



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Análisis reproductivo de *Oreochromis niloticus* en el Sistema Lacustre de Xochimilco.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

CLAUDIA TONANTZI SANDOVAL SILVA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ

Cd. Universitaria, D.F. 2014





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.

## Hoja de Datos del Jurado

### 1.- Datos del alumno

Sandoval  
Silva  
Claudia Tonantzi  
57 37 75 38  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
304160312

### 2.- Datos del tutor

Dr.  
Luis  
Zambrano  
González

### 3.- Datos del sinodal 1

Dr.  
José Jaime  
Zúñiga  
Vega

### 4.- Datos del sinodal 2

Dr.  
Isaías Hazarmabeth  
Salgado  
Ugarte

### 5.- Datos del sinodal 3

Maestro  
Xavier Gilberto  
Valencia  
Díaz

### 6.- Datos del sinodal 4

Biólogo  
Fernando  
Córdova  
Tapia

### 7.- Datos del trabajo escrito

Análisis reproductivo de *Oreochromis niloticus* en el Sistema Lacustre de  
Xochimilco  
54 p  
2014

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología (UNAM) por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y por permitirme continuar con mi formación académica. A mi tutor el Dr. Luis Zambrano González por su ayuda, paciencia y consejos para el desarrollo de este proyecto.

Al M. en C. Leonardo Sastré Báez por brindarme su apoyo y consejos en el desarrollo de este proyecto académico. Gracias por las enseñanzas, la atención y paciencia.

A la M. en C. Maya Rubio Lozano y al Biól. Armando Tovar Garza les agradezco infinitamente todas las enseñanzas que me han dado en estos años de trabajo. Gracias por sus consejos, sus regaños, la confianza y el apoyo brindado.

A Roberto Altamirano por su ayuda y apoyo durante todos los muestreos. Gracias por permitirme conocer Xochimilco a partir de un nuevo enfoque.

Al Laboratorio de Biología Molecular de la Célula III del Instituto de Biología (UNAM) y al Dr. Gerardo Pérez Ponce de León por permitirme hacer uso de las instalaciones. A la Dra. Adriana García Vásquez, por la paciencia y la enseñanza en el uso del equipo.

## DEDICATORIAS

Las historias personales nunca son de uno. Afortunadamente, nuestras historias son siempre el producto de una mezcla parcialmente conocida de caminos entrecruzados. En mi caso particular he tenido el privilegio de absorber una vasta cantidad de enseñanzas ajenas. Por ello, son muchos los agradecimientos que tengo por dar.

A mis padres, quienes me han apoyado desde siempre en todas mis locuras. Porque creyeron en mí pude llegar hasta la Biología, sintiendo día con día su apoyo y amor. Gracias por la comprensión y paciencia que me han tenido, gracias por darme la seguridad para siempre seguir adelante e intentar hacer cosas que nunca hubiera imaginado.

A quien ha sido una pieza fundamental en todo este recorrido, mi querida tía Mara. Muchas gracias por todo, por dejarme vivir contigo, por tratarme como a una hija y por ser siempre mi maestra y amiga.

¡A mis abuelos! ¿Qué no agradecerles? Toda mi vida he estado pegada a ustedes, llena de amor y muchas enseñanzas. Gracias por todo, por ser mis segundos padres, por llenarme de anécdotas y alegría.

Versa por allí una canción que dice: “familia es familia y cariño es cariño”. Cuando la escucho siempre me acuerdo de ustedes: mis tí@s (Héctor, Berenice, Maribel y Quetzalcóatl). Con sus extremadamente distintas personalidades me han enseñado muchas formas de ver el mundo. Gracias por cobijarme en toda circunstancia, gracias por la confianza que siempre me han brindado y por el amor que me han dado.

A quien desde que nació ha sido la causa de mis enojos y risas: mi hermano Tonatiuh. *Totó* te quiero mucho, me encanta que siempre estés ahí para molestarme y decir alguna locura sorpresiva que al final alegra el día.

A la razón del bullicio de altos decibeles que domingo tras domingo escuchamos en casa de los abuelos: mis prim@s (Quetzalcóatl, Omar, Sergio, Mara, Emiliano, Sebastián, Tania e Itza). Gracias por traer tanta alegría a esta familia, tanta frescura, tantos gritos, tanta vida.

