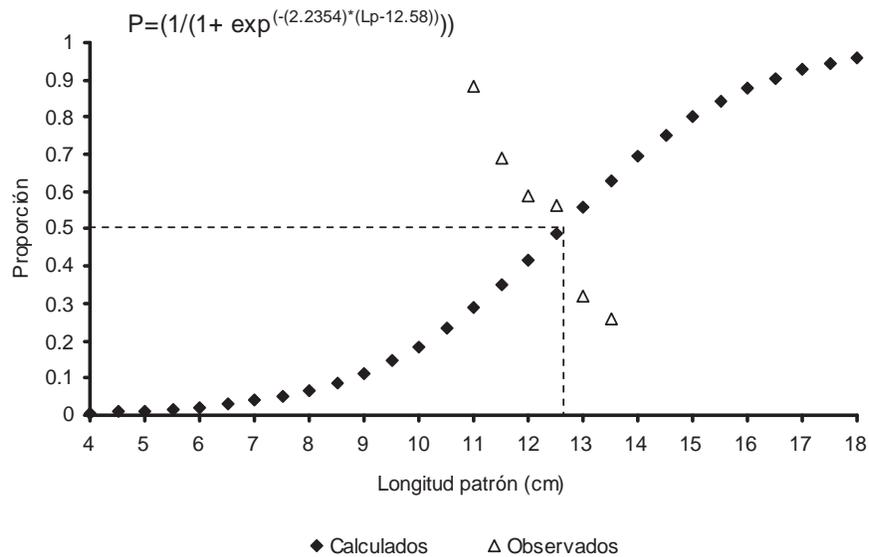


Figura 26. Talla de primera maduración sexual para hembras de *O. niloticus*.

### Fecundidad Relativa.

Para este sistema se obtuvieron 104 hembras y al realizar el análisis de la relación entre el número de folículos y la longitud patrón se obtuvo un valor de  $b = 2.2122$ . El comportamiento que presentó dicha relación fue potencial. En la figura 27 se observa la tendencia que al aumentar la longitud patrón también lo hace el número de folículos.

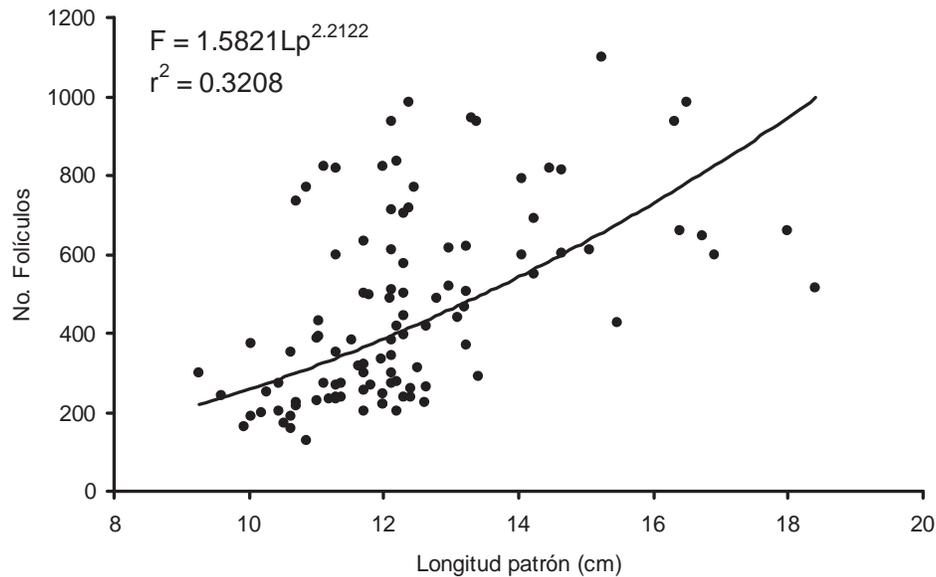


Figura 27. Comportamiento de la fecundidad relativa para hembras de *Oreochromis niloticus*.

### Fecundidad Media ( $\Phi_{DS}$ ).

El modelo que se obtuvo para la fecundidad media fue el siguiente:

$$\Phi_{DS} = \frac{1}{104} \sum_{j=1}^n 1.5821 Lp^{2.2122}$$

Para las hembras del lago Coatetelco se obtuvo una fecundidad media de 423 folículos, tomando en cuenta que las longitudes patrón oscilaron entre los 9.3 y 18.4 cm y que los conteos fluctuaron entre 127 y 1098 folículos para ambos ovarios.

### Índice Gonadosomático (IGS).

En la figura 28 se puede observar una gran fluctuación en los valores del índice gonadosomático para machos; sin embargo, la tendencia que se presenta en el comportamiento de los valores indica la presencia de dos épocas máximas de desove: la primera en la época de lluvias (julio) y la segunda de menor intensidad pero importante en la época de secas (enero del 2005), con lo cual los máximos reproductivos se llevan a cabo cada 6 meses.

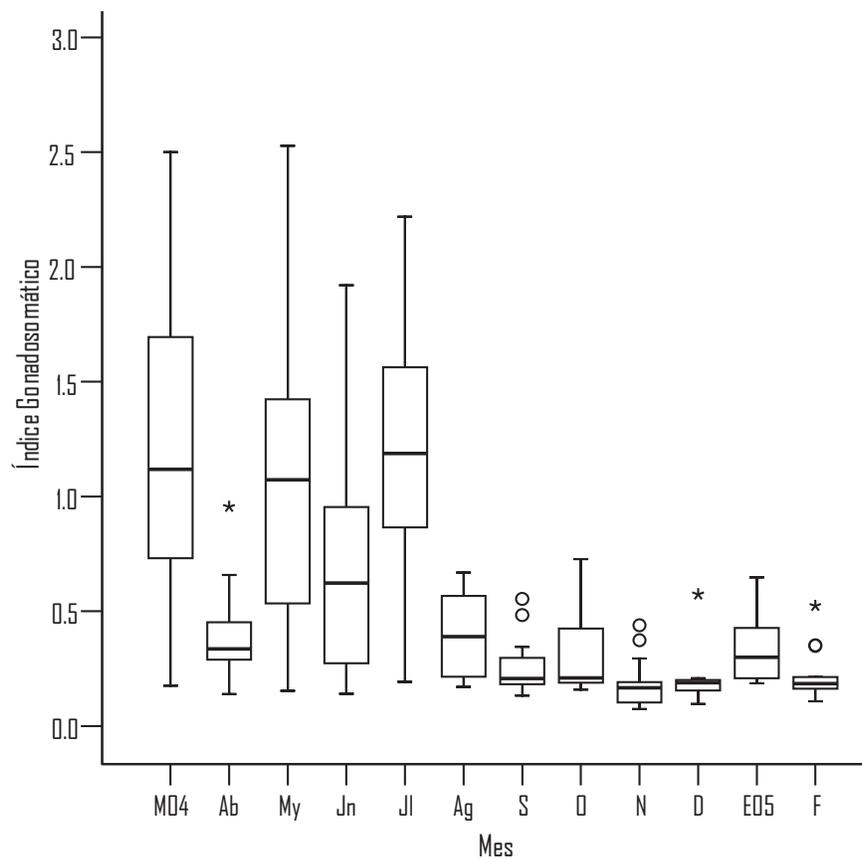


Figura 28. Comportamiento temporal del índice gonadosomático para machos de *O. niloticus*.

Referente al índice gonadosomático de las hembras del lago Coatetelco el valor máximo se presentó en el mes de junio; sin embargo, se puede observar en febrero otro proceso reproductivo de menor intensidad los cuales corresponden a la época de lluvias el primero y a la época de secas el de menor intensidad.

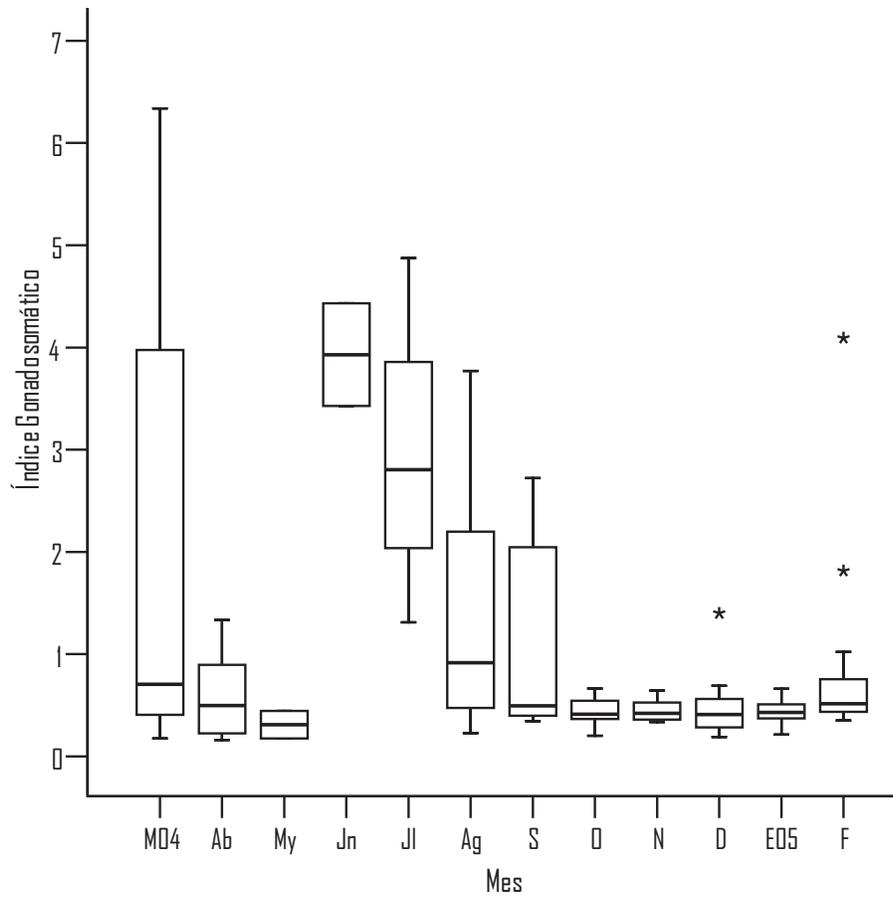


Figura 29. Comportamiento temporal del índice gonadosomático para hembras de *O. niloticus*.

### Índice Hepatosomático (IHS).

En el caso del índice hepatosomático para las hembras del lago Coatetelco se puede observar que este presente un comportamiento similar y esperado al del índice gonadosomático (Figura 30). Sin embargo, uno de los máximos del IHS se observa en enero del 2005 antes del proceso reproductivo en febrero del mismo año.

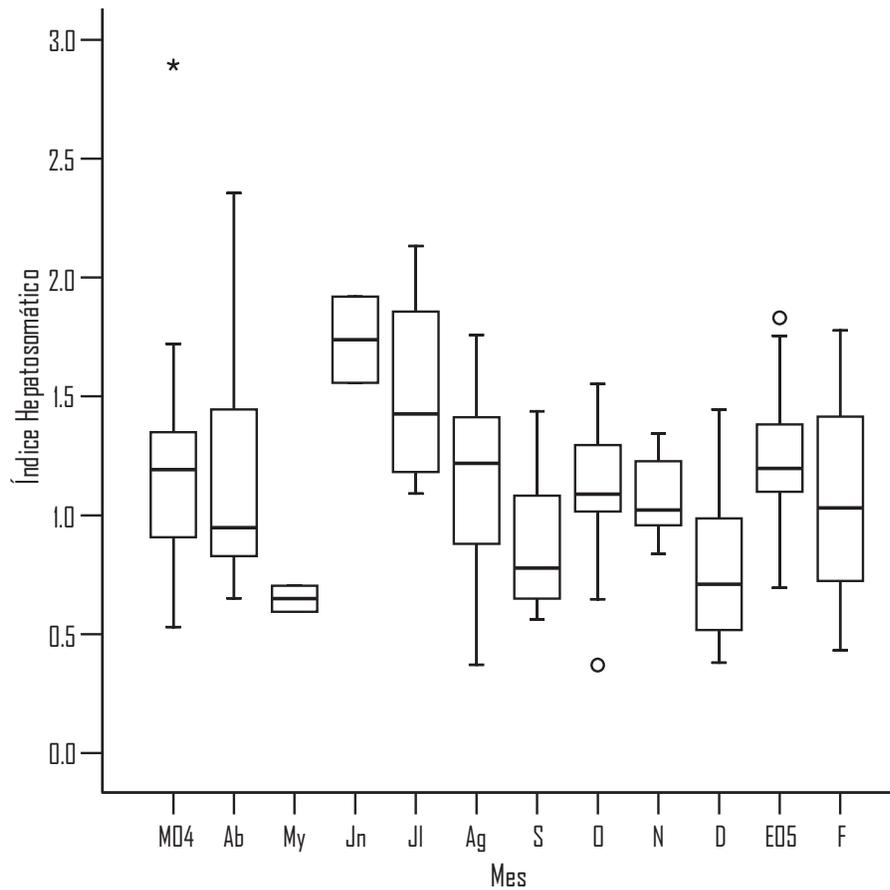


Figura 30. Comportamiento temporal del índice hepatosomático para hembras de *O. niloticus*.

### Madurez Gonádica.

Los cuatro estadios gonádicos se presentaron durante todo o casi todo el periodo anual para los machos, con las siguientes características: el estadio II muestra sus picos máximos en los meses de abril y diciembre, mientras que en el de proceso de maduración (estadio III) se observan sus máximos en los meses de marzo y de mayo a julio. Por otra parte, el máximo del proceso reproductivo (IV) se lleva a cabo entre los meses de mayo y julio y el de proceso de recuperación (V) en los meses de abril, junio y de agosto a noviembre (Figura 31).

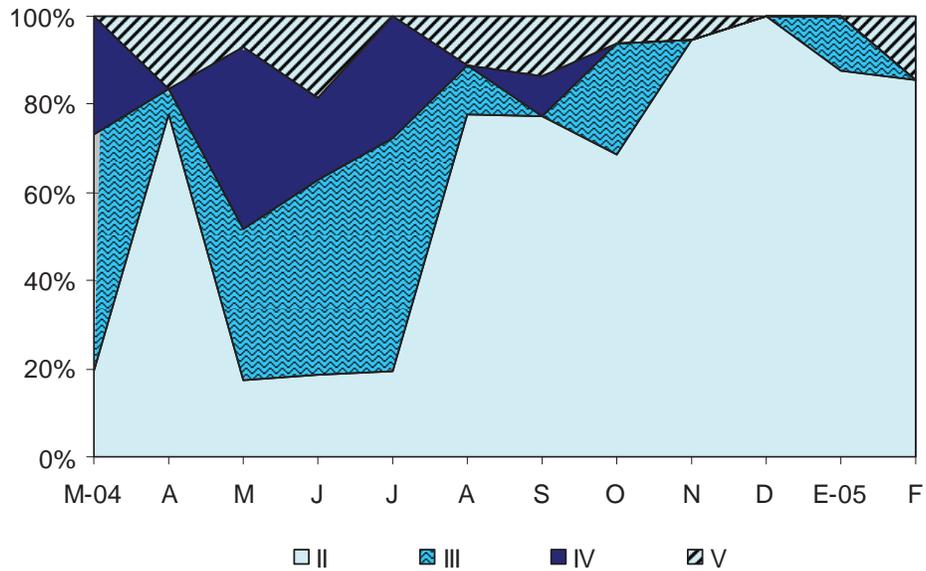


Figura 31. Estadios de maduración gonádica de los machos de *Oreochromis niloticus*.

En el caso de las hembras el estadio II se presenta a lo largo de todo el estudio predominando en mayo y en el período de noviembre a enero; el estadio III o proceso de maduración se presentó en abril, julio y septiembre y el mayor proceso reproductivo o estadio IV se observa en el mes de junio a septiembre, aunque es posible que se presente un segundo período entre febrero y marzo. Finalmente el proceso de recuperación o descanso se alcanza a detectar en el mes de agosto (Figura 32).

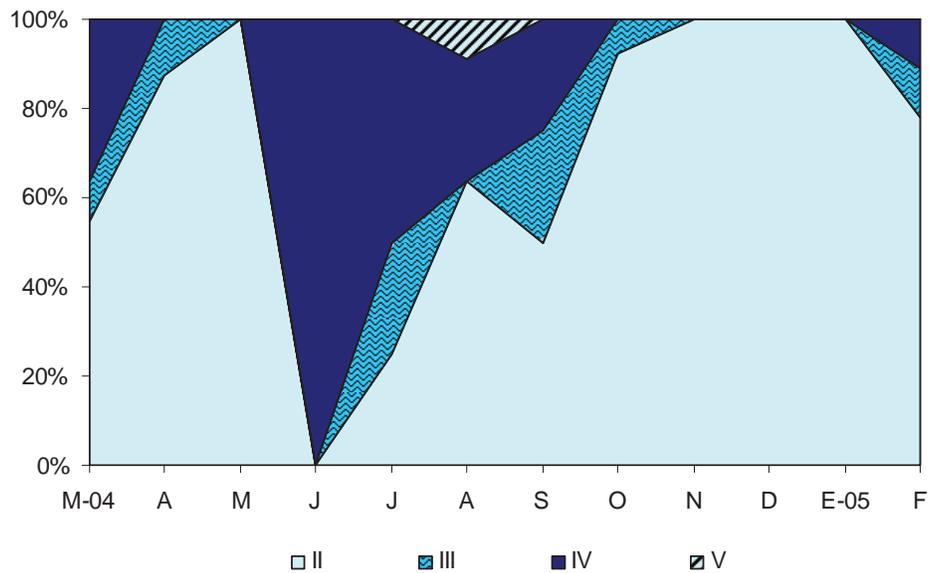


Figura 32. Estadios de maduración gonádica de las hembras de *Oreochromis niloticus*.

## Machos.

De los 240 machos capturados para este sistema en el transcurso del estudio, se utilizaron 229 peces para el análisis de los testículos.

Se realizó una prueba t-student entre las longitudes ( $t=0.47$ ,  $p>0.05$ ), así como entre los diámetros ( $t=0.77$ ,  $p>0.05$ ) de los testículos derecho e izquierdo, con el fin de saber si estadísticamente había diferencias significativas y de acuerdo al análisis no hay diferencias significativas entre las longitudes y tampoco entre los diámetros de los testículos.

Como se puede apreciar en las tablas 18, 19 y 20, la longitud, el diámetro y el peso de los testículos de la tilapia, aumentan su máximo cuando se encuentran en etapa reproductiva (estadio IV) y una vez que ha concluido esta, los testículos quedan vacíos y flácidos, por lo que pierden dimensiones.

Tabla 18. Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los testículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Longitud testículo derecho (cm)			Longitud testículo izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	2.0	4.8	3.3	2.0	4.8	3.3
III	3.6	6.2	4.9	3.5	6.3	4.8
IV	4.6	8.0	5.8	4.3	8.0	5.8
V	3.5	5.0	4.1	3.5	5.0	4.0

Tabla 19. Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los testículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Diámetro testículo derecho (cm)			Diámetro testículo izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	Promedio	mínimo	máximo	promedio
II	0.05	0.35	0.15	0.05	0.35	0.14
III	0.15	0.50	0.32	0.10	0.40	0.30
IV	0.25	0.70	0.48	0.25	0.70	0.45
V	0.10	0.20	0.14	0.10	0.20	0.14

Tabla 20. Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los testículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Peso testículos (g)		
	mínimo	máximo	promedio
II	0.05	0.20	0.16
III	0.20	0.90	0.64
IV	0.80	2.20	1.32
V	0.10	0.20	0.15

## Hembras.

De las hembras capturadas en este sistema fue posible la observación de cuatro estadios (II, III, IV y V) de los cinco propuestos para *Rastrelliger* citado en Holden y Raitt (1975) y esto debido a que se obtuvo mayor muestra de hembras a lo largo del año y en el lago en comparación con la presa.

Estadísticamente para los ovarios derecho y el izquierdo no hay diferencias significativas entre las longitudes ( $t=-1.21$ ,  $p>0.05$ ); sin embargo, si hay diferencias significativas entre los diámetros de ambos ovarios ( $t=2.36$ ,  $p<0.05$ ).

En relación a la longitud del ovario se registró un aumento gradual de su tamaño inicial (estadio II), alcanzando la máxima longitud en el estadio IV (Tabla 21).

Tabla 21. Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los ovarios de *D. niloticus*.

Madurez gonádica	Longitud ovario derecho (cm)			Longitud ovario izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	0.8	3.7	1.9	1.1	3.7	2.1
III	2.0	3.2	2.4	1.7	3.3	2.5
IV	1.7	4.3	2.8	1.5	3.8	2.7
V	1.9	2.7	2.3	1.9	2.8	2.4

Del mismo modo, el diámetro alcanza su máximo en el estadio IV, aumentando gradualmente conforme avanzan los estadios gonádicos y presentando una disminución una vez que pasa el periodo reproductivo, registrándose un máximo de 1.70 cm y un mínimo de 0.11 cm (Tabla 22).

Tabla 22. Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Diámetro ovario derecho (cm)			Diámetro ovario izquierdo (cm)		
	mínimo	máximo	promedio	mínimo	máximo	promedio
II	0.11	0.67	0.29	0.12	0.46	0.26
III	0.30	0.85	0.59	0.20	0.80	0.48
IV	0.40	1.70	0.81	0.35	1.50	0.66
V	0.30	0.60	0.45	0.30	0.50	0.42

El peso presenta el mismo comportamiento es decir, este aumenta conforme avanza el proceso de reproducción y disminuye una vez que se ha llevado a cabo el mismo. Se registró un mínimo de 0.1 g y un máximo de 9.0 g (Tabla 23).

Tabla 23. Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los ovarios de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Peso ovarios (g)		
	mínimo	máximo	promedio
II	0.1	1.0	0.2
III	0.3	2.3	0.9
IV	1.0	9.0	2.6
V	0.3	1.1	0.7

En la tabla 24 solo se registraron tres estadios gonádicos de los cinco propuestos para *Rastrelliger* en Holden y Raitt, (1975), debido a que solo se obtuvieron dos ovarios en estadio V de los cuales uno presentó 2 folículos entre 2001-3000  $\mu\text{m}$  y pocos folículos de 100 -1000  $\mu\text{m}$ , el otro ovario solo mostró folículos de 100-1000  $\mu\text{m}$ , pero presentaba las características de un ovario que pasó por el periodo reproductivo.

Se observa que la presencia de los folículos de menor tamaño es mayor que la de los más grandes; sin embargo, la presencia de estos últimos es más visible conforme avanza el estadio y la madurez gonádica, ya que aumentan su volumen considerablemente (Tabla 24).

Tabla 24. Relación entre los estadios gonádicos, número y diámetro de los folículos de *O. niloticus*.

Madurez gonádica	Intervalo diámetro folículos ( $\mu\text{m}$ )	Número de folículos		
		mínimo	máximo	promedio
II	100-1000	326	1378	852
	1001-2000	94	573	322
III	100-1000	118	654	366
	1001-2000	263	560	370
	2001-3000	115	600	344
IV	100-1000	240	903	471
	2001-3000	43	440	156

### Factores Ambientales.

La temperatura del agua fue mayor respecto a la temperatura ambiental en la mayoría de los muestreos para este sistema. La media anual de la temperatura ambiente fue de 28.2 °C, oscilando los valores desde 19.8 °C en enero a 32.5 °C en marzo. Para la temperatura del agua se registro una media anual de 29.3 °C, con valor máximo en agosto de 33.4 °C y mínimo de 24.1 °C en enero, el comportamiento de ambas temperaturas a lo largo del ciclo de muestreo fue muy similar, ya que los valores registrados varían respecto a las estaciones del año (Figura 33).

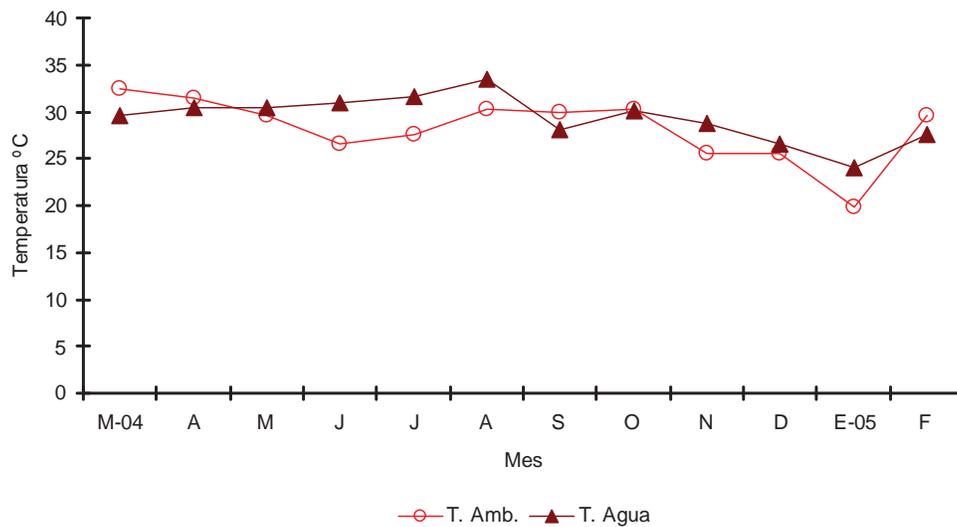


Figura 33. Comportamiento temporal de la temperatura ambiental y del agua.

El pH fluctúa entre las 7.6 unidades en septiembre y las 8.91 unidades en marzo correspondiendo a la época de lluvias y secas respectivamente y registro un promedio anual de 8.05 unidades (Figura 34). El valor de pH tiende hacia la neutralidad en la época de lluvias y aumenta en secas hacia la basicidad, estos valores son similares a los obtenidos en la presa Emiliano Zapata durante la realización de este estudio.

Referente a la concentración del oxígeno disuelto, el lago presenta la mayor concentración en el mes de junio (secas) con 15.22 mg/L y la mínima en el mes de noviembre (lluvias) con 5.24 mg/L de tal manera que registro un promedio de 10.40 mg/L, las concentraciones registradas para el lago son mayores respecto a los obtenidos en la presa; aunque los valores de la presa son variables ambos sistemas presentan un comportamiento similar a lo largo del estudio.

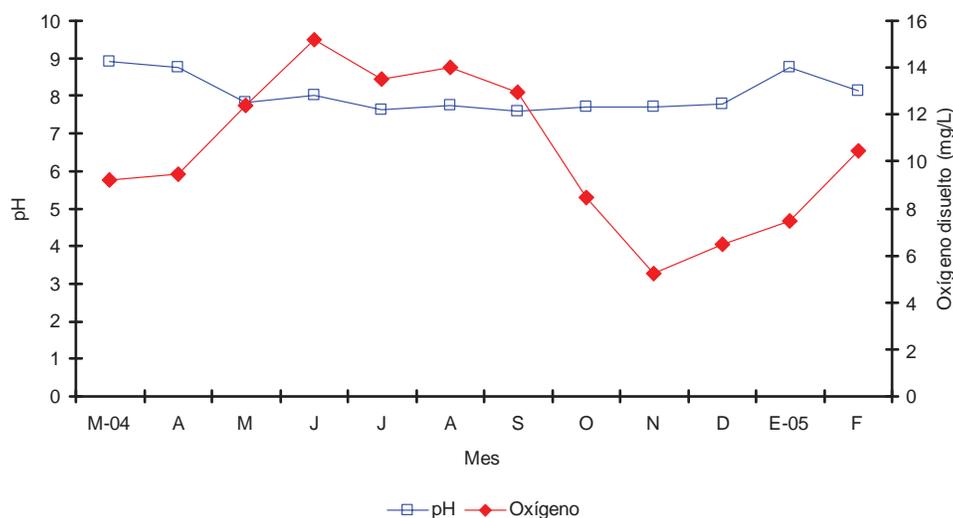


Figura 34. Comportamiento temporal del pH y la concentración de oxígeno disuelto.

Los valores registrados de la alcalinidad total están muy por debajo de los valores de la dureza total (Figura 35). La dureza total presentó valores de 400.4 mg/L en enero respondiendo a la época de secas y en septiembre se registro el valor mínimo de 184.18 mg/L correspondiendo a la época de lluvias, con promedio de 275.52 mg/L a lo largo del muestreo.

Por su parte la alcalinidad total muestra una media anual de 41.3 mg/L, con valor mínimo en agosto de 25 mg/L y máximo en abril con 92.5 mg/L, coincidiendo con la época de lluvias y secas respectivamente.

En el caso de la conductividad se muestra un promedio de 609.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , los valores oscilaron entre 543  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en octubre y 696  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en abril. Los tres parámetros presentan un comportamiento similar a través del tiempo, ya que tienden a disminuir sus valores en la época de lluvias y aumentarlos en la época de secas.

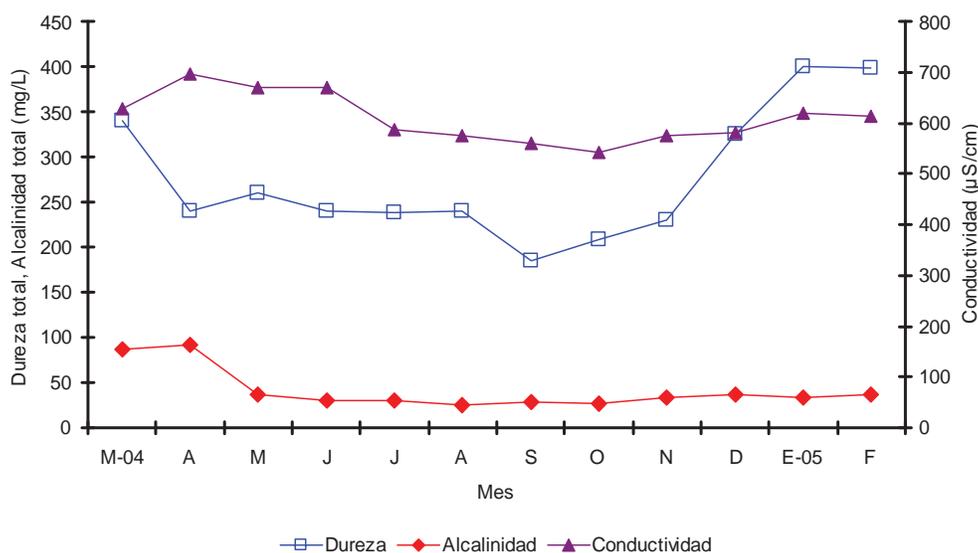


Figura 35. Comportamiento temporal de la dureza total (mg/L), alcalinidad total (mg/L) y la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

El análisis de correlación de Spearman realizado entre los parámetros fisicoquímicos y los indicadores del ciclo reproductivo para los machos mostró baja correlación entre el índice gonadosómico, la temperatura del agua; así como también con el oxígeno disuelto pero con alta significancia.

Tabla 25. Análisis de Correlación de Spearman para machos de *D. niloticus*.

	T. Amb. (°C)	T. Agua (°C)	O <sub>2</sub> (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad Total (mg/L)	Factor de Condición	IGS
T. Amb. (°C)	1.000	0.399	0.253	0.181	0.053	-0.176	0.095	-0.028	0.291
	.	(0.199)	(0.428)	(0.573)	(0.871)	(0.585)	(0.769)	(0.931)	(0.358)
T. Agua (°C)	0.399	1.000	0.708*	-0.175	0.189	-0.411	-0.298	-0.165	0.599*
	(0.199)	.	(0.010)	(0.585)	(0.556)	(0.185)	(0.346)	(0.609)	(0.040)
O <sub>2</sub> (mg/L)	0.253	0.708*	1.000	-0.158	0.238	-0.235	-0.354	-0.049	0.671*
	(0.428)	(0.010)	.	(0.625)	(0.457)	(0.463)	(0.259)	(0.880)	(0.017)
pH	0.181	-0.175	-0.158	1.000	0.785**	0.821**	0.761**	-0.179	-0.011
	(0.573)	(0.585)	(0.625)	.	(0.003)	(0.001)	(0.004)	(0.579)	(0.974)
Conductividad (µS/cm)	0.053	0.189	0.238	0.785**	1.000	0.592*	0.722**	-0.476	0.392
	(0.871)	(0.556)	(0.457)	(0.003)	.	(0.043)	(0.008)	(0.118)	(0.208)
Dureza Total (mg/L)	-0.176	-0.411	-0.235	0.821**	0.592*	1.000	0.667*	0.123	-0.091
	(0.585)	(0.185)	(0.463)	(0.001)	(0.043)	.	(0.018)	(0.704)	(0.778)
Alcalinidad Total (mg/L)	0.095	-0.298	-0.354	0.761**	0.722**	0.667*	1.000	-0.434	0.004
	(0.769)	(0.346)	(0.259)	(0.004)	(0.008)	(0.018)	.	(0.158)	(0.991)
Factor de Condición	-0.028	-0.165	-0.049	-0.179	-0.476	0.123	-0.434	1.000	-0.385
	(0.931)	(0.609)	(0.880)	(0.579)	(0.118)	(0.704)	(0.158)	.	(0.217)
IGS	0.291	<b>0.599*</b>	<b>0.671*</b>	-0.011	0.392	-0.091	0.004	-0.385	1.000
	(0.358)	<b>(0.040)</b>	<b>(0.017)</b>	(0.974)	(0.208)	(0.778)	(0.991)	(0.217)	.

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

r= coeficiente de correlación. IGS= Índice Gonadosómico.  
(Nivel de significancia); n= 12.

El análisis de correlación de Spearman para el caso de las hembras mostró una baja correlación entre el índice gonadosomático y el oxígeno disuelto pero con un alto nivel de significancia.

Tabla 26. Análisis de Correlación de Spearman para hembras de *O. niloticus*.

	T. Amb. (°C)	T. Agua (°C)	O <sup>2</sup> (mg/L)	pH	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad Total (mg/L)	Factor de Condición	IGS	IHS
T. Amb. (°C)	1.000	0.399	0.253	0.181	0.053	-0.176	0.095	0.077	0.105	0.056
		(0.199)	(0.428)	(0.573)	(0.871)	(0.585)	(0.769)	(0.812)	(0.745)	(0.862)
T. Agua (°C)	0.399	1.000	0.708*	-0.175	0.189	-0.411	-0.298	-0.021	0.340	0.434
	(0.199)		(0.010)	(0.585)	(0.556)	(0.185)	(0.346)	(0.948)	(0.280)	(0.158)
O <sup>2</sup> (mg/L)	0.253	0.708*	1.000	-0.158	0.238	-0.235	-0.354	-0.014	0.615*	0.350
	(0.428)	(0.010)		(0.625)	(0.457)	(0.463)	(0.259)	(0.966)	(0.033)	(0.265)
pH	0.181	-0.175	-0.158	1.000	0.785**	0.821**	0.761**	-0.070	0.070	0.242
	(0.573)	(0.585)	(0.625)		(0.003)	(0.001)	(0.004)	(0.829)	(0.829)	(0.449)
Conductividad (µS/cm)	0.053	0.189	0.238	0.785**	1.000	0.592*	0.722**	-0.308	0.231	0.308
	(0.871)	(0.556)	(0.457)	(0.003)		(0.043)	(0.008)	(0.331)	(0.471)	(0.331)
Dureza Total (mg/L)	-0.176	-0.411	-0.235	0.821**	0.592*	1.000	0.667*	0.196	0.007	0.028
	(0.585)	(0.185)	(0.463)	(0.001)	(0.043)		(0.018)	(0.541)	(0.983)	(0.931)
Alcalinidad Total (mg/L)	0.095	-0.298	-0.354	0.761**	0.722**	0.667*	1.000	-0.235	-0.116	-0.182
	(0.769)	(0.346)	(0.259)	(0.004)	(0.008)	(0.018)		(0.463)	(0.721)	(0.571)
Factor de Condición	0.077	-0.021	-0.014	-0.070	-0.308	0.196	-0.235	1.000	0.287	0.119
	(0.812)	(0.948)	(0.966)	(0.829)	(0.331)	(0.541)	(0.463)		(0.366)	(0.713)
IGS	0.105	0.340	<b>0.615*</b>	0.070	0.231	0.007	-0.116	0.287	1.000	0.594*
	(0.745)	(0.280)	<b>(0.033)</b>	(0.829)	(0.471)	(0.983)	(0.721)	(0.366)		(0.042)
IHS	0.056	0.434	0.350	0.242	0.308	0.028	-0.182	0.119	0.594*	1.000
	(0.862)	(0.158)	(0.265)	(0.449)	(0.331)	(0.931)	(0.571)	(0.713)	(0.042)	

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

r= coeficiente de correlación. IGS= Índice Gonadosomático.

(Nivel de significancia); n= 12. IHS= Índice Hepatosomático.

## DESCRIPCIÓN DE LA MADURACIÓN GONÁDICA.

Las gónadas de *O. niloticus* se clasificaron con base a la escala de estadios gonádicos propuesta para *Rastrelliger* citado en Holden y Raitt (1975) para peces de clima cálido, en donde se encuentran distribuidas de I a V fases de desarrollo gonádico de acuerdo a las características macroscópicas que presentan (Figura 36).

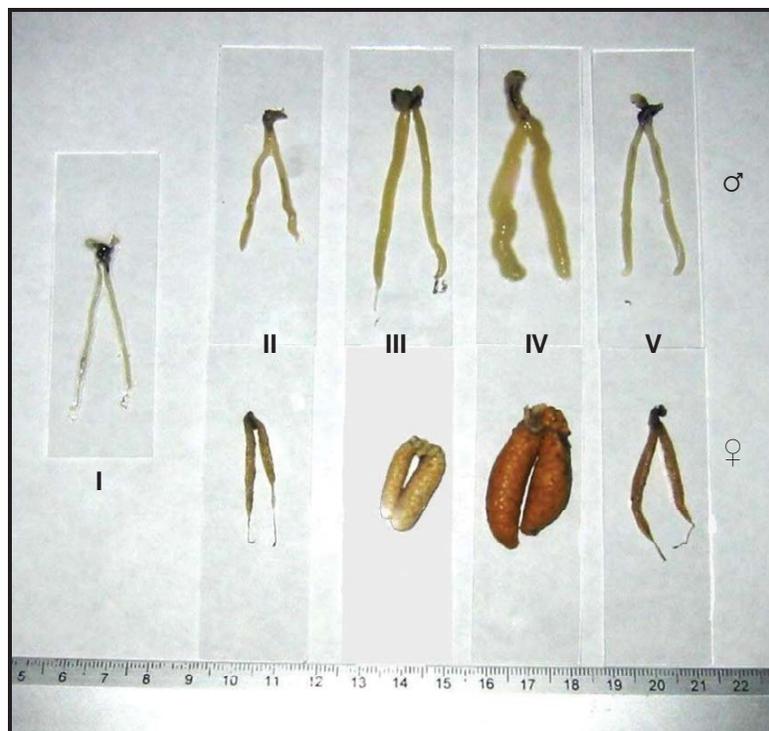


Figura 36. Representación del desarrollo gonádico de *O. niloticus*.

Debido a que se trabajó con la misma especie en ambos sistemas, la descripción macroscópica y el análisis histológico de las gónadas se realizaron de manera conjunta para ambas poblaciones, dado que no se encontraron diferencias morfológicas.

### Estadio I

En el estadio de inmadurez no es posible distinguir entre ovarios y testículos debido a que aun no se han diferenciado las células germinativas.

## TESTÍCULOS

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

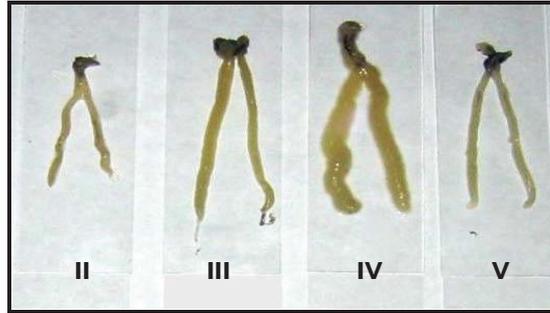


Figura 37. Representación del desarrollo gonádico en testículos de *O. niloticus*.

### Estadio II

En el estadio de desarrollo se observaron testículos de color blanco traslucido a opaco, con longitudes que van de 1.8 a 4.9 cm, y promedio de 3.3 cm, diámetros de 0.05 a 0.4 cm con promedio de 0.16 cm y peso promedio de 0.17 g, oscilando entre 0.05 a 0.5 g (Figura 37).

### Estadio III

El estadio de maduración presentó una coloración de blanco a crema, las longitudes oscilan entre 3 y 6.3 cm con promedio de 4.6 cm, los diámetros varían de 0.15 a 0.5 cm y promedio de 0.31 cm y el peso de 0.61 g en promedio; oscilando entre 0.2 a 1 g (Figura 37).

### Estadio IV

En el estadio de reproducción adquirieron coloración crema, la longitud promedio se registró de 5.5 cm, presentando una longitud mínima de 3.8 cm y una máxima de 8.0 cm, el diámetro promedio registrado fue de 0.45 cm, oscilando entre 0.25 y 0.7 cm; y el peso promedio fue de 1.24 g variando de 0.5 a 3.1 g (Figura 37).

### Estadio V

El estadio de posdesove (Figura 37) mostraron coloración crema, con paredes flojas, para la longitud se registró como mínimo de 3.5 cm y máximo de 5 cm, teniendo un promedio de 3.9 cm; el diámetro registró máximo de 0.2 cm y mínimo de 0.05 cm con promedio de 0.14 cm; el peso presento un promedio de 0.14 g variando de 0.1 a 0.2 g.

## OVARIOS

Las gónadas femeninas de *D. niloticus* se encuentran distribuidas en cuatro estadios de desarrollo (Figura 38), los cuales se describen a continuación:

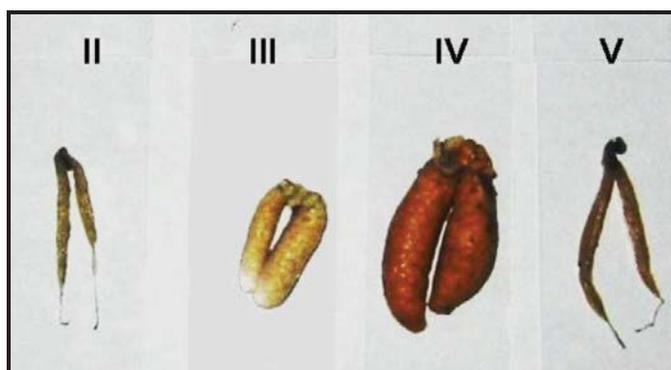


Figura 38. Representación del desarrollo gonádico en ovarios de *D. niloticus*.

### Estadio II

En la figura 39 se observa un ovario en estadio II (desarrollo) de coloración rosáceo a amarillo, en el cual se identificaron folículos de dos tamaños: los pequeños se encuentran en un intervalo de 100 – 1000  $\mu\text{m}$  y los más grandes de 1001 – 2000  $\mu\text{m}$ . Además se registraron longitudes que van de 0.8 a 3.7 cm, y promedio de 2.1 cm, diámetros de 0.11 a 0.67 cm y promedio de 0.27 cm y peso promedio de 0.22 g, oscilando entre 0.1 a 1 g.

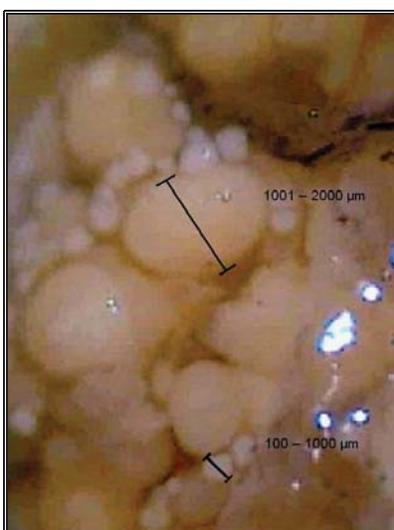


Figura 39. Ovario en Estadio de Maduración II o desarrollo (40X).

### Estadio III

En los ovarios en estadio III (maduración), se identificaron tres tamaños de folículos: los pequeños se observaron dentro del intervalo de 100 – 1000  $\mu\text{m}$ , los medianos de 1001 – 2000  $\mu\text{m}$  y los grandes de 2001 – 3000  $\mu\text{m}$  (Figura 40). Las longitudes registradas oscilan entre 1.7 y 3.3 cm con promedio de 2.5 cm, los diámetros varían de 0.2 a 0.88 cm con promedio de 0.53 cm y el peso de 1.27 g en promedio; oscilando entre 0.3 a 3.2 g. Presentaron coloración amarillenta.

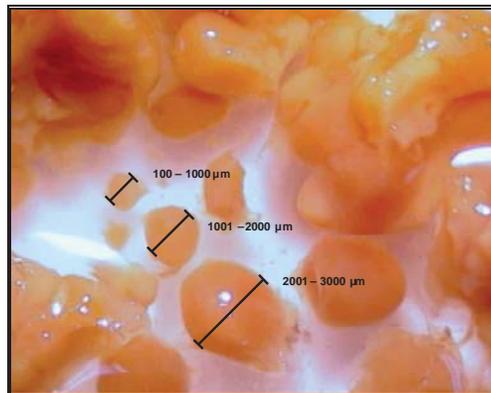


Figura 40. Folículos de ovario en estadio de maduración III o maduración (40X).

### Estadio IV

Para el ovario en estadio de maduración IV (reproducción), se identificaron dos tamaños de folículos, uno de 100 – 1000  $\mu\text{m}$  y otro de 2001 – 3000  $\mu\text{m}$ . Una característica de este estadio es el crecimiento muy marcado de los folículos maduros (Figura 41). La longitud promedio se registró de 2.9 cm, presentando longitud mínima de 1.5 cm y máxima de 4.3 cm, el diámetro promedio registrado fue de 0.72 cm, oscilando entre 0.35 y 1.7 cm; y el peso promedio fue de 2.4 g variando de 1 a 9 g. Además se observó una coloración de amarillenta a naranja.

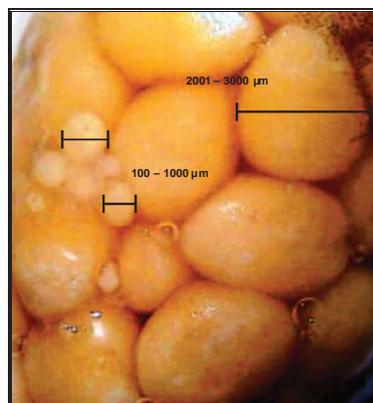


Figura 41. Folículos de ovario en estadio de maduración IV o reproducción (40X).