A Beto por todo el cariño que me has tenido. Gracias por comprenderme y apoyarme en todo momento.

Y por supuesto, esta vida no sería vida sin l@s amig@s. A mis *b-e* maravillosas: Odette, Mariana, Paulina, Jessie e Inari. A los entrañables Arturo, Freddy, Gabo, Neto, Flanes, Matiss, Chipa, Mar, Haihua, Erika y Karla. A las sociólocas Xóchitl, Karina, Pau y Anabel. A mi triángulo querido. A la amazona con la que compartí la temporada de muestreo y las vivencias en el descubrimiento de ese lugar enigmático llamado Xochimilco: Perla. Muchísimas gracias por todos los momentos que hemos pasado juntos, por los días enteros encerrados en la biblioteca o trabajando en el campo y por las experiencias recreativo-memorables que nos hemos aventado.

*“De todo quedaron tres cosas:  
la certeza de que estaba siempre comenzando,  
la certeza de que había que seguir  
y la certeza de que sería interrumpido antes de terminar.*

*Hacer de la interrupción un camino nuevo,  
hacer de la caída un paso de danza,  
del miedo, una escalera,  
del sueño, un puente,  
de la búsqueda...un encuentro”.*

**Fernando Pessoa**

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUMEN</b> .....   | 1  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....  | 2  |
| <b>ESPECIE DE ESTUDIO</b> .....  | 4  |
| <b>PARÁMETROS REPRODUCTIVOS DE EVALUACIÓN<br/>POBLACIONAL</b> .....  | 7  |
| <b>PROGRAMAS DE CONTROL POBLACIONAL DE <i>Oreochromis niloticus</i> EN EL<br/>SISTEMA LACUSTRE DE XOCHIMILCO</b> ..... | 9  |
| <b>JUSTIFICACIÓN</b> .....   | 10 |
| <b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....   | 10 |
| <b>OBJETIVO GENERAL</b> .....  | 10 |
| Objetivos específicos.....   | 10 |
| <b>MÉTODO</b> .....  | 11 |
| Sitio de estudio.....  | 11 |
| Fase de campo.....   | 13 |
| Fase de laboratorio.....   | 14 |
| Análisis de datos.....   | 14 |
| <b>RESULTADOS</b> .....  | 18 |
| Análisis intersexual.....  | 20 |
| Análisis intrasexual por canales.....  | 22 |
| Hembras.....   | 22 |
| Machos.....  | 27 |
| Análisis por temporada.....  | 30 |
| Ambos canales.....   | 30 |
| Apatlaco.....  | 33 |
| Cuemanco.....  | 34 |
| <b>DISCUSIÓN</b> .....   | 36 |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....  | 42 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....   | 43 |

## RESUMEN

*Oreochromis niloticus* es la segunda especie íctica dulceacuícola más cultivada a nivel mundial (Lapeyre, 2007). Este organismo africano se introdujo en México durante 1979 y a finales de la década de los ochenta fue introducido en el Sistema Lacustre de Xochimilco.

Como especie invasora se ha reportado que *O. niloticus* está asociada a cambios en la calidad del agua, ya que contribuye al proceso de eutrofización mediante el incremento de los productores primarios del sistema. En el caso particular del humedal de Xochimilco se ha reportado que la introducción de la tilapia del Nilo ha contribuido a la reducción en la abundancia de especies endémicas como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*). El potencial invasivo que presenta la especie está vinculado a su biología reproductiva, que se caracteriza por una generación de corto tiempo y por presentar una temporada reproductiva extensiva con varios períodos de intensificación. Debido a la condición de especie invasora de *O. niloticus* en Xochimilco, el presente trabajo pretende caracterizar la temporada reproductiva de la especie, con el fin de mejorar el control del nivel poblacional a partir de la implementación de medidas adecuadas de extracción pesquera.

El ciclo reproductivo se determinó utilizando como indicadores la relación peso-longitud, la talla de primera madurez, la proporción sexual, la fecundidad, el índice hepatosomático (IHS) y el índice gonadosomático (IGS). Durante los muestreos quincenales realizados entre junio 2012 y junio 2013 en los canales de Cuemanco y Apatlaco, se colectaron 806 individuos entre los que se identificaron 419 hembras, 242 machos y 145 sexualmente inmaduros.