## Estadio V

En el ovario en estadio V o de posdesove se identificaron dos tamaños de folículos, los primeros en un intervalo de 100 – 1000  $\mu\text{m}$  y los otros de 2001 – 3000  $\mu\text{m}$ . Pero a diferencia del estadio IV la presencia de los folículos grandes no excede de 10. Los folículos grandes como puede observarse en la figura 42 se encuentran en desintegración. La longitud registró un mínimo de 1.9 cm y un máximo de 2.8 cm, teniendo como promedio de 2.3 cm; el diámetro registró el máximo de 0.6 cm y mínimo de 0.3 cm con promedio de 0.43 cm; el peso presentó un promedio de 0.7 g variando de 0.3 a 1.1 g. Presentaron paredes flácidas, translúcidas o sanguinolentas.

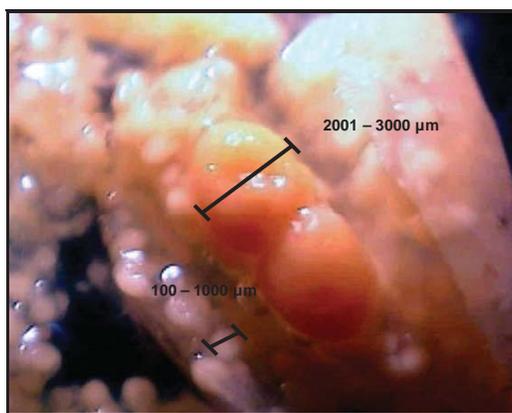


Figura 42. Folículos de ovario en estadio de maduración V o posdesove (40X).

### Gónadas Anómalas

Durante la realización del presente estudio se observaron eventos anormales en cuanto al desarrollo de las gónadas femeninas de *Oreochromis niloticus*.

En la figura 43 se aprecia el ovario izquierdo que presenta crecimiento anormal debido a ello, el ovario izquierdo se atrofió totalmente, este ovario media de longitud 5.8 cm y de diámetro 2.5 cm, pesó más de 17 g y se contaron alrededor de 1400 folículos. Esta hembra se capturo en la presa Emiliano Zapata, pero en el lago Coatetelco se registro un caso similar.

Los folículos contenidos en la gónada de la figura 43 presentaban diámetros de 2000 a 3000  $\mu\text{m}$ ; como característica presentaban una separación del vitelo: de un lado era compacto mientras que del otro presentaba una textura granular (Figura 44).



Figuras 43 y 44. Ovario y folículos anormales (40X) de *O. niloticus*.

Otro de los eventos observados fue la presencia de conglomerados de folículos (Figura 45) que a simple vista se observaban, en otros al diseccionar la gónada, se registró también en ambos sistemas.



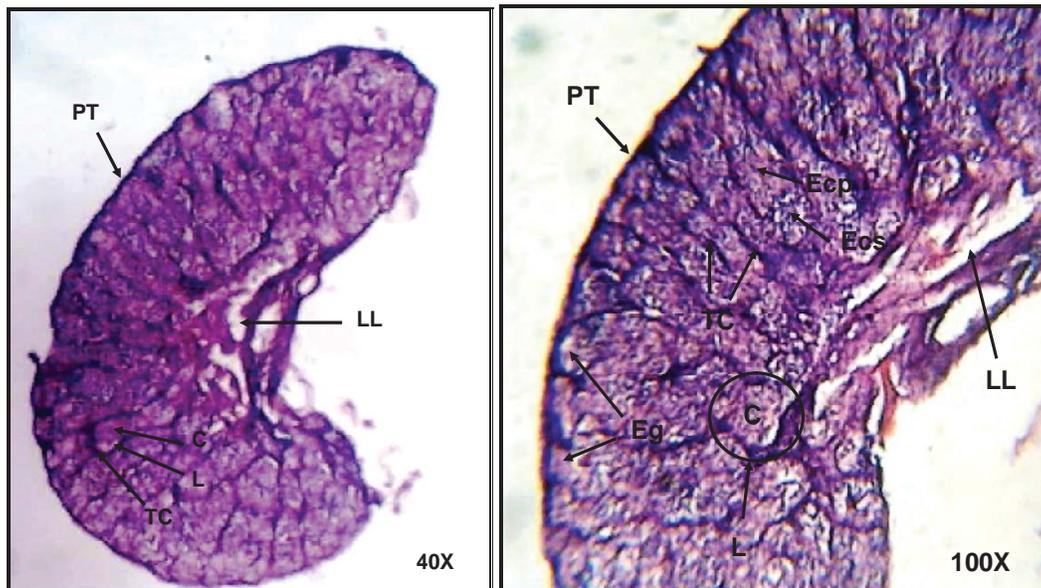
Figura 45. Ovario con conglomerados de folículos de *O. niloticus* (40X).

## ANÁLISIS HISTOLÓGICO

### Testículos

#### Estadio II

En las micrografías del testículo (Figuras 46 y 47) 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, 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 46 y 47. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio II en las que se identifican pared testicular (PT), lumen lobular (LL), tejido conjuntivo (TC), lóbulos (L), cistos (C), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ecp) y espermatocitos secundarios (Ecs) . H-E 40X, 100x.

De igual manera en las figuras 48 y 49 se observa la pared testicular, el tejido conjuntivo que separa a los cistos, espermatogonias las cuales presenta un núcleo grande, además los espermatocitos primarios y secundarios se diferencian por la distinta coloración que presentan y por el tamaño, siendo los primeros más claros y grandes en comparación con los segundos.

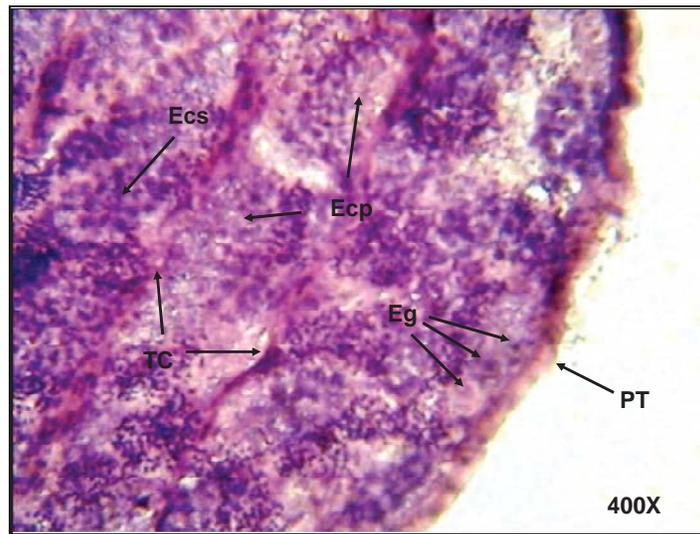


Figura 48. Micrografía de corte transversal de testículo de *D. niloticus* en estadio II en la que se identifica pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ecp), espermatocitos secundarios (Ecs) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400X.

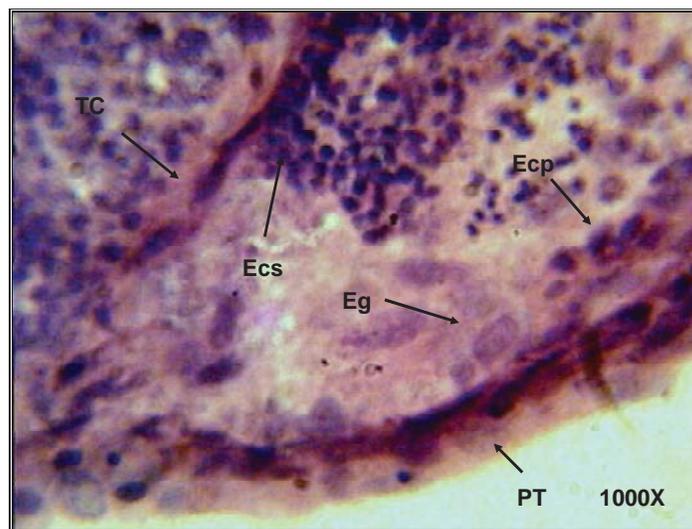


Figura 49. Micrografía de corte transversal de testículo de *D. niloticus* en estadio II en la que se identifica pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ecp), espermatocitos secundarios (Ecs) y tejido conjuntivo (TC). H-E 1000X.

### Estadio III

Conforme avanza el desarrollo de la gónada en estadio III se presentan varias características, fue separada en 3 etapas: temprana, media y avanzada, las cuales a continuación se describen:

#### Etapa temprana

En la periferia del testículo se observa que se localiza una gran cantidad de cistos de espermatocitos primarios y secundarios. En menor cantidad y cerca del lumen lobular se localizan las espermátidas las cuales se diferencian a espermatozoide (Figuras 50, 51 y 52). El lumen lobular o conducto deferente ocupa menos de un tercio del testículo.

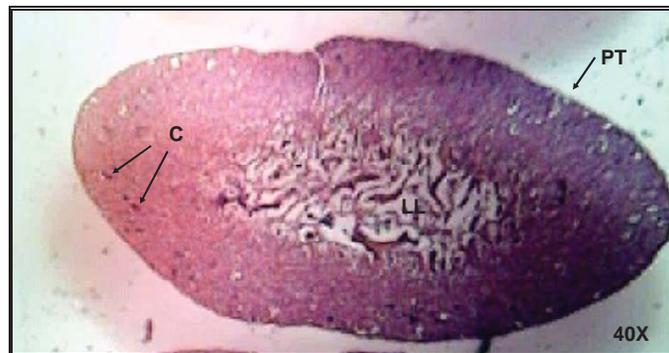
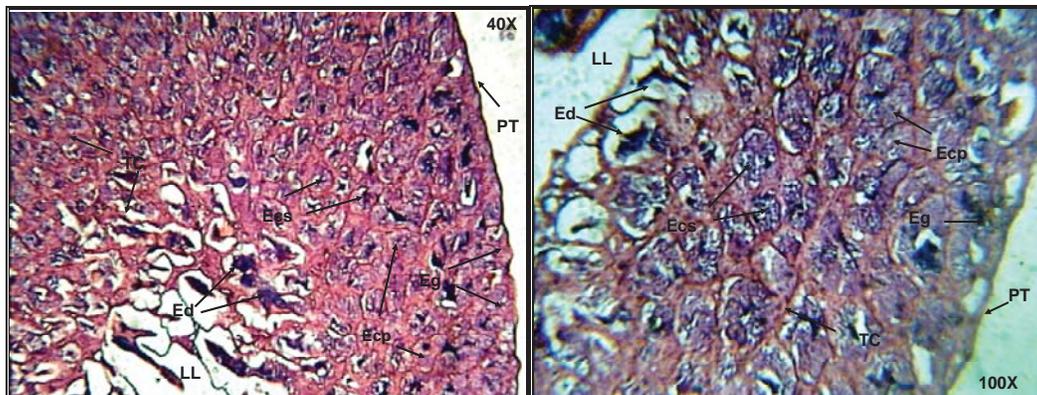


Figura 50. Micrografía de corte transversal de testículo en estadio III en etapa temprana, se identifica la pared testicular (PT), cistos (C) y lumen lobular (LL). H-E 40X.



Figuras 51 y 52. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa temprana, se observan la pared testicular (PT), las espermatogonias (Eg), los espermatocitos primarios (Ecp), los espermatocitos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), el tejido conjuntivo (TC) y el lumen lobular (LL). H-E 40X, 100X.

## Etapa media

En esta etapa, 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 áculos en el centro del lumen lobular o conducto deferente, el cual ocupa cerca de la mitad del espacio interior del testículo (Figuras 53, 54 y 55).

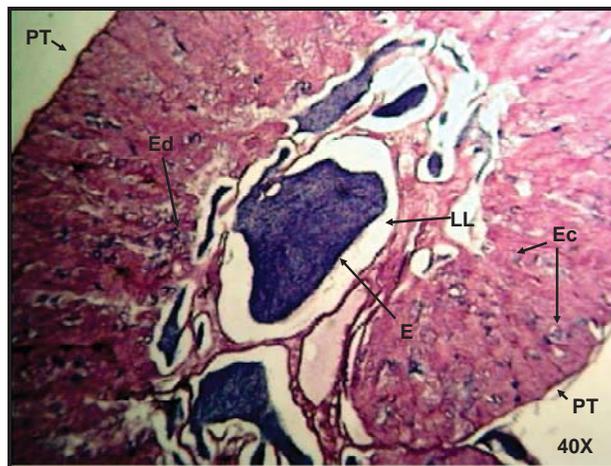
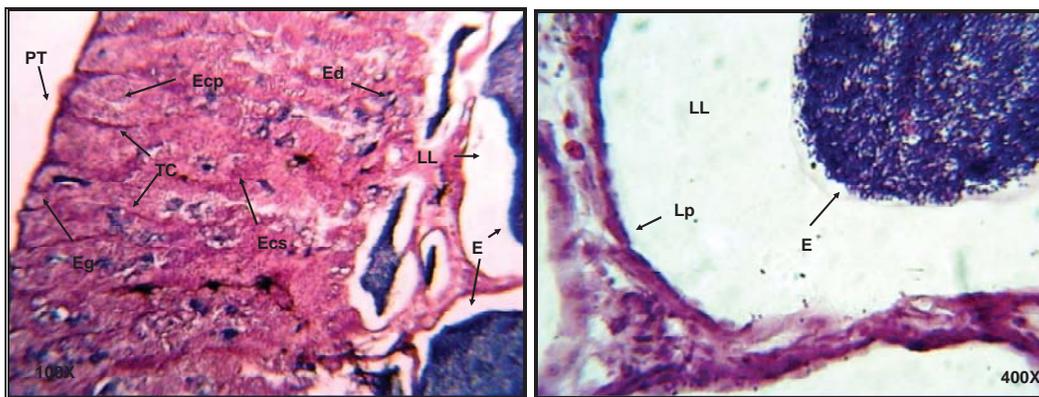


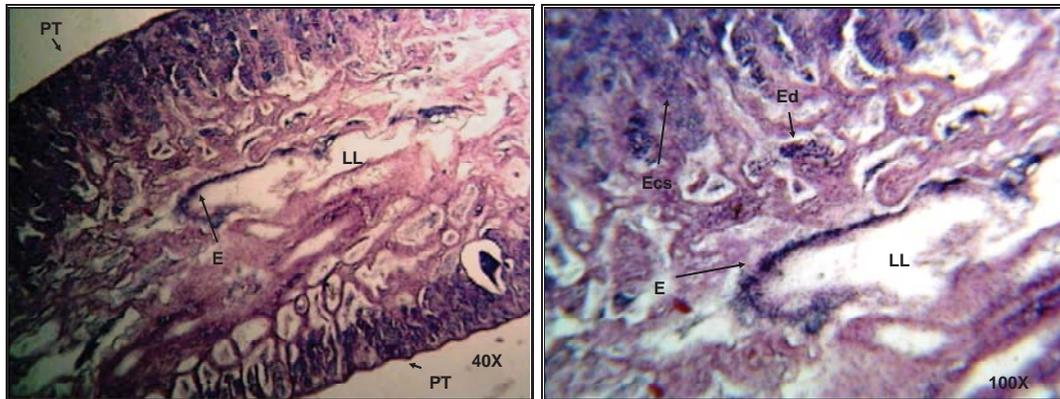
Figura 53. Micrografía de corte transversal de testículo en estadio III en etapa media, se identifican pared testicular (PT), espermatocitos (Ec), espermatidas (Ed), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E 40X.



Figuras 54 y 55. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa media, se observan pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos primarios (Ecp), espermatocitos secundarios (Ecs), espermatidas (Ed), espermatozoides (E), tejido conjuntivo (TC), pared del lumen lobular (Lp) y lumen lobular (LL). H-E, 100X, 400X.

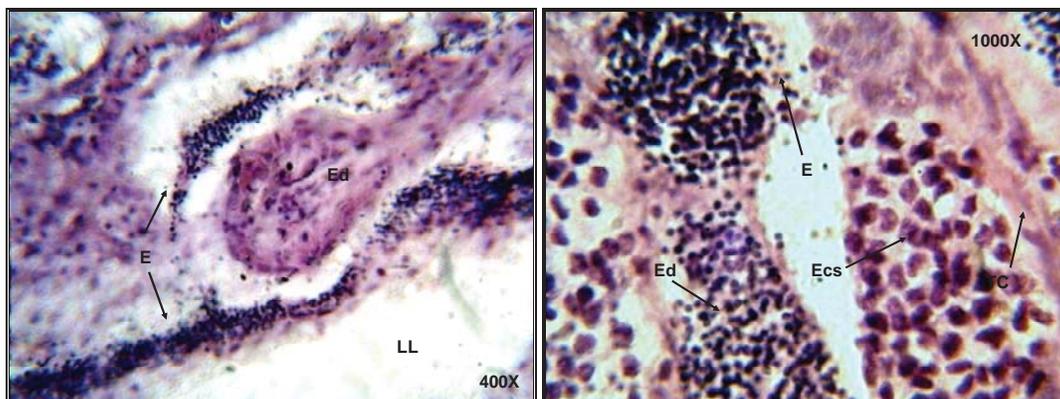
### Etapa Avanzada

Siguiendo la disposición radial, se observa que en la periferia del testículo la presencia de los espermatocitos primarios y secundarios es más evidente la reducción, las espermátidas han aumentado, los espermatozoides son más evidentes, y esto esta relacionado con el aumento del lumen lobular el cual ocupa cerca de dos tercios del espacio interior del testículo (Figuras 56 y 57).



Figuras 56 y 57. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa avanzada, se identifica la pared testicular (PT), espermatocitos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E. 40X, 100X.

En la figura 58 se observan los acúmulos que forman los espermatozoides cuando son liberados de los cistos, los cuales migran hacia el lumen lobular, además en la figura 59 se observan las diferencias en cuanto a tamaño y coloración que presentan las células germinales.



Figuras 58 y 59. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa avanzada, se observan espermatocitos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E), tejido conectivo (TC) y lumen lobular (LL). H-E. 400X, 1000X.

### 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 (Figura 60).

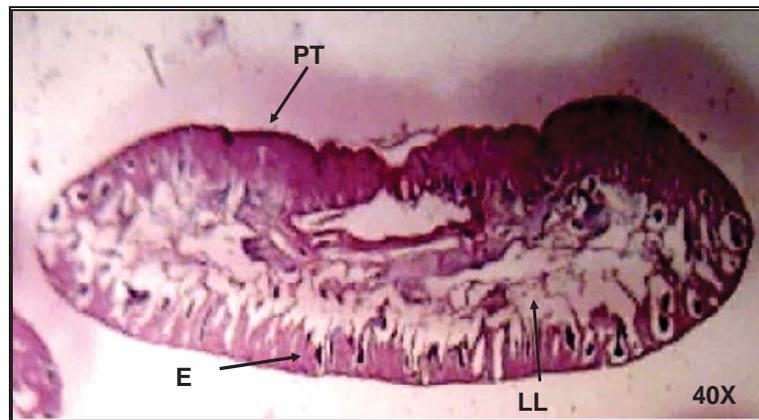
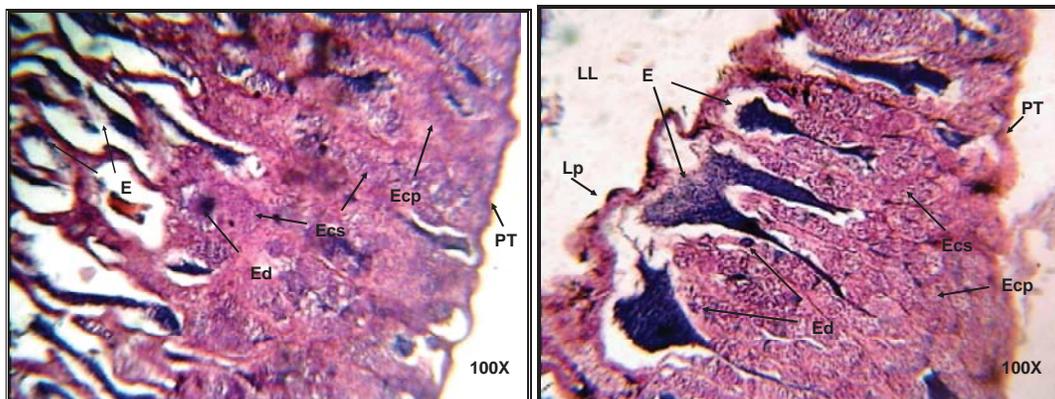


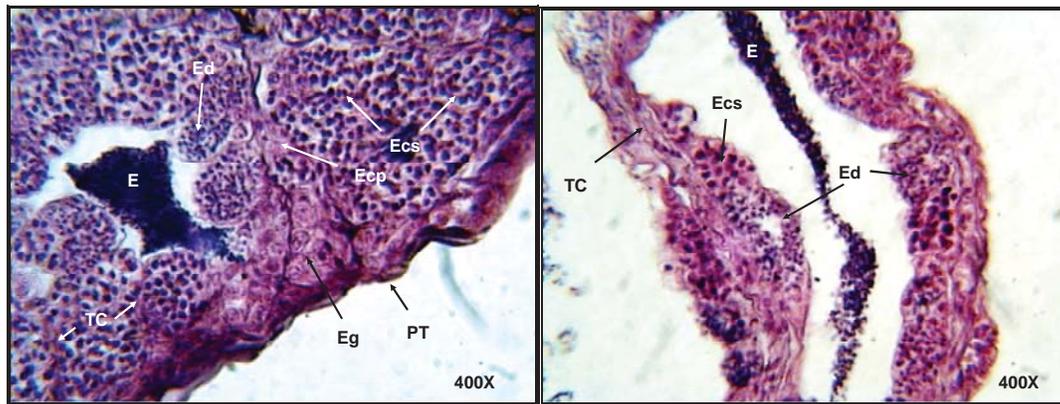
Figura 60. Micrografía de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan la pared testicular (PT), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E 40X.

Como se puede ver en las siguientes figuras, las espermatidas ocupan prácticamente toda la periferia del lumen lobular. En este estadio 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 61 y 62).



Figuras 61 y 62. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan pared testicular (PT), espermatocitos primarios (Ecp) espermatocitos secundarios (Ecs), espermatidas (Ed), espermatozoides (E), lumen lobular (LL) y pared del lumen lobular (Lp). H-E, 100X.

Es evidente la presencia de espermatogonias las cuales se aprecian en la periferia del testículo y pegadas a la pared testicular (Figura 63). En un corte central se observa como los espermatozoides se unen para dirigirse al lumen lobular (Figura 64).



Figuras 63 y 64. Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan la pared testicular (PT) espermatogonias (Eg) espermatocitos primarios (Ecp), espermatocitos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E) y tejido conjuntivo (TC). H-E, 400X.

En la figura 65 es posible observar la presencia del tejido conjuntivo o trábeculas en las cuales a su alrededor se sostienen los cistos de espermatocitos primarios y secundarios, así como de espermátidas, también es evidente los ácumulos de espermatozoides, incluso cercanos a la pared testicular, los cuales migran hacia el lumen lobular o conducto deferente.