Se registraron distintos patrones de crecimiento y reproducción entre los canales estudiados. Estas diferencias pueden ser resultado de la influencia que la heterogeneidad de las condiciones bióticas y abióticas del humedal ejerce sobre la biología reproductiva de *Oreochromis niloticus*. La contaminación de este cuerpo de agua podría estar ejerciendo estrés ambiental sobre la población de *O. niloticus*. Esto se ve reflejado en patrones de proporción sexual diferentes a los comunes debido a que se favorece el número de hembras. También el estrés puede estar reduciendo la fecundidad, en tanto el tamaño de los oocitos se encuentra por debajo de lo reportado en otros cuerpos de agua.

Los resultados de esta investigación mostraron que la tilapia del Nilo tiene el potencial de reproducirse a lo largo del año en el Sistema Lacustre de Xochimilco, con períodos de intensificación reproductiva tanto en temporada de lluvias como en temporada de secas.

## INTRODUCCIÓN

Las tilapias son un grupo de peces dulceacuícolas nativos de la región centro y sureste de África (Canonico *et al.*, 2005; Zambrano *et al.*, 2006). Pertenecen a la familia Cichlidae y están conformadas por los géneros *Oreochromis*, *Tilapia* y *Sarotherodon* (Canonico *et al.*, 2005). Este grupo de peces comenzó a ser intencionalmente introducido en zonas ajenas a su intervalo de distribución natural durante la década de 1930 (Chimits, 1955; Canonico *et al.*, 2005). Debido a su gran potencial pesquero, algunas especies del género *Oreochromis* (*O. niloticus*, *O. mossambicus* y *O. aureus*) comenzaron a ser ampliamente utilizadas en la acuicultura (Canonico *et al.*, 2005; Lapeyre, 2007). En particular, *Oreochromis niloticus* empezó a cultivarse exponencialmente a partir de 1980, convirtiéndose así en la segunda especie dulceacuícola más cultivada a nivel mundial (Lapeyre, 2007).

En México durante 1964 se introdujeron por primera vez tres especies de cíclidos procedentes de Auburn EUA: *Oreochromis aureus*, *Oreochromis mossambicus* y *Tilapia rendalli* (Tovar-Garza, 2005), que fueron depositados en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca (Morales, 1991). La introducción de *O. niloticus* se llevó a cabo en 1976 y, aproximadamente en 1979, se permitió la captura comercial de la especie (Basurto, 1995).

Dentro de la zona lacustre de Xochimilco las primeras introducciones de *O. niloticus* se realizaron a finales de 1980, con el objetivo de promover un recurso local para el desarrollo socioeconómico y alimentario de la comunidad (Zambrano *et al.*, 2012). El crecimiento poblacional de esta especie, junto con el del pez exótico *Cyprinus carpio*, ha sido de tal magnitud que en el humedal de Xochimilco ambas especies representan el 98% de la biomasa de vertebrados del sistema (Valiente, 2006).

### **Impactos ecológicos de la introducción de tilapias sobre la fauna endémica**

Las tilapias son especies invasoras cuya introducción en hábitats ajenos a su distribución natural ha puesto en riesgo la diversidad biológica del cuerpo de agua receptor (Ciruna *et al.*, 2004), ya que estos miembros de la familia Cichlidae tienen el potencial de alterar las comunidades acuáticas en que son introducidos (Courtenay, 1997). En particular, la introducción de *O. niloticus* se ha asociado a cambios en la calidad del agua debido a que la especie tiene el potencial de contribuir al proceso de eutrofización del ecosistema (Arhington *et al.*, 1994; Canonico *et al.*, 2005; Figueredo y Giani, 2005).

La tilapia del Nilo es una especie omnívora que altera las fuerzas ascendentes y descendentes de la cadena trófica de la comunidad acuática (Figueredo y Giani, 2005). Contribuye al incremento en la biomasa de fitoplancton debido a que sus excreciones aumentan las concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el ecosistema (Figueredo y Giani, 2005). De igual forma, modifica las fuerzas descendentes a causa de su alimentación selectiva sobre la comunidad de zooplancton, lo cual genera cambios en la estructura de tallas de los productores primarios (Northcote *et al.*, 1990; Ramcharan *et al.*, 1996; Komárková, 1998).

Asimismo el carácter omnívoro de *O. niloticus* ha generado que el nicho trófico de la especie se traslape con el de algunos organismos endémicos (Zambrano *et al.*, 2010). Esta situación ha generado la reducción en abundancia de las especies autóctonas (Twongo, 1995; Goudswaard *et al.*, 2002; Zambrano *et al.*, 2010). En el Lago Victoria y Kyoga (África) la introducción de *O. niloticus* se ha asociado al decremento de las especies endémicas *Oreochromis esculentus* y *O. variabilis* (Twongo, 1995; Goudswaard *et al.*, 2002). Mientras que en el Sistema Lacustre de Xochimilco la tilapia del Nilo se ha asociado al decremento en la abundancia de las poblaciones del ajolote (*Ambystoma mexicanum*) (Zambrano *et al.*, 2010).

La tilapia nilotica también puede desplazar a la comunidad de peces nativos mediante la ocupación de sus lugares de reproducción (Canonico *et al.*, 2005) o por el consumo de sus huevos y larvas (Arthington *et al.*, 1994). De igual manera, la comunidad de peces endémicos puede verse afectada por la hibridación de la tilapia nilotica con las especies nativas (Canonico *et al.*, 2005). Por ejemplo, en el Sistema de ríos de Lympompo (Zimbabwe) la especie nativa *Oreochromis mossambicus* ha comenzado a ser desplazada por las poblaciones híbridas de *O. mossambicus* x *O. niloticus* (van der Waal y Bills, 2000).

## Especie de estudio

**Posición taxonómica.** *O. niloticus* se clasifica, de acuerdo con Berg modificado por Trewavas (1983), de la siguiente manera (Figura 1):

Phylum: Chordata  
Subphylum: Vertebrata  
Superclase: Gnathostomata  
Serie: Pisces  
Clase: Actinopterygii  
Orden: Perciformes  
Suborden: Percoidei  
Familia: Cichlidae  
Género: *Oreochromis*  
Especie: *O. niloticus*



Figura 1.- *Oreochromis niloticus*.

**Diagnosis.** *O. niloticus* presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado. Algunos machos tienen la cabeza más grande que la de las hembras, ya que en ciertas ocasiones con la edad y el desarrollo el macho presenta tejido graso en la región anterior dorsal de la cabeza (Sastré-Báez, 2008).

Esta especie presenta de 19 a 22 branquiespinas en la rama inferior del primer arco branquial, de 12 a 13 radios dorsales, 3 espinas anales, de 9 a 11 radios anales, de 30 a 32 vértebras (Aguilar, 2011). La coloración del cuerpo es rosada o morada oscura, con el filo de la aleta dorsal con líneas negras verticales, cabeza rojo púrpura, vientre rojo o morado, ojos rosáceos y perfil frontal convexo (Sastré-Báez, 2008). El hueso faríngeo presenta un área dentada de baja densidad con dientes bicúspides en la parte superior, y dientes monocúspides curvados con dirección posterior en la parte inferior (Arredondo-Figueroa y Lozano-García, 1996).

La boca es protráctil y generalmente ancha, usualmente bordeada por labios gruesos. La mandíbula presenta dientes cónicos y, en algunas ocasiones, incisivos. Puede o no presentar un puente carnoso (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media, debajo del labio. Presenta membranas branquiales unidas por cinco o seis radios branquióstegos. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es siempre corta y consta de varias espinas, mientras que en la parte terminal presentan radios blandos, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados. La aleta caudal está redondeada, trunca o raramente escotada.

La línea lateral de *O. niloticus*, igual que la de todos los cíclidos está interrumpida y se presenta generalmente dividida en dos partes: a) porción superior, que se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, y b) porción inferior, que se extiende desde debajo de la parte terminal de la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. La tilapia nilotica presenta escamas tipo cicloideas.

**Distribución geográfica.** *O. niloticus* es originaria del centro de África (Canonico *et al.*, 2005; Zambrano *et al.*, 2006), aunque se distribuye también en partes de Israel y Jordán (Tovar-Garza, 2005). Sin embargo, como se ha introducido en un gran número de países tropicales y subtropicales, se estima que la tilapia nilotica se encuentra distribuida actualmente en 100 países de Latinoamérica, Asia y África (Soderberg, 1990; Morales, 1991; FAO, 2004; Canonico *et al.*, 2005).