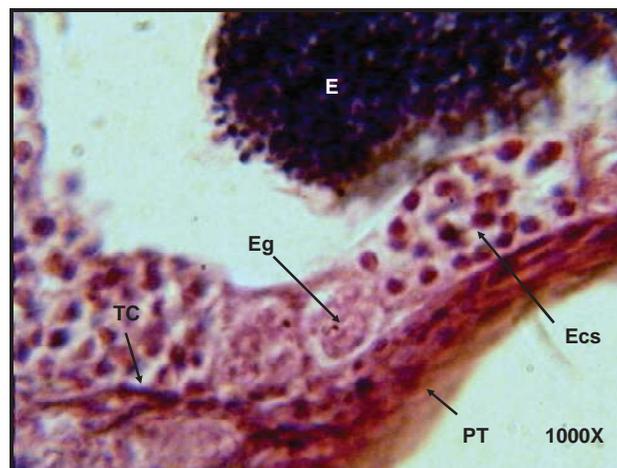


Figura 65. Micrografía de corte transversal de testículo en estadio IV, se observa pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatocitos secundarios (Ecs), espermatozoides (E) y tejido conjuntivo (TC). H-E 1000X.

## Ovarios

### Estadio II

En este estadio, la figura 66 muestra los diferentes tamaños de folículos que se encuentran en la gónada, los cuales se clasificaron en dos tamaños: de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  y de 1001 a 2000  $\mu\text{m}$ .

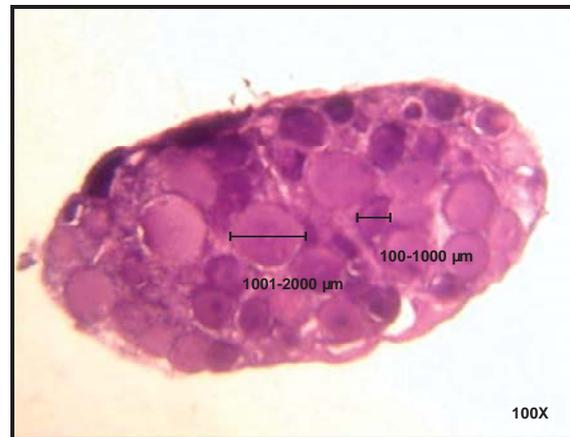


Figura 66. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *D. niloticus*, H-E 100X.

En la figura 67 se muestra la presencia de folículos en previtelogénesis (1), los cuales se identifican por tener un núcleo prominente, céntrico y citoplasma basófilo, además de folículos en vitelogénesis temprana (2), los cuales comienzan el acumulo de vesículas vitelinas.

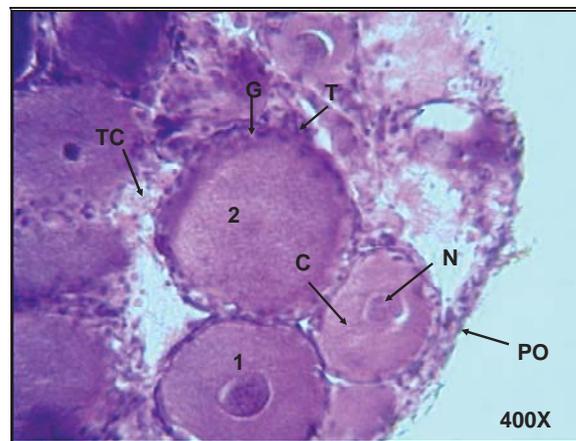


Figura 67. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *D. niloticus*, se identifican folículos en previtelogénesis (1) y vitelogénesis temprana (2), núcleo (N), citoplasma (C), células de la granulosa (G), células de la teca (T), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO), H-E 400X.

En el folículo previtelogénico (Figura 68), se observan las células de la teca, la membrana basal 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 (Figura 69) los cuales desaparecerán cuando la vesícula germinal se rompa al final de la maduración (Nagahama, 1983; Wallace y Selman, 1981; Estrada y Uribe, 2002).

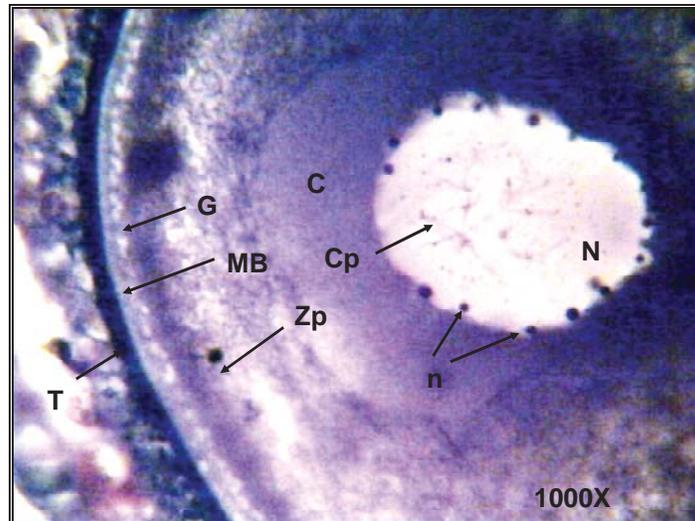


Figura 68. Micrografía de folículo previtelogénico de ovario en estadio II de *D. niloticus*, se identifica el núcleo o vesícula germinal (N), nucléolos (n), cromosomas plumosos (Cp), citoplasma (C), la zona pelúcida (Zp), células de la granulosa (G), membrana basal (MB) y células de la teca (T). H-E 1000X.

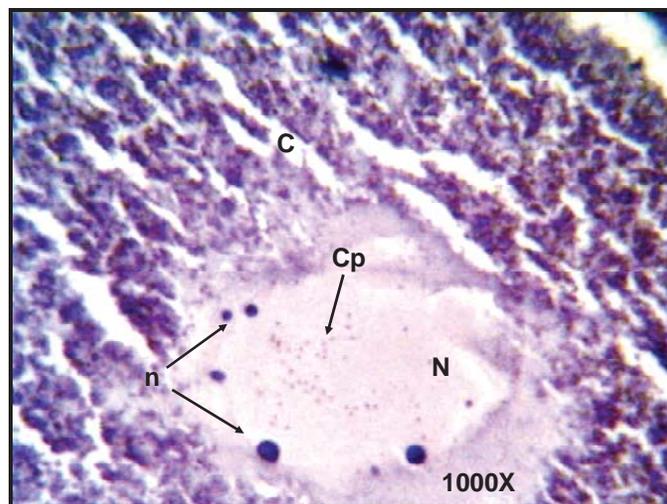


Figura 69. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *D. niloticus*, acercamiento del núcleo (N) donde se identifica citoplasma (C), nucléolos (n) y cromosomas plumosos (Cp). H-E 1000X.

### Estadio III

En el estadio III se observan tres tamaños de folículos: de 100 a 1000  $\mu\text{m}$ , de 1001 a 2000  $\mu\text{m}$  y de 2001 a 3000  $\mu\text{m}$  (Figura 70).

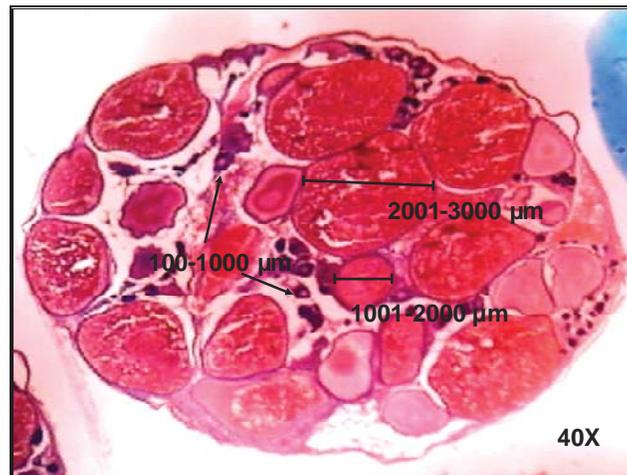
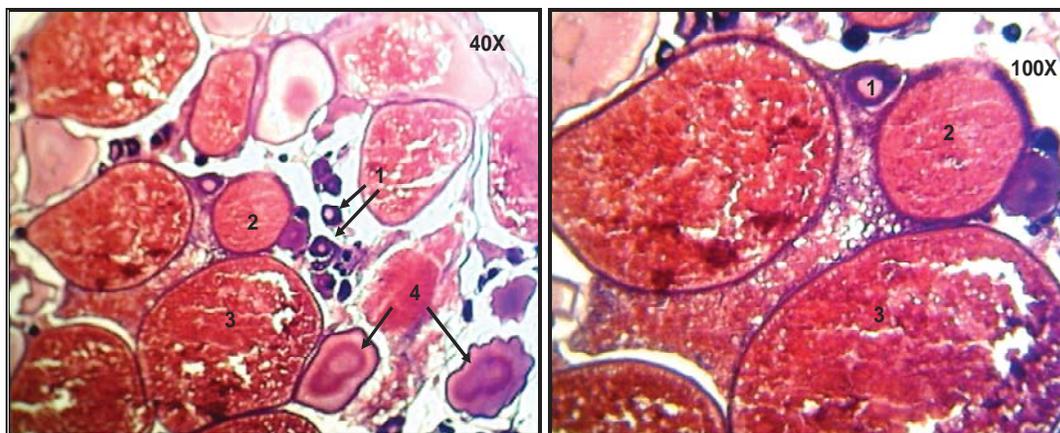


Figura 70. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio III de *D. niloticus*, H-E 40X.

Los folículos tanto en etapa de previtelogénesis, como en vitelogénesis temprana y avanzada son característicos de este estadio, ya que el ovario se encuentra en la etapa de maduración. La presencia de folículos atrésicos (4) no es exclusiva de este estadio, ya que se puede presentar en cualquiera de las etapas del desarrollo del folículo (Figuras 71 y 72).



Figuras 71 y 72. Micrografías de corte transversal de ovario en estadio III de *D. niloticus*, se identifican folículos en previtelogénesis (1), en vitelogénesis temprana (2), en vitelogénesis avanzada (3) y atrésicos (4). H-E 40X, 100X.

Como se aprecia en el folículo (vitelogenesis temprana) que se encuentra en la parte superior de la figura 73, las células de la teca no se han diferenciado totalmente en interna y externa. El folículo en vitelogenesis avanzada de la parte inferior de la misma micrografía se observa la diferenciación de 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 la etapa de vitelogenesis la acumulación de vesículas vitelinas ocupan prácticamente todo el citoplasma y determinan el aumento de tamaño del folículo, además el citoplasma se vuelve acidófilo.

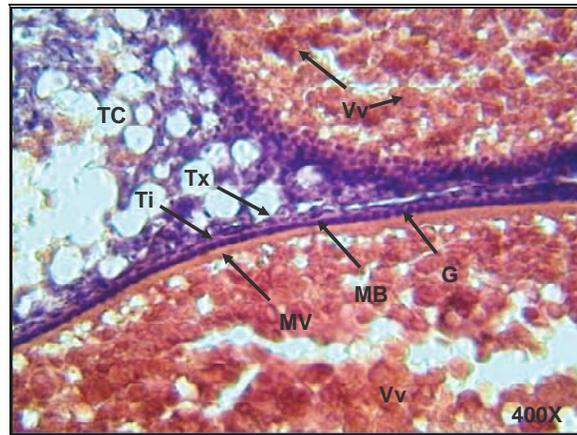


Figura 73. Micrografía de foliculos vitelogenéticos de ovario en estadio III de *D. niloticus*, se observan vesículas vitelinas (Vv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca interna (Ti) y externa (Tx) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400X.

En la figura 74 se observa la pared del ovario (PO), el cual esta dividida en tres capas: la externa compuesta de epitelio cúbico-ciliar; la media de tejido conectivo y la interna que es fibrosa y compacta (Rodríguez, 1992).

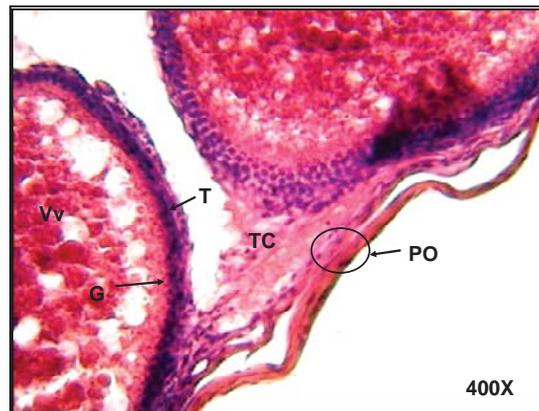


Figura 74. Micrografía de foliculos vitelogenéticos de ovario en estadio III de *D. niloticus*, se aprecian las células de la granulosa (G), las células de la teca (T), el tejido conjuntivo (TC) y la pared del ovario (PO). H-E 400X.

### Estadio IV

Los dos tamaños de folículos que se registraron para el estadio IV o de reproducción van de 100 a 1000  $\mu\text{m}$  y de 2001 a 3000  $\mu\text{m}$  (Figura 75).

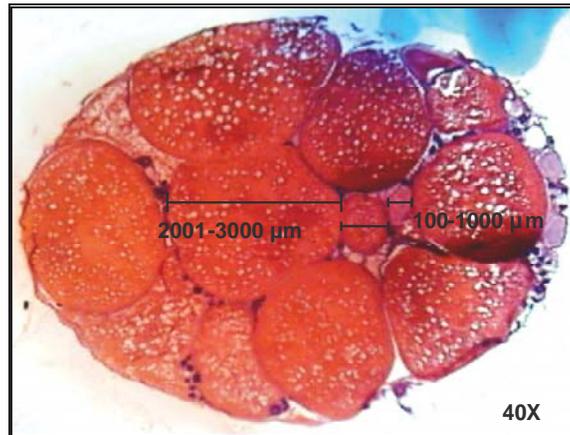


Figura 75. Micrografía de corte transversal de ovario en estadio IV de *D. niloticus*, H-E 40X.

Como se puede apreciar en la figura 76 los folículos han completado el crecimiento vitelogenético aumentando considerablemente su tamaño, sin embargo se observan folículos pequeños 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).

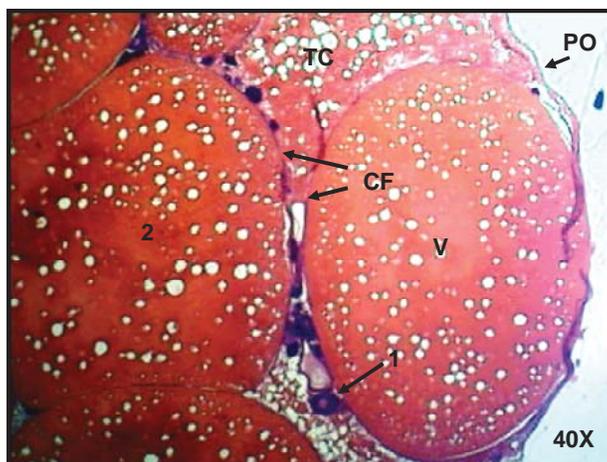


Figura 76. Micrografía de folículos maduros de ovario en estadio IV de *D. niloticus*, se observan folículos previtelogenéticos (1) y folículos maduros (2), además vitelo (V), capas foliculares (CF), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO), H-E 40X.

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 ha reducido y la membrana vitelina es más evidente (Figuras 77 y 78). Cabe mencionar que durante la ovulación esta capa de células se desprende para permitir la salida del óvulo.

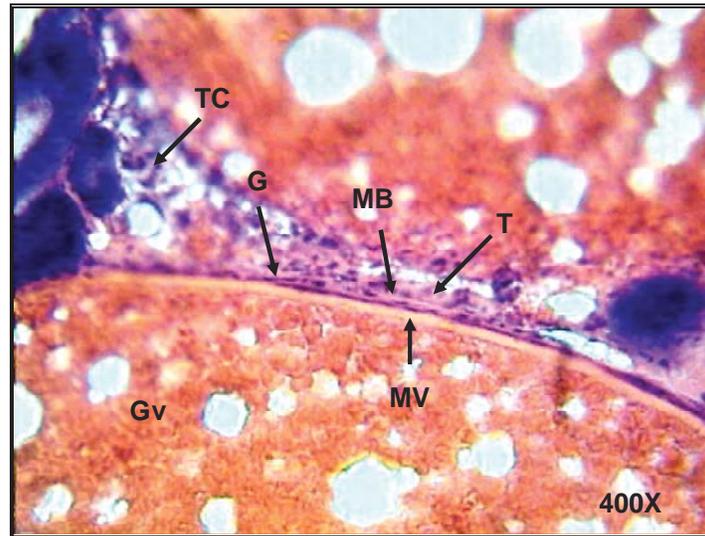


Figura 77. Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV de *D. niloticus*, se observan glóbulos de vitelo (Gv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca (T) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400x.

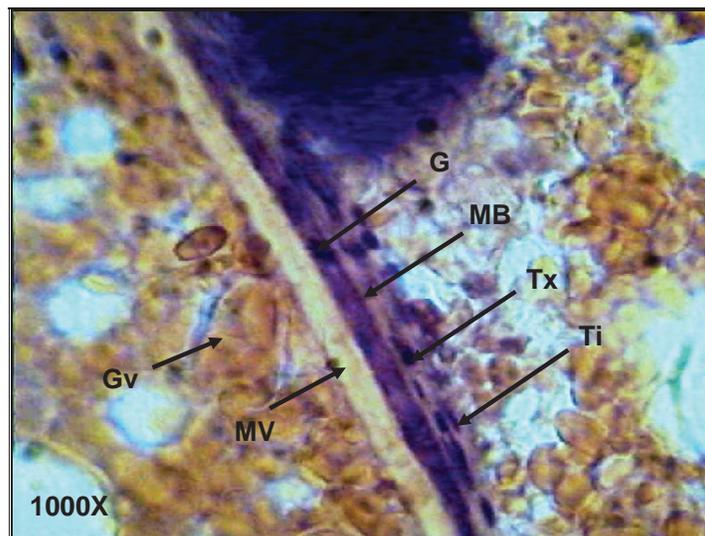


Figura 78. Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV de *D. niloticus*, se observan glóbulos de vitelo (Gv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca interna (Ti) y células de la teca externa (Tx). H-E 1000X.

Tabla 27. Descripción de la maduración gonádica de los testículos para *Oreochromis niloticus* desde el punto de vista macro y microscópica (Modificación de la tabla de Holden y Raitt; 1975 para *Rastrelliger*).

Fase	Estadio	Descripción macroscópica (Holden y Raitt, 1975).	Descripción macroscópica y microscópica de los testículos.
I	Inmaduro	Ocupan un tercio de la longitud de la cavidad abdominal. Blancuzcos.	Hilos muy delgados. No es posible distinguir entre testículos y ovarios.
II	Desarrollo	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Blancuzcos, más o menos simétricos.	Color blanco traslucido 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.
III	Maduración	Ocupan dos tercios de la longitud de la cavidad abdominal. Blancuzcos a crema.	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, cistos de espermátides se localizan en la periferia del lumen lobular presencia de mínima a moderada. El lumen lobular ocupa de uno a dos tercios del espacio interior del testículo. Hay presencia de espermatozoides.
IV	Reproductiva	Ocupan de dos tercios a toda la longitud de la cavidad abdominal. Blancuzcos crema, blandos.	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.
V	Posdesove	Ocupan más de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flácidas. Sanguinolentos o flácidas.	Coloración crema con paredes flácidas, longitud, diámetro y peso promedio de 3.9 cm, 0.14 cm y 0.14 g respectivamente.

Tabla 28. Descripción de la maduración gonádica de los ovarios para *Oreochromis niloticus* desde el punto de vista macro y microscópica (Modificación de la tabla de Holden y Raitt., 1975 para *Rastrelliger*).

Fase	Estadio	Descripción macroscópica (Holden y Raitt, 1975).	Descripción macroscópica y microscópica de Ovarios.
I	Inmaduro	Ocupan un tercio de la longitud de la cavidad abdominal. Rosáceos, traslucidos. Óvulos invisibles a simple vista.	Hilos muy delgados. No es posible distinguir entre testículos y ovarios.
II	Desarrollo	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Rosáceos, traslucidos. Óvulos visibles a simple vista.	Longitud de 2.1 cm, diámetro de 0.27 cm y peso de 0.22 g en promedio, coloración rosáceo a amarillo, dos tamaños de folículos: 100-1000 $\mu\text{m}$ y de 1001-2000 $\mu\text{m}$ . Folículos en previtelogénesis en los cuales se observaron las células de la teca y granulosa poco diferenciadas, la membrana basal, la zona pelúcida, el citoplasma, el núcleo prominente y central conteniendo nucleolos y cromosomas. Folículos en vitelogénesis temprana comenzando la acumulación de las vesículas vitelinas.
III	Maduración	Ocupan dos tercios de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color rosáceo amarillo, con aspecto granular. No hay óvulos transparentes o traslucidos visibles.	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: 100-1000 $\mu\text{m}$ , 1001-2000 $\mu\text{m}$ y 2001-3000 $\mu\text{m}$ . Se observan folículos en previtelogénesis, vitelogénesis temprana y avanzada. En estos últimos se observa la membrana vitelina bien diferenciada, así como las células de la teca y la granulosa. Las vesículas vitelinas ocupan la mayor parte del citoplasma del folículo.
IV	Reproductiva	Ocupan de dos tercios a toda la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles. Óvulos grandes, maduros, transparentes.	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 100-1000 $\mu\text{m}$ y 2001-3000 $\mu\text{m}$ . Existe acumulación de glóbulos de vitelo en el citoplasma del folículo, el núcleo migra hacia el polo animal, los cromosomas se condensan, las células de la teca y la granulosa forman una capa sencilla de células, la membrana vitelina es más evidente.
V	Posdesove	Ocupan más de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flácidas. Pueden contener restos de los óvulos opacos maduros, en desintegración, oscurecidos o traslucidos.	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: 100-1000 y 2001-3000 $\mu\text{m}$ con mayor presencia de los pequeños y pocos o ausencia de los más grandes.

## COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO Y DESARROLLO EMBRIONARIO

### Cortejo y Freza

Desde el punto de vista conductual los machos en proceso de reproducción se separan y establecen territorios, los cuales defienden, una vez definido el perímetro de éste, comienza la construcción del nido de desove, en la parte más somera del sistema (cerca de la línea de costa) a una profundidad de 60 a 80 cm. Este consiste en la excavación en el sustrato de una depresión en forma de cráter (figura 79 y 80), según el tamaño del pez; comúnmente estos nidos miden de 0.20 a 0.80 m de diámetro. La arena o arcilla, dependiendo del sustrato de que se trate, es desalojada con el hocico. Las plantas, detritus y otros materiales, son tomados en el hocico y acarreados hasta el perímetro del nido donde son depositados. Durante la fase de elaboración de los nidos cada macho presenta la expansión de los radios de la aleta dorsal en forma vertical. Cuando los nidos se han elaborado, el territorio de cada macho es de aproximadamente de 1.5 m de radio alrededor de éste (Morales, 1991).



Figuras 79 y 80. Nidos de desove.

Las hembras maduras visitan estos territorios y forman pareja seleccionando un nido para el desove. Cuando el cortejo 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.

Se ha observado que el macho inicia movimientos circulares presionando con la parte anterior de la cabeza y el hocico, la región abdominal de la hembra, al parecer para estimular la expulsión de los óvulos. Después de estimular de esta manera a la hembra durante varios minutos, los óvulos son expulsados poco a poco y fertilizados por el macho, posteriormente la hembra los toma con la boca, los cuales quedan adheridos en su mucosa bucal, en donde serán incubados. Después de este

proceso la hembra permanece en la parte más profunda del estanque, donde se mantiene en temperaturas más constantes, mientras que el macho que es polígamo se dedica a sus actividades reproductivas (Morales, 1991).

## Incubación y cuidado de las crías

La incubación y el cuidado de las crías, dura aproximadamente 20 días. Este periodo varía de una hembra a otra, el cual depende de la temperatura y las condiciones de seguridad para los alevines, ya que cuando se presenta peligro de depredación por otra especie, la cabeza de la hembra se ensancha y la cavidad bucal se retrae, modificándose las membranas branquiostegas y expandiéndose las agallas, dando cabida a los pequeños peces que entran y salen con frecuencia (Morales, 1991).

## Desarrollo Embrionario

Cabe hacer mención de que la descripción del desarrollo embrionario se hace con base en lo reportado por Schwartz, 1977; Hovillon, 1980; Wischnitzer, 1980; Morales, 1991; Peña-Mendoza *et al.*, 2005.

En la figura 81 se observa un óvulo extraído de la hembra antes del desove (se puede observar que este óvulo no presenta las capas foliculares por lo que se denomina "óvulo desnudo", además de que la membrana vitelina ahora lleva el nombre de corión), el cual presenta diámetro de 3000 micras y esta listo para ser fecundado, mismo que se obtuvo mediante una ligera presión a nivel abdominal de una hembra en estadio de desarrollo IV.

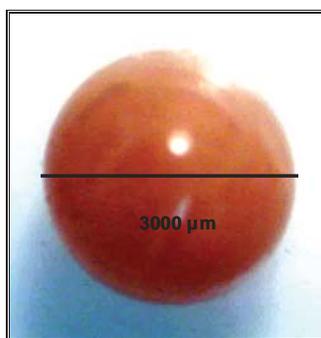


Fig. 81. Ovulo extraído de la hembra de tilapia antes del desove.

Después de la fecundación, es posible seguir el desarrollo embrionario si se extraen de la boca de la hembra 2 o 3 huevos en diferentes tiempos y se analizan a nivel microscópico.

Al cabo de 0.5 horas de la fecundación en el huevo se observa la cicatrícula, una pequeña cantidad de citoplasma en el que se engloba el núcleo zigótico diploide. El huevo es telolécito intenso, por lo que presenta vitelo muy abundante el cual se encuentra relegado al polo animal con el núcleo, donde se lleva a cabo la segmentación meroblástica (Figura 82).

Transcurrida una hora de la fecundación, se observa la primera incisión de la segmentación orientada a manera de una rendija vertical cerca del centro de la cicatrícula, formando dos blastómeros, las separaciones no penetran completamente en todo el disco pero cada uno contiene su propio núcleo resultado de la división mitótica del núcleo cigoto.

A la hora y media se observa la segunda incisión de la segmentación en ángulo recto a la primera, para dar lugar a la formación de 4 blastómeros.

En el huevo de 2 y 2.5 horas aparecen las primeras segmentaciones. Adicionalmente debajo de la superficie de la cicatrícula en la porción central hay unas incisiones horizontales que separan los blastómeros del vitelo. Lo que la convierte en un blastodermo de dos capas que queda separado centralmente del vitelo subyacente por una cavidad en forma de ranura.

En el embrión de 24 horas se inicia la formación de la línea primitiva, se observa la notocorda y el blastodermo rodea al vitelo.

En el embrión de 48 horas la masa celular adquiere mayor espesor y se dispone en forma de diadema en el lado opuesto del blastoporo, al mismo tiempo aparecen los brotes de la cabeza y la cola.

El embrión de 72 horas presenta ojos grandes, los vasos sanguíneos se extienden por encima del vitelo, se distingue el tubo neural y el brote de la cola empieza a crecer longitudinalmente, a mitad del proceso de desarrollo se forma el corazón y empieza a latir, al mismo tiempo en la superficie de la masa vitelina se forma un sistema capilar.

El embrión de 96 horas empieza a agitar la aleta caudal ocasionalmente la que se ha desprendido del vitelo, se observan los ojos más grandes y la formación de la boca, pero aun depende de las reservas del vitelo, además de que se observa parte del tejido óseo.

En el alevín de 120 horas el movimiento de la aleta caudal es mas frecuente, se observa menor cantidad de vitelo, el orificio nasal comienza a distinguirse y los inicios de la formación de las branquias. También hay mayor cantidad de tejido muscular cubriendo el tejido óseo. Los embriones se encuentran dentro del hocico de la hembra.

A las 144 horas el organismo se encuentra totalmente formado y se denomina en este momento como alevín, ha absorbido la mayor parte del vitelo, se distinguen perfectamente las branquias y el opérculo. Ya presenta aleta anal, dorsal y pectoral. Los ojos están totalmente formados. En esta etapa nada torpemente. Ocasionalmente salen del hocico de la hembra para alimentarse.

La cría de 168 horas ó alevín ha absorbido la masa vitelina, se observan las estructuras totalmente formadas y es independiente de la madre; sin embargo, en los siguientes 5 a 8 días los alevines abandonan paulatinamente la boca de la madre, retornando a ella en los momentos de peligro.

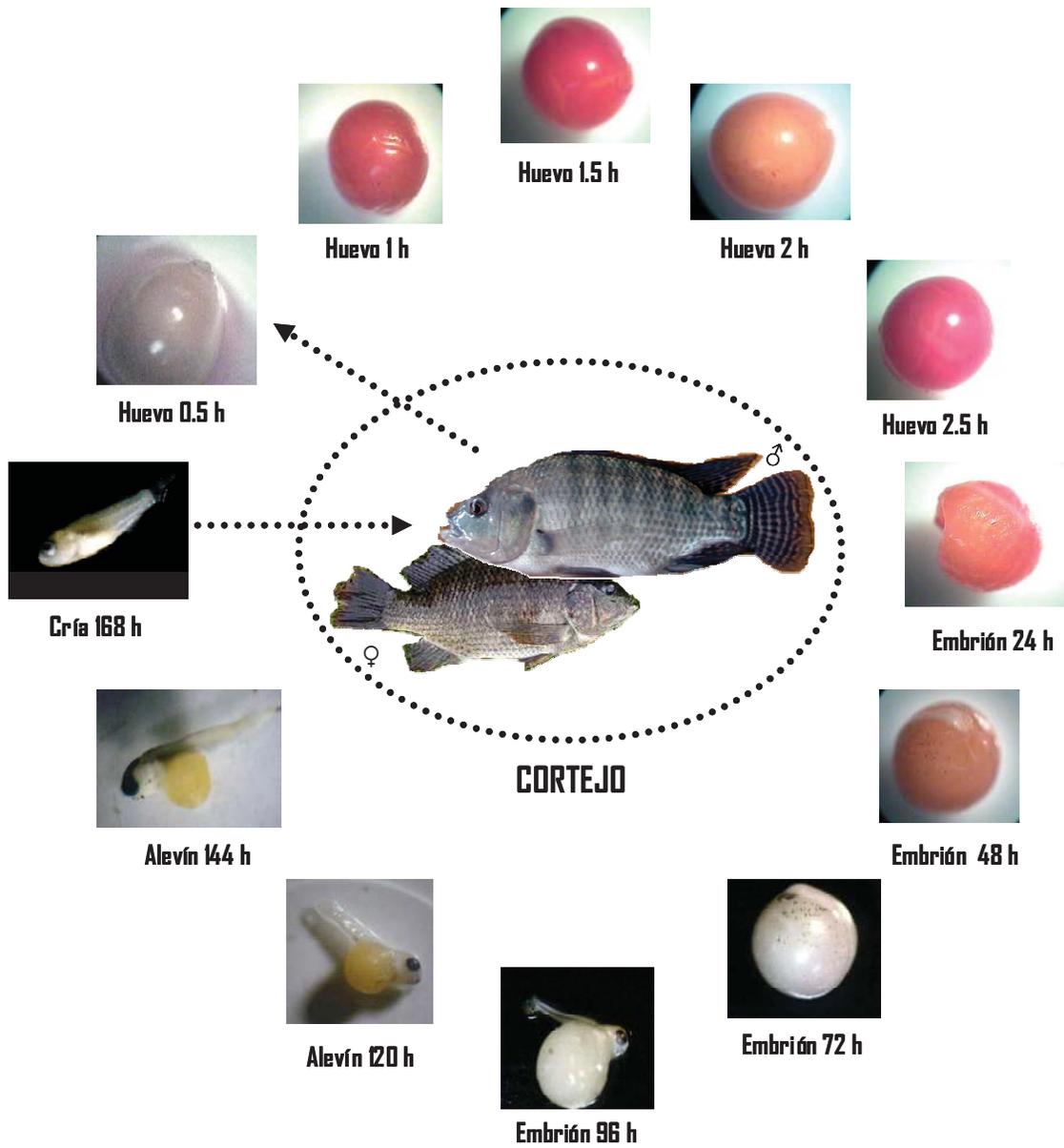


Figura 82. Etapas del desarrollo embrionario de *Oreochromis niloticus*.  
(Tomado de Peña-Mendoza *et al.*, 2005)

---

---

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Proporción Sexual

Para los peces capturados en la presa Emiliano Zapata se registraron mayores intervalos de tallas y pesos que para los obtenidos en el lago, esto probablemente se debe a las diferentes características que presentan los sistemas, al arte de pesca utilizado (atarraya de 6.5 cm de luz de malla), además de que los machos fueron los que presentaron las mayores longitudes y pesos, debido al dimorfismo sexual que presenta la especie.

Debido a que a lo largo del muestreo dominaron los machos y la presencia de hembras fue muy baja e incluso en algunos meses no se capturaron hembras en la presa Emiliano Zapata se decidió extender el periodo de estudio, de ahí la proporción sexual obtenida. Estas diferencias que existen entre los sexos se debe probablemente al arte de pesca utilizado; a la profundidad que presenta el sistema, a la hora de la captura ya que la mayoría de los muestreos fueron tomados en las primeras horas de la mañana y también a las características fisiológicas y morfológicas que presenta la especie en estudio, ya que el dimorfismo sexual que presenta tiene la característica de que los machos presentan mayores tallas y longitudes respecto a las hembras.

Ramírez y Cruz (2002), Canseco (2004) y Tovar (2005) que trabajaron en la presa reportan una proporción de 1.5:1, 6.9:1 y 6:1 macho:hembra respectivamente, hay que tomar en cuenta que los muestreos varían dependiendo de las condiciones que presenta el sistema y del pescador. Este último influye en la composición de los grupos, ya que puede realizar el sexado y liberar a las hembras, con lo cual en la muestra prevalecen los machos.

En relación a los peces capturados en el lago Coatetelco, se obtuvo una mayor cantidad de hembras respecto a la presa registrando diferencias significativas en cinco de los doce meses de muestreo y esto probablemente se debe a lo somero del lago y a la presencia de vegetación en el mismo, además de que la hora de captura siempre fue después del medio día donde la temperatura del agua es un factor determinante en la distribución de los organismos en el embalse.

Garduño y Avelar (1996) y Gómez (2002) mencionan que la proporción de sexos es 1:1 (♂:♀), mientras que Canseco (2004) reporta una proporción de 3:1 macho:hembra, por su parte Manríquez (2005) reporta una proporción de 8.5 machos por cada hembra.

Otro factor que puede influir en la captura de los organismos de ambos sistemas es el comportamiento y la estrategia reproductiva que presenta la especie; es decir los machos tienden a construir los nidos en la zona litoral del embalse. Por lo tanto son más fáciles de capturar ya que

---

---

suelen regresar a los nidos a cortejar a más hembras o tienden a estar en las partes próximas a la superficie para alimentarse, mientras que las hembras después de la fertilización de los óvulos suelen esconderse entre las rocas o vegetación acuática. Una de las características que presenta la especie es la incubación bucal materna y la protección de los alevines y durante todo este periodo la hembra no se alimenta, por lo que suelen estar menos vulnerables a la captura y al arte de pesca.

## **Relaciones Biométricas**

### **Relación Longitud Total-Longitud Patrón**

Respecto a la relación longitud total y longitud patrón se determinó que existe una relación muy cercana entre las longitudes, por lo que se obtuvo un modelo adecuado para la predicción de una variable a través de la otra; por lo que se decidió trabajar con la longitud patrón, ya que es la variable que biológicamente presenta menor error en su medición.

Asimismo, se realizó un análisis de correlación entre las longitudes (total y patrón) y el peso total para los organismos de cada sistema, y determinar que longitud se relaciona mejor con el peso total. De acuerdo a los resultados se determinó que la longitud patrón se utilizaría para llevar a cabo los siguientes análisis en ambos sistemas, debido a que esta variable tiene mayor significado en el análisis taxonómico y menor variabilidad.

### **Relación Peso Total-Longitud Patrón**

La importancia de esta relación radica en que se puede determinar el estado de condición de la población, el cual depende de las características genéticas de la especie y su estado fisiológico, así como de aquellos factores relacionados con su medio ambiente como son la disponibilidad de alimento y condiciones fisicoquímicas del agua (Everhart y Youngs, 1981; Hopher y Pruginin, 1985). También 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 (Jiménez, 1999).

Con base al análisis de covarianza (ANDECOVA) realizado se determinó que existen diferencias significativas entre los diferentes sexos de la población para ambos sistemas; por lo tanto el análisis de la relación peso-longitud se realizó para la población total, machos y hembras. Esto

---

---

índice que el dimorfismo sexual que presenta la especie se manifiesta en el peso y longitud de cada organismo.

En la mayoría de las especies de tilapias los machos tienen un crecimiento mayor que las hembras, debido a diferentes factores como la temperatura, que juega un papel muy importante en cuanto al crecimiento y desarrollo de la especie. Esta variable tiene que ser mayor de los 20 °C para que se lleve a cabo la reproducción; por su parte las hembras una vez que alcanzan la madurez sexual, destinan mayores recursos energéticos para la maduración de los productos sexuales que para el crecimiento. (Herpher y Pruginin, 1985; Morales, 1991; Oliveira y Almada, 1995).

En la presa Emiliano Zapata como en el lago Coatetelco los datos presentaron un comportamiento de tipo potencial tanto para la población total; así como para los machos y las hembras.

Para la población total, machos y hembras de la presa Emiliano Zapata se registró un crecimiento de tipo alométrico negativo corroborando que los valores de las pendientes son diferentes de 3 con la prueba t-student, lo que indica que los organismos crecen más en longitud que en peso, a diferencia de lo que reportan: Pérez y Patlani (2002), para la población total y los machos crecimiento de tipo isométrico; mientras que Cruz y Ramírez (2002) mencionan un crecimiento alométrico negativo con tendencia a la isometría para hembras y machos; Saito (2004) y Tovar (2005) reportan un crecimiento alométrico negativo en la población total y machos, sin embargo las hembras presentan una tendencia a la isometría. Esto probablemente se debe en las hembras al efecto de la maduración sexual, como factor de peso en la biomasa de los organismos.

En el lago Coatetelco se registró la misma situación, tanto para la población total como para los machos, mientras que para las hembras se registró un crecimiento de tipo alométrico negativo. A diferencia de: Garduño y Avelar (1996) y Gómez (2002) quienes reportaron crecimiento de tipo alométrico negativo; Manríquez (2005) reporta un crecimiento alométrico negativo en machos, sin embargo las hembras presentan una tendencia a la isometría debido a los factores reproductivos.

Alejo *et al.* (1989), para *O. mossambicus* reporta un crecimiento de tipo alométrico negativo en la laguna El Rodeo, Morelos; Palacios (1995) al trabajar con organismos de la presa El Infiernillo, Michoacán menciona para *O. aureus* un crecimiento del mismo tipo; Santiago y Jardón (1997) mencionan que *O. niloticus* en la presa Cerro de Oro, Oaxaca tienden a la isometría.

Es importante conocer el tipo de crecimiento de los organismos ya que pueden existir diferencias entre poblaciones de la misma especie o entre la misma población en diferentes años, probablemente asociado con una condición nutricional (Ricker, 1975).

---

---

Este tipo de crecimiento ecológicamente se debe a que los peces, deben crecer primero en longitud para evitar ser depredados y después en peso, este comportamiento es una estrategia de supervivencia; además en el caso de los machos suelen establecer su territorialidad en base al tamaño, principalmente en longitud. También hay que tomar en cuenta que el peso de las hembras puede ser afectado por el número y tamaño de los ovocitos en las gónadas, es decir a mayor desarrollo de las gónadas aumenta el peso corporal de los individuos (Tesch, 1968) y en el caso de las hembras las gónadas pueden llegar a ser hasta el 15 % del peso total.

## Factor de Condición

Se utilizó el factor de condición de Clark, ya que utiliza como variable el peso eviscerado del pez, de esta manera se evita el efecto de las gónadas y el contenido estomacal 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).

Los machos de ambos sistemas presentan dos etapas: una de baja condición a partir del mes de enero a junio correspondiente a la época de secas y la segunda de buena condición de julio a diciembre y responde a la época de lluvias. Las hembras presentan también dos etapas: la primera de enero a marzo y la segunda de septiembre a enero, aunque no se puede ver las fluctuaciones del coeficiente a lo largo del muestreo, debido a que no se capturaron hembras en algunos meses. Este comportamiento coincide con lo mencionado por Menocal (1988), menciona que el factor de condición presenta marcados decrementos cuando se lleva a cabo la reproducción de ahí que sea un indicador del periodo reproductivo, lo que se debe probablemente al desgaste energético que conlleva la realización del nido, la protección del mismo y el cortejo tomando en cuenta que el pez es polígamo, lo que implica un desgaste energético importante. Weatherley *et al.* (1987), señalan que en muchas especies la diferencia del factor de condición entre los sexos se da después de que los individuos llegan a la madurez. Las hembras presentan decrementos en su peso después de la reproducción debido a la incubación bucal y posteriormente la protección a las crías, lo que conlleva a que esta no pueda alimentarse durante este periodo, una vez pasado este, el factor de condición aumenta gradualmente.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Garduño y Avelar (1996), Ramírez y Cruz (2002) y Canseco (2004) quienes mencionan dos periodos de reproducción, uno alto en la estación de lluvias (julio-agosto) y otro bajo en la estación de secas (enero-febrero).

El factor de condición es reflejo de las condiciones estacionales, ya que durante el periodo de estiaje o secas se produce mayor concentración de sólidos, debidas al menor volumen y por

---

---

---

---

consiguiente menor profundidad del cuerpo de agua, así como al aumento de la temperatura, y por lo tanto, los organismos presentan menor condición somática. Por otra parte, en el periodo de dilución o lluvias el cuerpo de agua aumenta su volumen, inundando zonas de pastoreo, las cuales proveen de materia orgánica, mayor espacio, mejores temperaturas con respecto a la época seca así como mayor disponibilidad de alimento (mayor cantidad de clorofila "a"; Dorantes y Zavala, 2003) y por lo tanto mejor condición de los organismos e inducción del proceso reproductivo.

Es importante señalar la estrategia reproductiva de la especie, la cual de acuerdo a SEPESCA (1988), el periodo de máxima reproducción se da cuando el sistema esta en la fase final de estratificación y la disponibilidad de alimento es baja, razón por la cual las hembras mantienen a las crías en la boca alimentándose del saco vitelino. En el periodo de lluvias el cuerpo de agua sufre el periodo de circulación produciendo una mayor descomposición de la materia orgánica que fue arrastrada de las zonas de pastoreo, proporcionando alimento a los peces y es entonces cuando las crías comienzan a separarse de la madre para iniciar su alimentación natural.

### **Talla de Primera Maduración Sexual**

Muchos factores influyen en los peces a fin de que adquieran por primera vez la capacidad para reproducirse, deben tomarse en cuenta la edad, tamaño del animal y su fisiología; así como la abundancia y disponibilidad del alimento, la temperatura, el fotoperiodo y otros factores ambientales de las diferentes regiones donde se localice la especie (Nikolsky, 1963; Babiker e Ibrahim, 1979; Lagler *et al.*, 1984; Morales, 1991 y Redding y Patiño, 1993).

Referente a la talla de primera maduración sexual, en ambos sistemas los peces presentan tallas similares siendo los machos más pequeños con respecto a las hembras, esto se puede deber al nivel elevado del metabolismo que presentan los machos, posiblemente a través de la influencia endocrina que se produce en respuesta a factores genéticos y ambientales y a que por lo general, las especies cuyo tamaño máximo es pequeño y su promedio de vida corto, maduran a temprana edad (Lagler *et al.*, 1984).

Estas tallas están dentro de lo reportado por otros autores, aunque hay que tomar en cuenta que el análisis se hizo con la longitud patrón y no con la longitud total como reportan la mayoría de los autores. Ramírez y Cruz (2002) estimaron la talla de primera madurez sexual de 17.45 cm para las hembras y 17.75 cm para los machos en la presa Emiliano Zapata, Canseco (2004), reporta para la misma especie y sistema una talla de 15.45 cm en machos y 15.17 cm en hembras y para el lago Coatetelco reporta una talla para los machos de 14.45 cm y en hembras de 14.15 cm, Gómez (2002), reporta para los machos una talla de 11.7 cm y para las hembras de 12 cm. Basurto (1984) cita tallas

---

---

---

---

de 27 a 32 cm para *Tilapia nilotica* (= *O. niloticus*) en la laguna de Chila, Veracruz. Para otras especies y zonas de estudio, Alvarado *et al.*, (1990) y Alejo *et al.*, (1989) obtienen para *O. mossambicus* en la laguna El Rodeo, Morelos un comportamiento precoz, tallas de 6.8 y 5.3 cm para machos y de 6.2 y 5.5 cm en hembras respectivamente, Morales (1991) reporta para la misma especie tallas de 7 a 9 cm, el mismo autor informa que para *O. aureus* la talla es 16 a 22 cm, para esta especie, Palacios (1995), reporta para la misma especie en la presa El Infiernillo, Michoacán tallas de 19 a 21 cm y Ramos-Cruz (1995), en la presa Benito Juárez, Oaxaca señala que alcanza la madurez sexual a los 22 cm.

La edad de maduración sexual es un parámetro íntimamente ligado a la coevolución especie-ecosistema. La madurez temprana determina tiempos de generación cortos, con mayor supervivencia poblacional a la primera reproducción; por el contrario existe una menor fecundidad inicial (Granado, 2002). Hay que tomar en cuenta que los peces no alcanzan mayores tallas antes de su primera reproducción ya que canalizan la energía a este proceso y al mantenimiento metabólico y no hacia el crecimiento como mencionan Aguilera y Noriega (1991). Así mismo, hay que considerar que la densidad de los organismos, así como la disponibilidad de alimento son factores que determinan el tamaño de la especie.

Otro factor que puede influir en el tamaño de la especie, es el arte de pesca seleccionado, en este caso se utilizó una luz de malla de 6.5 cm, lo que conlleva a capturar peces pequeños, esto somete a la especie a un estrés, por lo tanto los organismos maduran a tallas pequeñas. Se sugiere que se capturen animales que estén por arriba de la talla de primera maduración sexual para asegurar que, por lo menos los peces se reproduzcan una vez en el sistema y exista un adecuado reclutamiento de la población, esto con la finalidad de sostener la pesquería.