**Hábitat.** La tilapia del Nilo es una especie dulceacuícola que actualmente se encuentra distribuida en diversos sistemas ecológicos, que van desde ríos de poco movimiento, lagos profundos y someros, hasta lagunas costeras y estuarios (Philipparte y Ruwet, 1982; Lowe-McConnell, 2000).

*O. niloticus* es una especie termofílica que tolera amplios rangos de temperatura (El-Sayed, 2006). No obstante, el rango óptimo de temperatura para el desarrollo normal, reproducción y crecimiento se encuentra entre los 25 y 30°C. De igual forma, este grupo de peces puede tolerar temperaturas que van de los 7 a 10°C, aunque únicamente durante breves períodos de tiempo (Balarin y Haller, 1982; Chervinski, 1982; Philippart y Ruwet, 1982; Jennings, 1991; Sifa *et al.*, 2002).

Con respecto al pH el rango más adecuado para el crecimiento de la tilapia va desde el pH neutro hasta el ligeramente alcalino, ya que su crecimiento se reduce en aguas ácidas (El-Sayed, 2006). Sin embargo, llegan a tolerar un pH de 5 (El-Sayed, 2006).

En relación a la concentración de oxígeno disuelto (DO), la tilapia del Nilo presenta un desarrollo adecuado en el intervalo de 2 a 3 mg/L. No obstante, *O. niloticus* puede tolerar amplios rangos de concentración de DO que van de los 0.5 mg/L a los 31.1 mg/L (El-Sayed, 2006).

**Hábitos alimentarios.** *Oreochromis niloticus* es una especie omnívora que, sin embargo, tiende a ser planctófaga (Tovar-Garza, 2005). No obstante, sus hábitos alimentarios se modifican en función de la edad, temporada y localidad (Arhington *et al.*, 1994). Por ejemplo, en etapa juvenil son zooplanctófagos pero posteriormente desarrollan hábitos alimentarios fitoplanctónicos o detritívoros (Tovar-Garza, 2005).

**Crecimiento.** *Oreochromis niloticus* tiene tasas de crecimiento distintas con base en el sexo (Dagne *et al.*, 2013). De manera general, los machos alcanzan tallas más grandes en comparación con las hembras (Soderberg, 1997; Shalloof y Salama, 2008). Asimismo se presentan diferencias de crecimiento con respecto a la etapa del ciclo de vida, ya que la tasa de crecimiento disminuye gradualmente con la edad (Soderberg, 1997).

Con respecto al tipo de crecimiento, la especie comúnmente crece de forma alométrica (LeCren, 1951; Dadzie *et al.*, 2000; Njiru *et al.*, 2006). Cuando se encuentran en cultivo, las tilapias suelen presentar tasas negativas de crecimiento debido al déficit de nutrientes o a las altas densidades poblacionales (Morales, 2003). En estas circunstancias los peces utilizan sus reservas energéticas, lo que genera que pierdan peso a causa de la insuficiencia de alimento (Morales, 2003).

**Hábitos reproductivos.** La tilapia nilótica es una especie dioica. La talla de primera madurez sexual presenta una amplia variabilidad entre los miembros de la especie (El-Sayed, 2006), ya que está parcialmente determinada por las condiciones ambientales (Fryer e Iles, 1972; Lowe-McConnell, 1982). En condiciones favorables, la tilapia nilótica alcanza la madurez sexual cuando su talla se encuentra entre los 20 y 30 cm de longitud total (Lowe-McConnell, 1958; Gwahaba, 1973; Trewavas, 1983). Sin embargo, en condiciones ambientales de estrés y sobrepoblación, esta especie puede madurar presentando tallas menores de hasta 7 y 9 cm de longitud total (Gwahaba, 1973; Duponchelle y Legendre, 2000; Lapeyre, 2007).

La duración de la temporada reproductiva está asociada a la latitud del cuerpo de agua (Pullin y Lowe-McConnell, 1982). Por un lado, se ha reportado que en lugares distantes al ecuador la tilapia nilótica tiene una temporada reproductiva corta y bien definida (Balarin y Hattón, 1979), mientras que en lugares cercanos a éste tiende a reproducirse a lo largo del año (Lowe-McConnell, 1982).

La frecuencia de desove varía ampliamente en función de los factores climáticos y la estacionalidad (Peters, 1963). En latitudes extratropicales los factores abióticos más importantes son la temperatura y el fotoperiodo (Billard y Breton, 1978), mientras que en latitudes tropicales los elementos de mayor trascendencia son la intensidad de la luz, el fotoperiodo, la temperatura y la época de lluvias (Fryer e Iles, 1972; Jalabert y Zohar, 1982; Lowe-McConnell, 1982). Con respecto a la temporalidad, la frecuencia de desove en regiones con estacionalidad marcada tiende a ocurrir en períodos determinados, en tanto que en sitios con temporalidad menos acentuada parece no existir una periodicidad estricta (Peters, 1963).

*Oreochromis niloticus* presenta cuidado maternal bucal, lo que implica que inmediatamente después de la fertilización externa de los huevos, la hembra los toma y los deposita en su boca (El-Sayed, 2006). Después de 4 ó 5 días, dependiendo de la temperatura, los huevos eclosionan en la boca de la hembra y permanecen ahí por un lapso de 20 – 30 días, hasta que los alevines son capaces de nadar (Lapeyre, 2007). Las gónadas se diferencian de 15 – 30 días después de la fecundación (Lapeyre, 2007).

El número de oocitos que una hembra desova en un periodo de tiempo determinado depende de factores como la cantidad de oocitos por desove y el número de desoves (Bagenal, 1978; Wootton, 1979). Sin embargo, esta característica también puede estar inducida por el estado nutricional de los peces y la contaminación del cuerpo de agua en el que se encuentran (Lawrence *et al.*, 2003). El número de oocitos puede reducirse debido a que la atresia, degeneración ovárica por apoptosis, aumenta en función de un mal estado nutricional y la exposición a contaminantes químicos (Widdows *et al.*, 1982; Hanson *et al.*, 1985) que, a su vez, están asociados a la reducción del tamaño de los oocitos (Janz *et al.*, 1997).

### **Parámetros reproductivos de evaluación poblacional**

En los peces el desarrollo de las gónadas y la formación de gametos comienzan meses antes de la época reproductiva (Oliveria y Sánchez-Vázquez, 2010). La reproducción de estos organismos en la época con las condiciones bióticas y abióticas más favorables es resultado de un mecanismo fisiológico que controla la sincronización de la madurez gonádica (Wootton, 1991). Este mecanismo tiene dos componentes: el ciclo endógeno de desarrollo gonadal y el exógeno que sincroniza este ciclo con los factores ambientales (Wootton, 1991). Para las especies tropicales las señales de sincronización más importantes son la temperatura y el incremento en la productividad primaria, que en estas latitudes es posterior a la temporada de lluvias (Oliveria y Sánchez-Vázquez, 2010). No obstante, parece que los factores asociados a esta temporada tienen mayor relación con la sincronización de la etapa final de maduración y desove, que con la gametogénesis (Hyder, 1970; Schwassmann, 1971, 1978). Por otro lado, el crecimiento de las gónadas con relación a la influencia de ciertos factores ambientales puede ser distinta entre sexos (Baggerman, 1980) dado que, por ejemplo, la maduración de los oocitos y su ovulación depende en mayor grado de la modulación ambiental en comparación con la espermatogénesis (Lam, 1983).

El conocimiento de aspectos reproductivos como el ciclo de desove, la talla de primera madurez y la fecundidad es de suma importancia para la evaluación de las poblaciones (Parker, 1985; Cerna y Oyarzún, 1998). De igual relevancia es el análisis de la influencia que los factores bióticos y abióticos ejercen sobre el ciclo reproductivo de los organismos, ya que

la extensión del periodo de desove es dependiente tanto de las condiciones ambientales como de la estructura demográfica de la población (Alarcón *et al.*, 1999).

Una forma de determinar la época o estadio de reproducción de los peces u otros organismos, es a través del índice gonadosomático (IGS), que frecuentemente es empleado para seguir el ciclo reproductivo de una especie durante un año, en intervalos mensuales o de menor tiempo (King, 1995; De Vlaming *et al.*, 1982; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). Entre las especies existe un rango amplio para el IGS de las hembras reproductivas, por ejemplo, en los salmónidos y ciprínidos los ovarios representan del 20 al 30% del peso total antes del desove (Wootton, 1979), mientras que en especies como *Oreochromis leucostictus* representan menos del 5% (Welcomme, 1967).