## **Fecundidad**

La fecundidad es un factor importante ya que aporta los datos necesarios para conocer el potencial reproductivo de la especie (Granado, 2002). Para estimar la fecundidad se analizaron 44 hembras de la presa Emiliano Zapata y 104 del lago Coatetelco, dicha relación fue potencial para los peces de ambos sistemas; es decir que al aumentar la longitud patrón también lo hace el número de folículos, esto concuerda con lo mencionado por Bagenal (1978), quien menciona que las especies de tilapia exhiben amplias fluctuaciones en la fecundidad entre peces de la misma especie, tamaño y edad y que se encuentra relacionada con la longitud de los peces, es decir, a mayor longitud mayor el número de folículos presentes en el ovario.

---

---

El valor de la fecundidad media que se obtuvo fue casi similar para los peces de la presa Emiliano Zapata con respecto a los peces del lago Coatetelco. De acuerdo con Arredondo-Figueroa y Guzmán-Arroyo (1986) el género *Oreochromis*, presenta las siguientes características reproductivas, es un incubador bucal, de gónadas pequeñas con menos de 700 óvulos. Malo (1988), menciona un intervalo de 75 a 250 huevecillos por freza, dependiendo del tamaño de la hembra; lo que coincide con los resultados obtenidos en el presente trabajo y otros estudios realizados en los mismos sistemas y con la misma especie.

Babiker e Ibrahim (1979) citan que las hembras pequeñas producen pocos óvulos, pero la fecundidad aumenta progresivamente conforme incrementa la longitud del pez, así como el peso corporal y reportan una fecundidad de 300 a 2800 óvulos para peces cuya longitud fluctuó entre 11 y 32 cm para *T. nilotica* (= *O. niloticus*). Asimismo, Fryer e Iles (1972) reportan que una hembra de 57 cm tuvo una fecundidad de 3706 óvulos. Para la misma especie, Basurto (1984), estimó un intervalo de 1500 a 5595 huevecillos con una fecundidad media de 3205 para organismos de 23.5 a 32.5 cm, Morales (1991), menciona una fecundidad de 1000 a 1800 óvulos para tallas de 31 a 33 cm, Casas y Benítez (1976) refiere un intervalo de 888 a 2945 huevecillos para tilapias de tallas de entre 29 a 34 cm, Silva *et al.* (1997), reportaron para *O. niloticus* un intervalo de 116 a 483 óvulos para tallas de 10 a 22 cm. Asimismo, se tiene a Ramírez y Cruz (2002) mencionan una fecundidad media de 446 folículos para los peces de la presa Emiliano Zapata y Gómez (2002) reporta que la fecundidad oscila en un intervalo de 104 a 709 folículos para las hembras del lago Coatetelco.

Menocal (1988) para *O. aureus* menciona que para organismos de 28 a 39 cm de longitud total una fecundidad máxima de 1806 a 3298 óvulos; para esta misma especie Palacios (1995) cita un intervalo de 162 a 954 ovocitos en peces cuya longitud total osciló entre los 18.4 y 30.2 cm. Para *O. mossambicus* Alvarado *et al.* (1990), mencionan que fecundidad es menor de 500 óvulos; sin embargo, Morales (1991), menciona que como es una especie muy precoz se pueden encontrar hembras de 7 a 9 cm de longitud con intervalos de 80 a 100 huevecillos; cuando miden de 15 a 28 cm aumenta el intervalo de 800 a 1600 huevecillos. Los cíclidos que presentan incubación bucal, la fertilidad es a menudo considerablemente más alta, porque los padres aseguran una mayor sobrevivencia de la descendencia y en consecuencia menor mortalidad (Moyle y Cech, 2000). También hay que tomar en cuenta, las restricciones que implica el hábito de la incubación bucal, como lo es el espacio disponible limitado para incubar los huevos y proteger a las crías dentro de la cavidad bucal (Babiker e Ibhahim, 1979).

---

---

## Índice Gonadosomático (IGS) y Hepatosomático (IHS).

El índice gonadosomático (IGS) se basa en que el peso de la gónada con respecto al peso del organismo guarda una relación directa, alcanzando su valor máximo justo antes de la puesta, es decir que el índice incrementa con el desarrollo progresivo de las gónadas hasta el momento del desove, de tal manera que describe el ciclo reproductivo (Babiker e Ibrahim, 1979; Rodríguez, 1992).

El comportamiento anual del IGS en machos de la presa Emiliano Zapata presentó valores máximos en los meses de mayo, junio, julio, agosto y febrero del 2005, en el caso de las hembras no se observa bien el comportamiento, debido a que la muestra no fue representativa; sin embargo se observa que los valores máximos se alcanzaron en los meses de julio y febrero del 2005. En el caso de los peces del lago Coatetelco se puede observar gran fluctuación en los valores del IGS para machos, sin embargo los valores máximos se observaron en los meses de marzo, mayo y julio; siendo este último el más alto. Referente a las hembras el valor máximo se presentó en junio y se puede observar que a partir de febrero inicia nuevamente el ciclo reproductivo. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Ramírez y Cruz (2002) quienes registraron para los peces de la presa Emiliano Zapata los valores más altos del IGS en los meses de febrero y agosto, mientras que Gómez-Márquez *et al.* (2003), obtuvieron los valores máximos en los meses de junio y enero para las hembras y durante diciembre y junio para los machos. Esta variación en el IGS se debe a que los ciclos reproductivos están caracterizados por pronunciadas variaciones en el tamaño de las gónadas, las cuales son dependientes del tamaño del organismo y de las condiciones ambientales del sistema.

Sin embargo, se ha observado que el uso del IGS con individuos de diferentes tamaños puede ser inapropiado porque el crecimiento gonádico frecuentemente es alométrico y se parte del supuesto erróneo de una relación lineal (crecimiento isométrico) entre las dos variables que se utilizan para el cálculo (Erickson *et al.*, 1985). Por lo tanto, es indispensable tener cuidado con la interpretación del IGS y es necesario utilizar otros métodos para validar los estudios morfométricos del ciclo reproductivo de la especie tal como el análisis multivariado de covarianza propuesto por García-Berthou y Moreno-Amich, (1993).

Por otra parte Rodríguez (1992), menciona que el índice hepatosomático (IHS) es la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del organismo, y es específica 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. De acuerdo a lo anterior, el IHS en las hembras de la presa Emiliano Zapata, decae en mayo y en los meses subsecuentes aunque son bajos gradualmente van aumentando, lo que indica que el proceso reproductivo se lleva a cabo en junio-julio, además se observa que a partir de enero y hasta abril del 2004 el IHS aumenta

---

---

gradualmente, lo que probablemente muestra que se lleva a cabo un proceso reproductivo menor al inicio del año. Las hembras del lago Coatetelco presentan dos decrementos muy marcados uno en el mes de mayo y otro en diciembre, por lo que puede ser indicativo de que el ciclo reproductivo se lleve a cabo en los meses de junio y enero para este sistema.

### **Madurez Gonádica.**

Durante todo el muestreo en la presa Emiliano Zapata se observó la presencia de peces en donde los machos están mejor representados que las hembras debido a la ausencia en algunos meses de estas; sin embargo, los estadios de madurez gonádica están bien representados y es posible observar que existen dos procesos reproductivos, el primero de mayor intensidad se lleva a cabo en la época de lluvias y el segundo de menor intensidad en la época de secas.

Para el lago Coatetelco, los peces de ambos sexos estuvieron bien representados, de acuerdo a lo anterior se determinó que también existen dos periodos reproductivos y al igual que en la presa, estos se llevan a cabo en la época de lluvias y en la época de secas, coincidiendo con lo que reportan Canseco (2004), Gómez (2002) y Ramírez y Cruz (2002) para la misma especie y sistemas en diferentes años.

Esto concuerda con lo reportado por Babiker e Ibrahim (1979), Admassu (1996) y Castrejón *et al.* (1995), quienes mencionan que *O. niloticus* se reproduce más de una vez durante el año. Morales (1991), menciona que la frecuencia de los desoves varía considerablemente en función de los factores ambientales y en México pueden presentar de uno a 10 desoves durante un año. Bardach *et al.* (1986), reportaron que una vez que alcanzan la madurez sexual, las tilapias pueden reproducirse entre las tres y seis semanas siguientes, mientras el agua este cálida y cuando las condiciones ambientales son desfavorables la actividad reproductiva se suspende, esto coincide con lo señalado por Huet (1978) y Morales (1991) sobre la relación que presenta el desarrollo gonádico de la tilapia y la temperatura del agua, siendo el intervalo óptimo para que se lleve a cabo la reproducción de 24 a 29°C.

Por otra parte y una vez analizado por separado, el factor de condición, el índice gonasomático, el índice hepatosomático y la variación de la madurez gonádica, se puede mencionar que del muestreo en ambos sistemas se establecieron dos períodos de desove: el primero de enero a febrero y responde a la época de secas; mientras que el segundo responde a la época de lluvias y es de junio a julio.

---

---

## Análisis Macroscópico de las Gónadas

Se observó que conforme avanza el desarrollo de las gónadas, estas incrementan en longitud, diámetro y peso, excepto en el estado de posdesove en el cual pierden dimensiones por la expulsión de los productos sexuales; esto concuerda con lo que menciona Grier y Taylor (1998). Las gónadas de *D. niloticus* se clasificaron con base en la escala de estadios gonádicos propuesta por Holden y Raitt (1975) para *Rastrelliger* que fueron distribuidas de I a V fases de desarrollo gonádico. En el estadio I (inmadurez) no es posible distinguir entre ovarios y testículos debido a que aun no se han diferenciado las células germinativas.

Con base en las observaciones macroscópicas de los testículos de los peces obtenidos en ambos sistemas se identificaron las siguientes características: en el estadio II (desarrollo) se observaron testículos de color blanco traslucido a opaco, esta característica de la opacidad probablemente se debe a que el testículo haya pasado o no por más de un periodo reproductivo, es decir, entre más procesos reproductivos más opaco es el testículo; para el estadio III (maduración) presentaron una coloración de blanco a crema con la característica de que el esperma no es lechoso; en el estadio IV (reproducción) presentaron coloración crema y se caracterizaron por ser un líquido lechoso y viscoso, lo que se comprueba con una ligera presión en el abdomen; y el estadio V (posdesove) presentó una coloración crema con paredes flácidas.

Las observaciones macroscópicas de los ovarios revelaron que presentan folículos de diferentes tamaños (asincronía), lo que es un indicador de múltiples desoves. Los ovarios en el estadio II (desarrollo), se podría dividir este estadio en dos partes: una (desarrollo) presenta una coloración rosáceo a amarillo con folículos muy pequeños de color blanco a amarillo y otra (recuperación) presenta las mismas dimensiones pero se observa un color sanguinolento a púrpura o rojizo (se puede confundir con un ovario posdesove) aunque también es posible observar los folículos amarillos o anaranjados; para el estadio III (maduración) se registró coloración amarillenta en todos los ovarios revisados; para el estadio IV (reproducción) se observó una coloración amarillenta a naranja con la pared del ovario traslucida y vasos sanguíneos visibles, y para el estadio V (posdesove) se observaron paredes flojas, traslucidas o sanguinolentas.

Las dimensiones de los ovarios y diámetros de los folículos observados en este estudio coinciden con los señalados por Ramírez y Cruz (2002), Gómez (2002) y Canseco (2004). Silva *et al.* (1997), reportan un intervalo de 1360 a 1930  $\mu\text{m}$  de diámetros para ovocitos de *D. niloticus*, además menciona que el número de óvulos en incubación bucal aumenta con el tamaño y peso de la hembra; Fawole y Arawolmo (2000), reportan para *S. galilaeus* un diámetro de ovocitos de  $2490 \pm 1810 \mu\text{m}$  y Fryer e Iles (1972) menciona para *T. galilaeus* un diámetro máximo de 2200  $\mu\text{m}$ , además mencionan que el tamaño de los ovocitos varía considerablemente de especie a especie entre los peces que realizan incubación bucal.

---

---

Durante la realización del presente estudio se observaron situaciones anormales en cuanto al desarrollo de las gónadas femeninas de *Oreochromis niloticus*, tales como: 1) el ovario izquierdo se desarrolló más de lo normal y el derecho no, ya sea por que esta atrofiado o por alguna otra causa; 2) los folículos presentaron una separación del vitelo siendo de un lado compacto y del otro granular; 3) La presencia de "tumores" o conglomerados de folículos fue otro fenómeno presente en este estudio.

### **Análisis Histológico.**

En las micrografías de los testículos se observan las características de un testículo del tipo lobular, en donde es posible identificar la siguiente disposición en las estructuras: Esta rodeado por la pared testicular o membrana basal, del cual parten capas de tejido conjuntivo hacia el interior del mismo llamadas trabéculas que dan soporte al testículo, entre las trabéculas se localizan los lóbulos, que a su vez forman cistos que contienen células germinales en un mismo estadio de desarrollo; estos pueden estar formados de espermátocitos primarios, espermátocitos secundarios y espermátidas. 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 con el conducto espermático. A partir de su situación basal, las espermatogonias proliferan hacia al centro del lumen lobular o conducto deferente, esto es, en dirección radial. Cabe señalar que las espermatogonias no forman cistos y solo se localizan en la periferia del testículo, se caracterizan por ser células grandes con un núcleo grande y redondo, esto concuerda con lo que mencionan Nagahama (1983), Benítez (1991), Rodríguez (1992), Redding y Patiño 1993, Grier y Taylor (1998), Grier y Lo Nostro (2000), Coward *et al.* (2002), Estrada y Uribe (2002) y Lo Nostro *et al.* (2003).

Las células germinales presentan tres fases principales: la proliferación mitótica (espermatogonia) en el estadio de proliferación se torna pequeño y redondo; en la fase de meiosis (espermátocito) se transforma en espermátocito primario (meiosis I) para dar lugar al espermátocito secundario, quien lleva a cabo la segunda división meiótica y da origen a la espermátida, la cual ya no tiene división celular, únicamente realiza la espermiogénesis (tercera fase) con el que se transforma en espermatozoide. De acuerdo a lo anterior en las micrográficas analizadas se observaron estas células y se diferenciaron por las características que presentan las mismas, aspectos que son mencionados por Rodríguez (1992), Coward *et al.* (2002) y Schulz y Miura (2002):

El lumen lobular o conducto deferente aumenta su tamaño conforme avanza el estadio de desarrollo, de manera que puede llegar a ocupar más de dos tercios del espacio interior del testículo, los espermatozoides se van acumulando en el lumen lobular hasta que son expulsados por

---

---

---

---

el conducto espermático en el momento de la reproducción, de ahí el aumento del mismo (Nagahama, 1983).

De acuerdo a Nagahama (1983), Rodríguez (1992) y Coward *et al.* (2002), el espermatozoide esta compuesto de cabeza, pieza intermedia y flagelo. En general en los teleósteos, la cabeza tiene forma esférica u oval, sin acrosoma. El cuello o pieza intermedia sigue el patrón estructural común, consistente de un flagelo central rodeado por una vaina mitocondrial, siendo escasas las mitocondrias y no están modificadas; se sitúan en un collar bajo el núcleo. El flagelo presenta la forma típica con varios pares de microfibrillas. En el presente estudio solo fue posible la observación de los espermatozoides como acúmulos de ellos.

En las micrografías de los ovarios se observaron diferentes diámetros de los folículos, lo que confirma las observaciones realizadas a nivel macroscópico y la clasificación de los diferentes intervalos de los folículos.

En las micrografías se observó que el ovario es de tipo sacular o cistovario el cual esta presente en la mayoría de los peces teleósteos y se caracteriza por permanecer completamente cerrado, los folículos son liberados principalmente en el lumen del ovario y posteriormente en el oviducto. La pared del ovario esta dividida en tres capas: la externa compuesta de epitelio cúbico-ciliar; la media de tejido conectivo y la interna que es fibrosa y compacta, seguida del tejido conjuntivo que sirve de sostén a los folículos (Rodríguez 1992; Coward *et al.* 2002; Estrada y Uribe 2002).

La terminología usada para definir el desarrollo del ovocito y sus partes en la bibliografía es confusa; sin embargo Tyler y Sumpter (1996), se refieren al ovocito como el conjunto formado por el núcleo, citoplasma y zona radiada; y folículo se refieren al ovocito y los tejidos que lo envuelven (células de la granulosa y de la teca y epitelio superficial). De la misma manera Lo Nostro *et al.* (2003), mencionan que es confusa la terminología utilizada para describir la zona pelúcida, la cual se sitúa entre el ovocito y las células foliculares (granulosa), ya que se utilizan muchos términos como: membrana vitelina, zona pelúcida, corión, membrana de fertilización, membrana del huevo, membrana primaria y zona radiada. Por lo tanto, se decidió utilizar para este estudio los términos de folículo y membrana vitelina.

En los cortes histológicos realizados para este estudio se identificaron folículos en previtelogénesis los cuales se encuentran dentro del intervalo de diámetro de 100-1000  $\mu\text{m}$ , en vitelogénesis temprana (1001-2000  $\mu\text{m}$ ) y vitelogénesis avanzada (2001-3000  $\mu\text{m}$ ), lo que concuerda con lo que mencionan Patiño y Sullivan (2002), quienes mencionan que el crecimiento folicular generalmente se clasifica en etapa de previtelogénesis y vitelogénesis, por lo que se describen las diferentes características observados en ellos.

---

---

En los folículos previtelogénicos se observaron las células de la teca y las células de la granulosa, las cuales están separadas por una membrana basal; en estos folículos se inicia la deposición del material que constituye la membrana vitelina; además se identifica el citoplasma, el cual es altamente basófilo en esta etapa, el núcleo o vesícula germinal se caracteriza por ser prominente y céntrico; presenta una gran cantidad de nucléolos en la periferia y cromosomas plumosos, es decir, en esta etapa el ovocito ya ha iniciado el proceso meiótico, el cual se detiene en la fase diplótena de la profase I. Sin embargo desaparecen cuando la vesícula germinal se rompe durante la maduración (Wallace y Selman, 1981; Nagahama, 1983; de Vlaming *et al.*, 1983; Redding y Patiño, 1993, Tyler y Sumpter, 1996; Grier, 2000; Estrada y Uribe, 2002).

Como se aprecia en los folículos en etapa de vitelogénesis temprana las células de la teca (ya diferenciadas en interna y externa) y de la granulosa. Comienza la deposición de vesículas vitelinas que llegan a ocupar prácticamente todo el citoplasma y determinan el aumento de tamaño del folículo, estas vesículas no constituyen vitelo en sentido estricto ya que su función no será la de alimentar al embrión y por lo tanto el término es incorrecto debiendo ser remplazado por alvéolos corticales como mencionan Wallace y Selman (1981), la aparición de esta estructura significa que el folículo ha comenzado el proceso de maduración, estas vesículas están constituidas de mucopolisacáridos, además Coward y Bromage (1998), mencionan que en esta etapa el núcleo permanece en la parte central y los nucléolos desaparecen, lo que no fue posible observar en los cortes analizados.

Los folículos en etapa de vitelogénesis avanzada se caracterizan por la presencia de esferas o glóbulos de vitelo, el tamaño de los glóbulos al principio son pequeños y se hacen mayores al avanzar el desarrollo, los cuales al término de esta etapa aumentarán en volumen. Las células de la teca se han transformado en una capa sencilla y las de la granulosa en una capa cuboidal, el tejido conjuntivo se ha reducido al mínimo y la membrana vitelina es más evidente, la importancia de esta membrana es evitar la polispermia en el momento de la fecundación. El citoplasma se vuelve acidófilo. (Wallace y Selman 1981; Nagahama 1983; Redding y Patiño 1993, Coward y Bromage 1998).

La fase de crecimiento que se conoce como vitelogénesis es caracterizada por la captación de vitelogenina y su transformación a glóbulo o plaqueta de vitelo. La vitelogenina es una glicofosfolipoproteína sintetizada por el hígado, transportada vía torrente sanguíneo al ovario y se produce como respuesta a factores endógenos y exógenos que activan el eje neuroendocrino hipotálamo-hipófisis-gónada. En esta etapa los alvéolos corticales o vesículas vitelinas son relegados a la periferia del ovocito para dar lugar a los glóbulos de vitelo (Wallace y Selman 1981; Nagahama 1983; Redding y Patiño 1993, Tyler y Sumpter 1996; Coward y Bromage 2000; Coward *et al.* 2002; Patiño y Sullivan 2002).

---

---

Al término de la fase de vitelogénesis se presenta el proceso de maduración, en esta etapa la vesícula germinal migra hacia el polo animal del folículo, la cual hasta este momento reanuda el proceso meiótico hasta la metafase II, donde los cromosomas se condensan y se emite el primer cuerpo polar. En teleósteos como en otros vertebrados esta segunda detención ocurre (y no antes) cuando los ovocitos han madurado y se han fertilizado, por lo que ahora se pueden nombrar huevo. En muchas especies de teleósteos al final de la maduración se produce el fenómeno conocido como hidratación, que consiste en la captación rápida de agua produciendo un nuevo incremento en el tamaño del ovocito, esto con el fin de facilitar la expulsión de los ovocitos por el aumento de la presión interna del ovario (Nagahama 1983, Selman y Wallace 1989, Tyler y Sumpter 1996, Patiño y Sullivan 2002).

Redding y Patiño (1993) y Patiño y Sullivan (2002), mencionan que al final de la maduración se produce la ovulación, esta ocurre con el rompimiento del folículo que contenía el ovocito maduro, es decir el ovocito maduro es separado de las células foliculares (teca y granulosa). Dicho proceso no fue observado, debido a que todas las gónadas que se revisaron estaban en estadio IV.

Por último, la presencia de folículos atrésicos se observó en varios de los cortes histológicos analizados y en diferentes estadios de maduración lo que concuerda con lo mencionado por Benítez (1992), ya que es un proceso degenerativo por el cual los ovocitos son reabsorbidos en el ovario. La atresia folicular ocurre de manera similar en muchas especies, en donde las células de la granulosa invaden el citoplasma del ovocito y digieren el vitelo. Estas células fagocíticas de la granulosa finalmente degeneran. La importancia de este fenómeno proviene de la regulación del número de óvulos que van a liberarse (fecundidad), además se recupera la energía acumulada en el ovocito (Nagahama 1983, Tyler y Sumpter 1996, Rodríguez 1992, Estrada y Uribe 2002).

## **Comportamiento Reproductivo**

Wootton (1990), menciona que el gasto energético en la reproducción se destina básicamente a tres grandes componentes: 1) la formación de caracteres secundarios; 2) el comportamiento reproductivo y 3) para el desarrollo de las gónadas. Los caracteres secundarios son de vital importancia para muchas especies. Sus beneficios son variados: para la lucha territorial entre machos rivales, para el reconocimiento entre especies y también para la elección de la pareja en el cortejo, aunque aumenta el riesgo de predación. El comportamiento reproductivo puede incluir diversos componentes: la elección del lugar de la reproducción, construcción del nido, defensa del lugar, cortejo, copula y cuidado parental, lo que coincide con lo observado en el presente estudio.

Cuando el cortejo inicia, los peces de ambos sexos presentan desplazamientos laterales y movimientos de la aleta caudal, una vez fertilizados los óvulos la hembra los toma con el hocico, los

---

---

---

---

que quedan adheridos en la mucosa bucal, para ser incubados. La duración del cuidado de las crías varía de una hembra a otra y de acuerdo con las condiciones de seguridad para los alevines los cuales entran y salen con frecuencia de la cavidad bucal (Morales, 1991), este comportamiento refleja lo mencionado por Balon (1981) y Granado (2002), los cuales señalan que la fecundidad tiende a ser baja y la probabilidad de sobrevivencia de la prole es alta en especies que presentan cuidado parental.

## **Desarrollo Embrionario**

El desarrollo embrionario comienza con el fenómeno conocido como impregnación que de acuerdo a Lagler *et al.* (1984) y Morales (1991) es cuando el espermatozoide penetra en el óvulo por el micrópilo, que es el puerto de entrada del espermatozoide a través de la membrana vitelina (corión) que rodea al huevo, la cual es impermeable para evitar la entrada de otros espermatozoides (polispermia). Una vez que penetra el espermatozoide inmediatamente se da una reacción cortical en el huevo y el micropilo es sellado (Redding y Patiño, 1993).

De acuerdo a Gilbert (2000), el desarrollo embrionario se puede dividir en varias etapas: la primera, inmediata a la fertilización es la segmentación, en la cual se da una serie de rápidas divisiones mitóticas en el que el citoplasma se divide en numerosas células pequeñas llamadas blastómeros y al conjunto de estos se le llama morula, la etapa de segmentación termina con la formación de la blástula, la cual se caracteriza por la aparición de un espacio entre el vitelo y la masa celular (Morales, 1991). La segunda etapa se le conoce como gastrulación, como resultado de esta etapa el embrión contiene tres capas germinativas: el ectodermo, el endodermo y el mesodermo. Una vez establecidas las tres capas germinativas, estas interactúan y dan origen a tejidos y órganos, a esta etapa se le conoce como organogénesis. La eclosión es la siguiente etapa en la cual los metabolitos del embrión contienen algunas enzimas que actúan sobre la membrana del huevo y lo disuelve desde adentro, debilitándola y permitiendo al embrión romperla fácilmente y salir (Morales 1991).

En este estudio se observaron algunas de las características que presentan las diferentes etapas anteriormente mencionadas como fue algunas de las divisiones que presentó el huevo en la segmentación, la gastrulación no se observó debido a que no se obtuvieron huevos en esta etapa, en la organogénesis se observaron las características más sobresalientes como son la aparición de la notocorda, la formación de los ojos y el brote de la cola, así como la presencia tejido muscular y tejido óseo; en la eclosión se observó el desprendimiento de la aleta caudal del vitelo hasta que el organismo se encuentra totalmente formado y se le denomina alevín, el cual ha absorbido la mayor parte del vitelo.

---

---

Por otra parte el tiempo registrado desde la fertilización hasta la formación del alevín fue de siete días, lo que coincide con lo mencionado por Morrison *et al.* (2001), ya que ellos reportan un tiempo de 9 días y además hacen una comparación con otros autores en los cuales los tiempos son variables, ya que el periodo que dure la incubación, así como el cuidado de las crías depende de la temperatura a la cual se lleve a cabo dicho proceso.

## **Factores Ambientales**

La temperatura ambiente presentó en la mayor parte del estudio valores por debajo de la temperatura del agua en ambos sistemas esto de acuerdo a lo que señala Wetzel (1981) se debe a que los sedimentos pueden absorber cantidades significativas de calor, el cual es transferido al agua; sin embargo este valor es pequeño comparado con la absorción solar directa de la radiación.

La temperatura es probablemente el factor más importante en los ecosistemas acuáticos y de manera directa o indirecta tiene relación con los fenómenos limnológicos, así como con la estabilidad de la masa de agua y sobre el metabolismo biótico (Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1998). Para el caso de las tilapias el desarrollo óptimo es a temperaturas mayores a los 20°C para que se inicie la etapa reproductiva (Fryer e Iles 1972, Morales 1991; Bardach et al. 1986). En ambos sistemas las condiciones de temperatura son óptimas, por lo tanto no fue un factor limitante para la reproducción y desarrollo de la especie.

De acuerdo al modelo de clasificación de lagos propuesto por Lewis (1983) la presa Emiliano Zapata se clasificó como un cuerpo de agua monomítico cálido, por presentar un periodo de circulación o mezcla y otra de estratificación o discontinuidad térmica y holomítico porque el periodo de mezcla o circulación alcanzan las capas mas profundas (Dorantes y Zavala 2003). El lago Coatetelco se clasificó como un sistema polimítico cálido continuo, sobre todo si se toma en cuenta la latitud en la que se ubica y la profundidad que presenta, ya que en esta clasificación se incluye a los sistemas acuáticos someros, donde las continuidades térmicas se rompen en periodos cortos de horas lo que favorece una homogenización de las características químicas en toda la columna de agua (Gómez, 2002; Dorantes y Zavala, 2003).

Por su parte, el oxígeno disuelto es considerado como la variable más crítica, ya que de ella depende la sobrevivencia, crecimiento y rendimiento pesquero y su consumo depende de la actividad de las bacterias y de la materia orgánica en descomposición entre otros factores. Su concentración depende de las características físicas y biológicas del medio, con lo cual se puede obtener información de la dinámica de la masa de agua, así como del proceso trófico que en ellos se presenta. (Wetzel 1981, Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox, 1998).

---

---

En los dos sistemas las concentraciones máximas se presentaron en la época de secas y las mínimas en la época de lluvias. Wheaton (1982), menciona que aún entre 3 y 5 mg/L la supervivencia de los peces es alta y a concentraciones por encima de los 5 mg/L, las condiciones se pueden considerar idóneas para el cultivo de peces, incluso Lowe-Mc Connell (1991), Morales (1991) y Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox (1998) mencionan que en el caso de las tilapias son resistentes a bajas concentraciones de oxígeno de hasta 1 mg/L y su crecimiento no es afectado en tiempos cortos de exposición. Además, es probable que la buena oxigenación de los sistemas acuáticos tienda a favorecer el proceso de degradación de la materia orgánica y con esto se asegure la supervivencia de los organismos acuáticos. Con base a lo anterior se concluye que las concentraciones de oxígeno disuelto registradas son adecuadas para el desarrollo de la vida acuática durante todo el ciclo anual.

Por otra parte, Gómez (2002) y Dorantes y Zavala (2003) mencionan que las concentraciones de oxígeno en el lago Coatetelco como en la presa Emiliano Zapata muestran el comportamiento típico de un cuerpo de agua eutrófico, en el cual la abundancia del oxígeno superficial se debió a la producción primaria que se efectúa básicamente en la zona trofогénica, así como el efecto de la acción del viento y por el contrario, en la zona trofolítica la descomposición orgánica y la respiración son los principales factores que contribuyen a la disminución del gas

El pH registrado para los dos sistemas se considera básico, coincidiendo los valores máximos con la época de estiaje los cuales tienden a la alcalinidad y los valores mínimos con la época de dilución tendiendo a la neutralidad. Lo que es apoyado por Wheaton (1982), quien menciona que el pH influye en el ambiente químico de los organismos acuáticos y en la disponibilidad del CO<sub>2</sub> en los sistemas acuáticos

Por otra parte, el carbono de los sistemas de aguas continentales se haya principalmente en forma de productos en equilibrio con el ácido carbónico, con tres características que determinan la alcalinidad en aguas dulces que son: la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos (Wetzel, 1981; Margalef, 1983).

De acuerdo a los valores obtenidos en los dos sistemas se pueden considerar como cuerpos de agua duras a muy duras, las cuales tienden a ser más productivas biológicamente, estimulan los procesos de eutrofización y contribuyen a problemas como florecimiento de microalgas y caídas del oxígeno disuelto; sin embargo, disminuyen la toxicidad de metales pesados como el cobre y el zinc en los peces (Goldman y Horne 1983; Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox 1998).

Como los valores de dureza total en los dos cuerpos de agua sobrepasan los valores de la alcalinidad total, los iones divalentes como el calcio y el magnesio están probablemente asociados

---

---

con otros elementos tales como sulfatos, cloruros, silicatos, nitratos o boratos, más que con los carbonatos y bicarbonatos (Arredondo 1986; Arredondo-Figueroa y Lozano-García 1994).

La conductividad, es una medida en el contenido de sales electrolizables disueltas que aumenta con la movilidad de los iones a medida que se eleva la temperatura; y a su vez es un parámetro que da un buen criterio de la cantidad de sólidos totales disueltos, esto con el fin de conocer el efecto del equilibrio iónico que persiste en el sistema (Arredondo, 1986).

Los valores reportados en este estudio coinciden con los reportados por Dorantes y Zavala (2003) y Manríquez (2005) quienes trabajaron en los mismos sistemas. Los valores de la conductividad son altos para el lago Coatetelco y la presa Emiliano Zapata lo que representa una elevada carga iónica y reserva alcalina, porque a mayor concentración de iones se incrementa la conductividad del agua lo cual es un factor importante, ya que permite estimar el grado de mineralización que tiene el recurso agua (Arredondo, 1986).

De acuerdo al análisis de correlación de Spearman entre los parámetros fisicoquímicos y los indicadores del proceso reproductivo para machos y hembras realizados para la presa, los resultados indicaron baja relación, pero significativa; para los machos del lago Coatetelco el resultado fue similar, mientras que para las hembras la correlación no fue significativa, por lo que no se puede sustentar dicha relación por este método o en su defecto será necesario incrementar el tamaño de muestra de los parámetros biológicos para obtener una mejor relación.

Con base en lo anterior se concluye que tanto la presa Emiliano Zapata como el lago Coatetelco presenta las condiciones fisicoquímicas óptimas para la reproducción y desarrollo de *O. niloticus*.

---

---

## CONCLUSIONES

- ✕ La proporción sexual para los organismos de la presa Emiliano Zapata fue de 5.75:1 (macho:hembra) y para el lago Coatetelco fue de 1.64:1 (macho:hembra).
- ✕ El tipo de crecimiento para ambos sexos, tanto en la presa Emiliano Zapata como en el lago Coatetelco fue alométrico negativo.
- ✕ En la presa Emiliano Zapata la talla de primera madurez sexual para machos fue de 12.42 cm y para las hembras de 13.87 cm de longitud patrón y en el lago Coatetelco fue para machos de 12.47 cm y para las hembras de 12.58 cm de longitud patrón.
- ✕ La estimación de la fecundidad media fue de 426 y 423 folículos para los peces de la presa y el lago respectivamente.
- ✕ Con base en la madurez gonádica, el factor de condición, el índice gonadosomático y hepatosomático se establecieron dos períodos de desove: el primero corresponde a la época de secas (enero a febrero); mientras que el segundo a la época de lluvias (junio a julio) para ambos sistemas.
- ✕ El testículo esta conformado de la pared testicular o membrana basal, trabéculas, lóbulos que a su vez forman cistos de espermatocitos primarios, espermatocitos secundarios y espermatídes, espermatozoides y lumen lobular.
- ✕ El lumen lobular o conducto deferente aumenta su tamaño conforme avanza el estadio de desarrollo, por la acumulación de los espermatozoides.
- ✕ Los testículos en estadio II (desarrollo) presentan coloración de blanco traslucido a opaco, con longitud de 3.3 cm, diámetro de 0.16 cm y peso de 0.17 g en promedio.
- ✕ Los testículos en estadio III (maduración) presentan coloración de blanco a crema, con longitud de 4.6 cm, diámetro de 0.31 cm y peso de 0.61 g en promedio.
- ✕ Los testículos en estadio IV (reproducción) tienen coloración crema, longitud de 5.5 cm, diámetro de 0.45 cm y peso de 1.24 g en promedio.
- ✕ Los testículos en estadio V (posdesove) adquieren coloración crema, sus paredes son flácidas, longitud, diámetro y peso promedio de 3.9 cm, 0.14 cm y 0.14 g respectivamente.

- 
- 
- ✕ En los folículos previtelogénicos se observaron las células de la teca y de la granulosa, las cuales están separadas por una membrana basal; el citoplasma, el núcleo o vesícula germinal, nucléolos y cromosomas plumosos.
  - ✕ En los folículos en etapa de vitelogénesis temprana se observaron las células de la teca (interna y externa) y de la granulosa, la membrana vitelina, las vesículas vitelinas o alvéolos corticales que llegan a ocupar prácticamente todo el citoplasma.
  - ✕ En los folículos en etapa de vitelogénesis avanzada se caracterizan por la presencia de esferas o glóbulos de vitelo, las células de la teca se han transformado en una capa sencilla y las de la granulosa en una capa cuboidal, el tejido conjuntivo se ha reducido y la membrana vitelina es más evidente.
  - ✕ Los folículos atrésicos se observaron en las diferentes etapas del desarrollo del folículo.
  - ✕ Los ovarios en estadio II (desarrollo) adquieren longitud de 2.1 cm, diámetro de 0.27 cm y peso de 0.22 g en promedio y coloración rosáceo a amarillo, se identificaron folículos de dos intervalos de diámetro: 100–1000  $\mu\text{m}$  y de 1001–2000  $\mu\text{m}$ .
  - ✕ Los ovarios en estadio III (maduración) presentan en promedio longitud de 2.5 cm, diámetro de 0.53 cm y peso de 1.27 g, coloración amarillenta, además se identificaron tres intervalos de tamaños de folículos: 100–1000  $\mu\text{m}$ , 1001–2000  $\mu\text{m}$  y 2001–3000  $\mu\text{m}$ .
  - ✕ Los ovarios en estadio IV (reproducción) mostraron coloración de amarillenta a naranja, se registran longitud, diámetro y peso promedio de 2.9 cm, 0.72 cm y 2.38 g respectivamente, identificándose dos intervalos de tamaños de folículos de 100–1000  $\mu\text{m}$  y de 2001–3000  $\mu\text{m}$ .
  - ✕ Los ovarios en estadio V (posdesove) muestran longitud de 2.3 cm, diámetro de 0.43 cm y peso 0.7 g en promedio, presentan paredes flácidas, translúcidas o sanguinolentas y se lograron cuantificar folículos en dos intervalos de diámetro (100–1000 y 2001–3000  $\mu\text{m}$ ).
  - ✕ El cortejo y desarrollo embrionario se llevó a cabo en aproximadamente 7 días.
  - ✕ En ambos sistemas, la temperatura del agua, pH, conductividad, oxígeno disuelto, dureza total y alcalinidad total son adecuados para la reproducción y desarrollo de *D. niloticus*.
- 
-

---

---

## REFERENCIAS

- Admassu, D., (1996).** The breeding season of tilapia, *Oreochromis niloticus* L. in Lake Awassa (Ethiopian rift valley). *Hidrobiología*. 337: 77-83.
- Aguilera, H. P. y P. C. Noriega, (1991).** La tilapia y su cultivo. Fideicomiso: Fondo Nacional para el Desarrollo Pesquero. México. 46 p.
- Alejo P. M del C.; M. M. E. Laguna y T. P. Ramírez, (1989).** Estudios de algunos aspectos biológicos de *Oreochromis mossambicus* (Osteichthyes: Cichlidae) en la laguna "El Rodeo" Estado de Morelos. Tesis de licenciatura, ENEP Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 129 p.
- Alvarado C. R. M.; G. M. J. Fabila y D. V. A. Zamora, (1990).** Algunos aspectos reproductivos de *Oreochromis mossambicus* (Osteichthyes: Cichlidae) en la laguna "El Rodeo", Morelos. Tesis de licenciatura FES Zaragoza, UNAM. México. 88 p.
- Anónimo, (1981).** Síntesis geográfica del Estado de Morelos. INEGI. S.S.P. México, 110 p.
- Anónimo, (1998).** Anuario estadístico del Estado de Morelos. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. 442 p.
- Arredondo F. J. L., (1986).** Piscicultura: Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de piscicultura intensiva. Secretaría de Pesca. México. 182 p.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y S.D. Lozano-García, (1994).** Water quality and yields in a polyculture of nonantive cyprinids in Mexico. *Hidrobiológica*, 4(1-2):1-8.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y M. Guzmán-Arroyo, (1986).** Actual situación taxonómica de las especies de la Tribu Tilapini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. *An. Inst. Biol. UNAM. Ser. Zool.* 56: 555-572.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y J. T. Ponce-Palafox, (1998).** Calidad del agua en acuicultura conceptos y aplicaciones. AGT Editor, S.A. México. 222 p.

- 
- 
- Arredondo-Figueroa, J. L. y M. Tejada-Salinas, (1989).** El hueso faríngeo, una estructura útil para la identificación de especies de la tribu Tilapini (Pisces: Cichlidae) introducidas en México. An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM, 16:59-58.
- Babiker, M. M y H. Ibrahim, (1979).** Studies on the biology of reproduction in the cichlid *Tilapia nilotica* (L.): gonadal maturation and fecundity. Journal of Fish Biology. 14, 437-448.
- Bagenal, T., (1978).** Aspects of fish fecundity: 75-101. En Shelby, D. Gerking (ed). Ecology of freshwater fish production. Ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edimburgo, Melbourn.
- Balon, E. K., (1981).** Additions and amendments to the classification of reproductive styles in fishes. Env. Biol. Fish., 6: 377-389
- Barbieri, G. y Cruz B. M., (1988).** Age, growth reproduction of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) (Osteichthyes, Cichilidae) in the monjolinho. Reservoir Sao Paulo State Brazil., Ceres, Vol. XXXV. 202: 578-585.
- Barbieri, G; D. M. T Giamas; F. A. R.; Teixeira; C. E. Campos y H. Vermuln, (2000).** Biología populacional da tilápia, *Oreochromis niloticus*, Da represa Guarapiranga, São Paulo – II. Dinâmica da reprodução. Boletim do Instituto de Pesca. São Paulo, 26(1): 9-13.
- Bardach, J. E.; J. H. Ryther y W. D. McLaren, (1986).** Acuicultura. Crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. A.G.T. Editor. México. 288 p.
- Basurto, M., (1984).** Estudio preliminar al conocimiento biológico y pesquero de la *Tilapia nilotica* (Linneo) en la Laguna de Chila, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Universidad del Noreste, Tampico Tamp. 44 p.
- Benítez, F. J., (1991).** La gónada de los teleósteos. Temas Actuales sobre Reproducción de Teleósteos. ENEP Iztacala. UNAM. 45-55.
- Benítez, F. J., (1992).** Estructura histológica de la gónada de teleósteos. Temas Actuales sobre Reproducción de Teleósteos. ENEP Iztacala. UNAM. 119 p.
- Boyd, C.E., (1979).** Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Auburn University, Auburn Alabama. 359 p.

- 
- 
- Canseco, J. F., (2004).** Biología de la reproducción de *O. niloticus* (Linnaeus, 1757). Tesis de licenciatura, FES Zaragoza. UNAM. México. 87 p
- Casas M. y Benítez E., (1976).** Análisis y normalización de métodos de colecta de parámetros biológicos. Mem. Simposio sobre Pesquerías en Aguas Continentales. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 343 p.
- Castrejón, M. T., R. Palacios y A. A. García, (1995).** Patrón reproductivo de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus*, Programa Resúmenes. XIII Congreso Nacional de Zoología. Nov. 1995. Morelia, Mich.: 24.
- Contreras-Macbeath, T., (1995).** Ecosistemas acuáticos del Estado de Morelos con énfasis en los peces. Ciencia y Desarrollo. 20(122): 43-51.
- Coward, K. y N. R. Bromage, (1998).** Histological classification of oocyte growth and the dynamics of ovarian recrudescence in *Tilapia zillii*. Journal of Fish Biology. 53: 285-302.
- Coward, K. y N. R. Bromage, (2000).** Reproductive physiology of female tilapia broodstock. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 10: 1-25.
- Coward, K., N. R. Bromage, D. Hibbitt y J. Parrington, (2002).** Gamete physiology, fertilization and egg activation in teleost fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 12: 33-58.
- de Vlaming, V., G. Grossman y F. Chapman., (1982).** On the Use of the Gonadosomatic Index. Comp. Biochem. Physiol. Vol. 73 A. 1: 31-39.
- Dorantes, G. E. y M. M. B. Zavala, (2003).** Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 92 p.
- Erickson, L. D., J. E. Hightower y G. D. Grossman, (1985).** The relative gonadal index: An alternative index for quantification of reproductive condition. Comp. Biochem. Physiol. Vol. 81, No. 1: 117-120.
- Estrada, F. E.; Peralta, Z. L. y Rivas, M. P., (1982).** Manual de técnicas histológicas. AGT Editor. México. 140 p.
- Estrada, F. E. y A. M. C. Uribe, (2002).** Atlas de Histología de Vertebrados. UNAM. 222 p.
- 
-

- 
- 
- Everhart, W. H. y W. D. Youngs, (1981).** Principles of Fishery Science. Second Edition. Cornell University Press. 350 p.
- Fawole, O. O. y G. A. O: Arawomo (2000).** Fecundity of *Sarotherodon galilaeus* (Pisces: Cichlidae) in the Opa Reservoir, Ile-Ife, Nigeria. *Rev. Biol. Trop.*, 48(1): 201-204.
- Fryer, G. y T. D. Iles (1972).** The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa. Their Biology and Evolution. Oliver and Boyd, Edinburgh. 641 p.
- Gallardo C. M. y F. A. Laguarda, (1985).** La reproducción de los peces. *Información Científica y Tecnológica*, México, 11: 10-13.
- 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, E., (2004).** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 80 p.
- Garduño P. M. y J. E. Avelar, (1996).** Edad y Crecimiento de la mojarra (*Oreochromis niloticus*) en la laguna de Coatetelco, Morelos. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. 80 p.
- Gilbert, S. F., (2000).** Developmental Biology. 6ta. Ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts, U. S. A. 749 p.
- Goldman, R.C. y A.J. Horne, (1983).** Limnology. Mc Graw-Hill Company, 423 p.
- Gómez M. J. L., (2002).** Estudio limnológico-pesquero del lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 181p.
- 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. *Rev. Biol. Trop.* 51(1): 221-228.
- González R. J. M. y López G. A., (1995).** Aspectos Hidrobiológicos en la Presa "Emiliano Zapata", Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. 72 p.
- Granado, L. C., (2002).** Ecología de Peces. Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones. España. 353 p.
- 
-

- 
- 
- Granados, R. J., (1990).** El comportamiento del zooplancton en tres ambientes acuáticos epicontinentales del estado de Morelos, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. 42 p.
- Grier, H. J., (2000).** Ovarian Germinal Epithelium and Folliculogenesis in the Common Snook, *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae). *Journal of Morphology*. 243: 265-281.
- Grier, H. J. y R. G. Taylor, (1998).** Testicular maturation and regression in the common snook. *Journal of fish Biology*. 53: 521-542.
- Grier, H. J. y F. Lo Nostro, (2000).** The germinal epithelium in fish gonads: the unifying concept. In: Norberg B., O. S. Kjesbu, G. L. Taranger, E. Andersson, S. O. Stefansson, editors. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish*. Norway: University of Bergen. 233-236.
- Hepher, B. y Y. Pruginin, (1985).** Cultivo de peces comerciales. Basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel. Editorial Limusa. 316 p.
- Holden, M. J. y D. F. S. Raitt, (1975).** Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. Doc. Tec. FAO. Pesca. (115) Rev. 1: 211.
- Hovillon, Ch., (1980).** Embriología. 5<sup>a</sup> Edición. Omega. Barcelona, España. 72-77 p.
- Huet, M., (1978).** Tratado de piscicultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 309-332 p.
- Jiménez, B. Ma. L., (1999).** Análisis de la pesquería de tilapia *Oreochromis sp.* (Pisces: Cichlidae) en la presa Adolfo López Mateos, Michoacán-Guerrero. Doctorado en Ciencias del Mar. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, U.N.A.M. 177 p.
- King, M., (1995).** Fisheries biology, assessment and management. 2ed. Ed. Fishing News Books. 341 p.
- Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller y D. R. M. Passino, (1984).** Ictiología. A G T editor, S. A. 489 p.
- Lewis, W. M. Jr., (1983).** A revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.

- 
- 
- Lo Nostro F., H. Grier, L. Andreone y G. A. Guerrero, (2003).** Involvement Of The Gonadal Germinal Epithelium During Sex Reversal and Seasonal Testicular Cycling in the Protogynous Swamp Eel, *Synbranchus marmoratus* Bloch, 1795 (Teleostei, Synbranchidae). *Journal of Morphology* 257: 107-126.
- Lowe-McConnell, R. H. (1991).** Ecology of cichlids in South American and African waters, excluding the African Great Lakes. In Keenleyside, M. H. A. (Ed). Behavior, ecology and evolution. Chapman & Hall. London. 60-85.
- Malo, A. (1988).** La fecunda y resistente tilapia. *Técnica Pesquera*. México. Vol. 21, 241: 8-11.
- Manríquez, L. Y., (2005).** Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* por medio de otolitos en el lago de Coatetelco, Morelos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 111 p.
- Margalef, R., (1983).** Limnología. Editorial Omega, Barcelona, España 1010 p.
- Menocal, R. R., (1988).** Fecundidad de la Tilapia *Oreochromis aureus*, Steindachner (1864), en la Presa Zaza. *Latín Acuicultura*. Lima, Perú. 36: 44-48.
- Miller, P. J., (1984).** The Tokology of Gobioid Fishes 119-154. En *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*, (Potts, G. W. & R. J. Wooton) Academic Press Londres. 189 p.
- Morales, D. A., (1991).** La tilapia en México. A. G. T. México, D.F., 190 p.
- Morales, D. A., (1996).** La introducción de la tilapia en México. Primer curso internacional de producción de tilapia. Del 20 al 22 de junio de 1996. 232-236.
- Morrison, C. M., T. Miyake y J. R. Wright, (2001).** Histological Study of the Development of the Embryo and Early Larva of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). *Journal of Morphology*. 247: 172-195.
- Moyle, B. P. y J. J. Cech Jr., (2000).** *Fishes: An Introduction to Ichthyology*. Fourth edition. Prentice Hall: 123-144.
- Muñoz, C. G., (1990).** Generalidades de las especies *Macrobrachium resenbergtii* y *Oreochromis sp*. *Memorias: Producción de langostino malayo y mojarra tilapia*. 83 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.
- Nikolsky, D. V., (1963).** The ecology of fishes. Academic Press, New York. 532 p.
- Oliveira, R. F. y V. C. Almada, (1995).** Sexual dimorphism and allometry of external morphology in *Oreochromis mossambicus*. Journal of Fish Biology. 46: 1055-1064.
- Palacios, S. S. E., (1995).** Estudio biológico pesquero de la tilapia *Oreochromis aureus* (Steindavhner, 1864) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerreo, México. Tesis Licenciatura, Fac. Ciencias, UNAM. 81 p.
- Pauly, D., (1984).** Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. International Center for Living Aquatic Resources Management, Studies and Reviews 8, Manila, Philippines. 325 p.
- Patiño R. y C. V. Sullivan, (2002).** Ovarian follicle growth, maturation, and ovulation in teleost fish. Fish Physiology and Biochemistry. 26: 57-70.
- Peña-Mendoza B., Gómez-Márquez J.L., Jimarez-Montiel Ma. J. y Rojas-Labra A., (2005)** Desarrollo embrionario de *O. niloticus*. Segundo foro internacional de Acuicultura. Sonora, México. 1 al 3 diciembre de 2005.
- Pérez D. G. y S. J. Patlani, (2002).** Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa "Emiliano Zapata". Morelos. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza, UNAM; México, D. F. 87 p.
- Ramírez-Noguera, D. y C. L Cruz-Miguel., (2002).** "Aspectos reproductivos de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura, FES Zaragoza, UNAM. 53 p.
- Ramos-Cruz, S., (1995).** Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México. Ciencia Pesquera. No. 11 (Nueva Época): 54-61.
- Redding, J. M. y R. Patiño., (1993).** Reproductive Physiology: 503-534. En: Evans, D. H. (Ed.). The Physiology of Fishes. CRC Press Inc.
- 
-

- 
- 
- Ricker, W. E., (1975).** Computation and interpretation of biological statistic of fish populations. Department of the Environment Fisheries and Marine Service. Bull . Fish. Board. Can. 191:382.
- Rodríguez G. M., (1992).** Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT editor. México. 79p.
- Saito, Q. V. M., (2004).** Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. 87 p.
- Salgado-Ugarte, I. H., (1992).** Análisis Exploratorio de Datos Biológicos, Ed. Marc. Ediciones, México, 242 p.
- Santiago, L. M. C. y J. C. Jardón, (1997).** Determinación de la edad, crecimiento y hábitos alimenticios de cuatro especies de cíclidos de importancia pesquera en la presa Cerro de Oro, Tuxtepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. 68 p.
- SARH, (1982).** Manual de técnicas de análisis fisicoquímicos para aguas. 5ª. Edición. 319 p.
- Schulz R. W. y T. Miura, (2002).** Spermatogenesis and its endocrine regulation. Fish Physiology and Biochemistry. 26: 43-56.
- Schwartz, V., (1977).** Embriología animal comparada. Ediciones Omega, S.A. España. 417 p.
- SEPESCA, (1988).** Manual Técnico para el cultivo de la tilapia en los centros Acuícolas de la Secretaría de Pesca. 202 p.
- Shoesmith, E., (1990).** A comparison of methods for estimating mean fecundity. Journal Fish Biology. 36: 29-37.
- Silva, J. W. B., I. M Torres. y H. J. M. Dos Santos, (1997).** Número e Diâmetro de ovos de tilápia do nilo, *Oreochromis niloticus* (L., 1766), em incubação oral. Ciência Agronômica. Brasil. Vol. 28. 1/2: 28-31.
- Tesch, F. W., (1968).** Age and growth. In Ricker, W. E. Methods for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell Scientific Publications. IBP HANDBOOK No. 3: 93-123. Wheatherly, A. H., 1972; Growth and Ecology of fish Population. Academic Press, London, 293 p.
- 
-

- 
- 
- Tovar, G. A., (2005).** Edad y crecimiento de (*Oreochromis niloticus*) por medio de estructuras duras. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza, UNAM. 74 p.
- Trewavas, E., (1983).** *Tilapiini* fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History). 583 p.
- Tyler, C. R. y J. P. Sumpter, (1996).** Oocyte growth and development in teleosts. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 6: 287-318.
- Varadaraj, K., S. S. Kamuri y T. J. Pandian, (1994).** Comparison of conditions for hormonal sex reversal of Mozambique Tilapias. The Progressive Fish-Culturist 56: 81-90.
- Wallace, R. A. y K. Selman, (1981).** Cellular and dynamic aspect of oocyte growth in teleosts. Am. Zool., 21, 325.
- Weatherley, A. H., H. S. Grill y J. M. Casselman (1987).** The biology of fish growth. Academic Press. 443 p.
- Wetzel, G. R., (1981).** Limnología. Ed. Omega. Barcelona, España. 679 p.
- Wheaton, F., (1982).** Acuacultura. Editor S. A: México. D. F. 704 p.
- Wischnitzer, S. (1980).** Atlas y Guía de Laboratorio de Vertebrados. Omega. Barcelona, España. 39-41 p.
- Wootton, R. J., (1990).** Introduction: Strategies and Tactics in Fish Reproduction: 1-12. En: Hoar, S. y J. Randall (Editores). Fish Reproduction. Vol. V. New York: Academic Press.

---

---

## ANEXO I

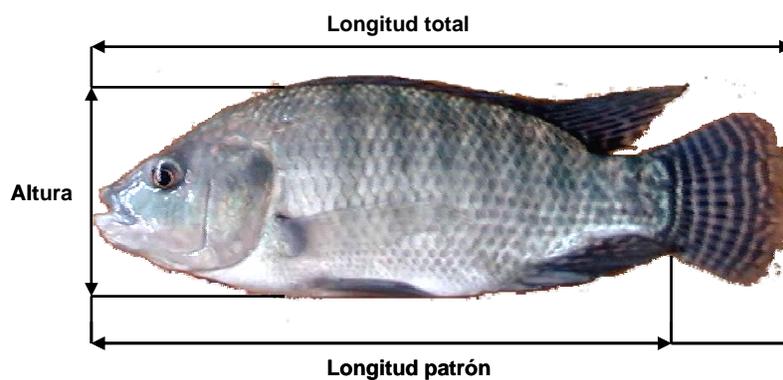


Figura 83. Representación de la biometría para *O. niloticus*.



Figuras 84 y 85. Toma de la biometría (longitud total, longitud patrón, altura, peso total y peso eviscerado) de *O. niloticus* en campo.



Figura 86. Exposición de las gónadas para determinar la madurez gonádica con base en la escala propuesta para *Rastrelliger* citado en Holden y Raitt (1975).

---

---

## ANEXO II

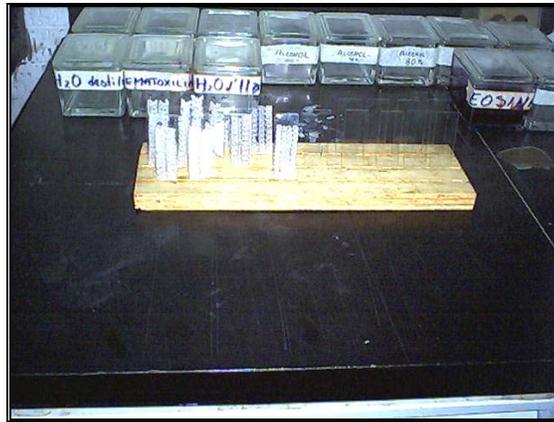
Tabla 29. Descripción macroscópica de la maduración gonádica para *Rastrelliger* propuesta Holden y Raitt., 1975.

<b>Fase</b>	<b>Estadio</b>	<b>Descripción macroscópica (Holden y Raitt, 1975).</b>
<b>I</b>	<b>Inmaduro</b>	Ocupan un tercio de la longitud de la cavidad abdominal. Blancuzcos a rosáceos, translucidos. Óvulos invisibles a simple vista.
<b>II</b>	<b>Desarrollo</b>	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos, más o menos simétricos. Ovarios rosáceos, translucidos. Óvulos visibles a simple vista.
<b>III</b>	<b>Maduración</b>	Ocupan dos tercios de la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos a crema. Ovarios de color rosáceo amarillo, con aspecto granular. No hay óvulos transparentes o translucidos visibles.
<b>IV</b>	<b>Reproductiva</b>	Ocupan de dos tercios a toda la longitud de la cavidad abdominal. Testículos blancuzcos crema, blandos. Ovarios de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles. Óvulos grandes, maduros, transparentes.
<b>V</b>	<b>Posdesove</b>	Ocupan la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flojas. Sanguinolentas o flácidas. Pueden contener restos de los óvulos opacos maduros, en desintegración, oscurecidos o translucidos.

---

---

### ANEXO III



Figuras 87, 88 y 89. Obtención y montaje de cortes histológicos de las gónadas de *D. niloticus*.



Figuras 90 y 91. Desparafinación y tinción de cortes histológicos con la técnica de hematoxilina-eosina de las gónadas de *D. niloticus*.

---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

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

**Figura 2.** Ubicación de la presa Emiliano Zapata, Morelos.

**Figura 3.** Ubicación lago Coatetelco, Morelos.

**Figura 4.** Variación de la proporción sexual para los organismos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 5.** Relación longitud total – longitud patrón de *Oreochromis niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 6.** Relación peso total – longitud patrón para la población, machos y hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 7.** Variación temporal del factor de condición de Clark para machos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 8.** Variación temporal del factor de condición de Clark para hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 9.** Talla de primera maduración sexual para machos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 10.** Talla de primera maduración sexual para hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

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

**Figura 12.** Comportamiento temporal del índice gonadosomático para machos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 13.** Comportamiento temporal del índice gonadosomático para hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

---

---

**Figura 14.** Comportamiento temporal del índice hepatosomático para hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 15.** Estadios de maduración gonádica de los machos de *Oreochromis niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 16.** Estadios de maduración gonádica de las hembras de *Oreochromis niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 17.** Comportamiento temporal de la temperatura ambiental y del agua de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 18.** Comportamiento temporal del pH y la concentración de oxígeno disuelto de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 19.** Comportamiento temporal de la dureza total (mg/L), alcalinidad total (mg/L) y la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de la presa Emiliano Zapata.

**Figura 20.** Variación de la proporción sexual para los organismos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 21.** Relación longitud total – longitud patrón para los organismos de *Oreochromis niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 22.** Relación peso total – longitud patrón para la población, machos y hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 23.** Variación temporal del factor de condición de Clark para machos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 24.** Variación temporal del factor de condición de Clark para hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 25.** Talla de primera maduración sexual para machos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 26.** Talla de primera maduración sexual para hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

---

---

**Figura 27.** Comportamiento de la fecundidad relativa para hembras de *Oreochromis niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 28.** Comportamiento temporal del índice gonadosomático para machos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 29.** Comportamiento temporal del índice gonadosomático para hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 30.** Comportamiento temporal del índice hepatosomático para hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 31.** Estadios de maduración gonádica de los machos de *Oreochromis niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 32.** Estadios de maduración gonádica de las hembras de *Oreochromis niloticus* del lago Coatetelco.

**Figura 33.** Comportamiento temporal de la temperatura ambiental y del agua del lago Coatetelco.

**Figura 34.** Comportamiento temporal del pH y la concentración de oxígeno disuelto del lago Coatetelco.

**Figura 35.** Comportamiento temporal de la dureza total (mg/L), alcalinidad total (mg/L) y la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) del lago Coatetelco.

**Figura 36.** Representación del desarrollo gonádico de *O. niloticus*.

**Figura 37.** Representación del desarrollo gonádico en testículos de *O. niloticus*.

**Figura 38.** Representación del desarrollo gonádico en ovarios de *O. niloticus*.

**Figuras 39.** Ovario en Estadio de Maduración II o desarrollo (40X).

**Figura 40.** Folículos de ovario en estadio de maduración III o maduración (40X).

**Figura 41.** Folículos de ovario en estadio de maduración IV o reproducción (40X).

---

---

**Figura 42.** Folículos de ovario en estadio de maduración V o posdesove (40X).

**Figuras 43 y 44.** Ovario y folículos anormales (40X) de *D. niloticus*.

**Figura 45.** Ovario con tumoraciones de *D. niloticus* (40X).

**Figuras 46 y 47.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio II en las que se identifican pared testicular (PT), lumen lobular (LL), tejido conjuntivo (TC), lóbulos (L), cistos (C), espermatogonias (Eg), espermatoцитos primarios (Ecp) y espermatoцитos secundarios (Ecs). H-E 40X, 100x.

**Figura 48.** Micrografía de corte transversal de testículo de *D. niloticus* en estadio II en la que se identifica pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatoцитos primarios (Ecp), espermatoцитos secundarios (Ecs) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400X.

**Figura 49.** Micrografía de corte transversal de testículo de *D. niloticus* en estadio II en la que se identifica pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatoцитos primarios (Ecp), espermatoцитos secundarios (Ecs) y tejido conjuntivo (TC). H-E 1000X.

**Figura 50.** Micrografía de corte transversal de testículo en estadio III en etapa temprana, se identifica la pared testicular (PT), cistos (C) y lumen lobular (LL). H-E 40X.

**Figuras 51 y 52.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa temprana, se observan la pared testicular (PT), las espermatogonias (Eg), los espermatoцитos primarios (Ecp), los espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), el tejido conjuntivo (TC) y el lumen lobular (LL). H-E 40X, 100X.

**Figura 53.** Micrografía de corte transversal de testículo en estadio III en etapa media, se identifican pared testicular (PT), espermatoцитos (Ec), espermátidas (Ed), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E 40X.

**Figuras 54 y 55.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa media, se observan pared testicular (PT), espermatogonias (Eg), espermatoцитos primarios (Ecp), espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E), tejido conjuntivo (TC), pared del lumen lobular (Lp) y lumen lobular (LL). H-E, 100X, 400X.

---

---

**Figuras 56 y 57.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa avanzada, se identifica la pared testicular (PT), espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E. 40X, 100X.

**Figuras 58 y 59.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio III en etapa avanzada, se observan espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E), tejido conectivo (TC) y lumen lobular (LL). H-E, 400X, 1000X.

**Figura 60.** Micrografía de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan la pared testicular (PT), espermatozoides (E) y lumen lobular (LL). H-E 40X.

**Figuras 61 y 62.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan pared testicular (PT), espermatoцитos primarios (Ecp) espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E), lumen lobular (LL) y pared del lumen lobular (Lp). H-E, 100X.

**Figuras 63 y 64.** Micrografías de corte transversal de testículo en estadio IV, se observan la pared testicular (PT) espermatoгонias (Eg) espermatoцитos primarios (Ecp), espermatoцитos secundarios (Ecs), espermátidas (Ed), espermatozoides (E) y tejido conjuntivo (TC). H-E, 400X.

**Figura 65.** Micrografía de corte transversal de testículo en estadio IV, se observa pared testicular (PT), espermatoгонias (Eg), espermatoцитos secundarios (Ecs), espermatozoides (E) y tejido conjuntivo (TC). H-E 1000X.

**Figura 66.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *D. niloticus*, H-E 100X.

**Figura 67.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *D. niloticus*, se identifican folículos en previtelogénesis (1) y vitelogénesis temprana (2), núcleo (N), citoplasma (C), células de la granulosa (G), células de la teca (T), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO), H-E 400X.

**Figura 68.** Micrografía de folículo previtelogénico de ovario en estadio II de *D. niloticus*, se identifica el núcleo o vesícula germinal (N), nucléolos (n), cromosomas plumosos (Cp), citoplasma (C), la zona pelúcida (Zp), células de la granulosa (G), membrana basal (MB) y células de la teca (T). H-E 1000X.

---

---

**Figura 69.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio II de *O. niloticus*, acercamiento del núcleo (N) donde se identifica citoplasma (C), nucleolos (n) y cromosomas plumosos (Cp). H-E 1000X.

**Figura 70.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio III de *O. niloticus*, H-E 40X.

**Figuras 71 y 72.** Micrografías de corte transversal de ovario en estadio III de *O. niloticus*, se identifican folículos en previtelogenésis (1), en vitelogénesis temprana (2), en vitelogénesis avanzada (3) y atrésicos (4). H-E 40X, 100X.

**Figura 73.** Micrografía de folículos vitelogenéticos de ovario en estadio III de *O. niloticus*, se observan vesículas vitelinas (Vv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca interna (Ti) y externa (Tx) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400X.

**Figura 74.** Micrografía de folículos vitelogenéticos de ovario en estadio III de *O. niloticus*, se aprecian las células de la granulosa (G), las células de la teca (T), el tejido conjuntivo (TC) y la pared del ovario (PO). H-E 400X.

**Figura 75.** Micrografía de corte transversal de ovario en estadio IV de *O. niloticus*, H-E 40X.

**Figura 76.** Micrografía de folículos maduros de ovario en estadio IV de *O. niloticus*, se observan folículos previtelogenéticos (1) y folículos maduros (2), además vitelo (V), capas foliculares (CF), tejido conjuntivo (TC) y pared del ovario (PO). H-E 40X.

**Figura 77.** Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV de *O. niloticus*, se observan glóbulos de vitelo (Gv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca (T) y tejido conjuntivo (TC). H-E 400x.

**Figura 78.** Micrografía de folículo maduro de ovario en estadio IV de *O. niloticus*, se observan glóbulos de vitelo (Gv), membrana vitelina (MV), células de la granulosa (G), membrana basal (MB), células de la teca interna (Ti) y células de la teca externa (Tx). H-E 1000X.

**Fig. 79 y 80.** Nidos de desove.

**Fig. 81.** Ovulo extraído de la hembra de tilapia antes del desove.

**Figura 82.** Etapas del desarrollo embrionario de *Oreochromis niloticus*.

---

---

**Figura 83.** Representación de la biometría tomada para *D. niloticus*.

**Figuras 84 y 85.** Toma de la biometría (longitud total, longitud patrón, altura, peso total y peso eviscerado) de *D. niloticus* en campo.

**Figura 86.** Exposición de las gónadas para determinar la madurez gonádica con base en la escala propuesta por Holden y Raitt (1975).

**Figuras 87, 88 y 89.** Obtención y montaje de cortes histológicos de las gónadas de *D. niloticus*.

**Figuras 90 y 91.** Desparafinación y tinción de cortes histológicos con la técnica de hematoxilina-eosina de las gónadas de *D. niloticus*.

---

---

## ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1.** Intervalos de longitud total, longitud patrón y peso total para machos y hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 2.** Matriz de correlación para las longitudes (total y patrón) con el peso total de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 3.** Análisis de covarianza de la longitud patrón, peso total y sexo para la población total de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 4.** Resultados de la prueba de t-student ( $p < 0.05$ ) para los valores de las pendientes de la relación peso total-longitud patrón de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 5.** Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los testículos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 6.** Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los testículos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 7.** Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los testículos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 8.** Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los ovarios de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 9.** Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los ovarios de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 10.** Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los ovarios de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 11.** Relación entre los estadios gonádicos, número y diámetro de los folículos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.
- Tabla 12.** Análisis de Correlación de Spearman para los machos de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Tabla 13.** Análisis de Correlación de Spearman para las hembras de *O. niloticus* de la presa Emiliano Zapata.

**Tabla 14.** Intervalos de longitud total, longitud patrón y peso total para machos y hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 15.** Matriz de correlación para las longitudes (total y patrón) con el peso total de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 16.** Análisis de covarianza para el análisis de la longitud patrón de la población total de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 17.** Resultados de la prueba de t-student ( $p < 0.05$ ) para los valores de las pendientes de la relación peso total-longitud patrón de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 18.** Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los testículos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 19.** Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los testículos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 20.** Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los testículos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 21.** Relación entre los estadios gonádicos y la longitud de los ovarios de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 22.** Relación entre los estadios gonádicos y el diámetro de los ovarios de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 23.** Relación entre los estadios gonádicos y el peso de los ovarios de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 24.** Relación entre los estadios gonádicos, número y diámetro de los folículos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 25.** Análisis de Correlación de Spearman para las hembras de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

---

---

---

**Tabla 26.** Análisis de Correlación de Spearman para los machos de *O. niloticus* del lago Coatetelco.

**Tabla 27.** Descripción de la maduración gonádica de los testículos para *Oreochromis niloticus* desde el punto de vista macro y microscópica (Modificación de la tabla de Holden y Raitt., 1975 para *Rastrelliger*).

**Tabla 28.** Descripción de la maduración gonádica de los ovarios para *Oreochromis niloticus* desde el punto de vista macro y microscópica (Modificación de la tabla de Holden y Raitt., 1975 para *Rastrelliger*).

**Tabla 29.** Descripción macroscópica de la maduración gonádica para *Rastrelliger* propuesta Holden y Raitt., 1975.