El IGS incrementa con la madurez de las gónadas (Wootton, 1991). Por esta razón, en el caso de las hembras los IGS más altos reflejan la presencia mayoritaria de oocitos maduros (Peters, 1963). Sin embargo, la presencia de oocitos maduros no implica necesariamente que el pez desovará (Peters, 1963). Por ejemplo, en el caso de las tilapias, cuando las condiciones ambientales no son las más adecuadas para el desove, los oocitos maduros no abandonan el folículo, por lo que son reabsorbidos (Peters, 1963). A partir de esta limitante, además del IGS resulta fundamental el uso de otros indicadores reproductivos que permitan corroborar los periodos donde hay mayor probabilidad de que se lleven a cabo eventos reproductivos.

El incremento en tamaño de los ovarios durante el ciclo reproductivo refleja el desarrollo de los oocitos, mientras van acumulando vitelo (Wootton, 1991). El vitelo provee los recursos energéticos de reserva que el cigoto utilizará durante su desarrollo, hasta la etapa en que pueda alimentarse exógenamente (Wootton, 1991). Si bien la síntesis del vitelo o vitelogénesis, se lleva a cabo en los ovarios (Castelló, 1993), los precursores de éste son sintetizados en el hígado (Wootton, 1991). Por ello, el índice hepatosomático (IHS) resulta útil en los estudios reproductivos, dado que permite conocer de forma indirecta las temporadas de reproducción. El incremento del IHS representa un mayor almacenamiento de grasas y proteínas que pueden ser usadas tanto en el desarrollo ovárico como en el período de desove (Shalloof y Salama, 2008).

El número de oocitos se utiliza como indicador de la fecundidad total o absoluta, que se refiere al número de huevos maduros contenidos en los ovarios antes del desove (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). Entre especies la fecundidad varía a causa de las adaptaciones especiales a los diferentes hábitats, incluso en una misma población la fecundidad puede variar anualmente (Shalloof y Salama, 2008). Otro indicador para estimar la fecundidad es el

diámetro de los oocitos (Gómez-Marquez et al., 2003), debido a que su incremento en tamaño representa también mayor supervivencia de los organismos juveniles, dado que hay una fuerte correlación entre el tamaño del huevo y la larva: oocitos grandes producen larvas grandes (Ware, 1975b).

La reproducción es un proceso complementario al crecimiento, dado que ambos dependen de los recursos limitados de energía y nutrientes que pueden ser utilizados por los organismos (Wootton, 1991). Los patrones de crecimiento representan una medida poblacional de gran interés en el análisis de las pesquerías, ya que permiten la generación de modelos predictivos sobre algún recurso pesquero determinado (Galicia, 1976; Sastré-Báez 2008). Respecto a los indicadores reproductivos, su conocimiento también es necesario para establecer planes de producción potencial, explotación y manejo de las especies (Arawomo y Komolafe, 2007).

### **Programas de control poblacional de *Oreochromis niloticus* en el Sistema Lacustre de Xochimilco**

En el humedal de Xochimilco se implementó el programa “Mitigación del impacto de las especies introducidas en la zona lacustre de Xochimilco” en el período comprendido entre 2004 – 2008. Su objetivo principal fue la extracción intensiva de los peces exóticos *Oreochromis niloticus* y *Cyprinus carpio*, que tuvo como resultado la captura de 90 toneladas de organismos de estas especies (Zambrano y Valiente, 2008). A partir de este programa de mitigación se estimó que la cantidad total de la pesquería de *Oreochromis niloticus* es de 700 – 1,000 toneladas y la densidad es de 15,000 – 24,000 individuos por km<sup>2</sup> (Zambrano et al., 2005).

De igual forma, durante el período comprendido entre 2008 - 2012 se implementó el “Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote”, que tenía como uno de los objetivos principales la extracción intensiva de 200 toneladas de peces exóticos como *Oreochromis niloticus* y *Cyprinus carpio* (Zambrano et al., 2012). Con base en los resultados de este programa se determinó que para ambas especies el canal de Apatlaco presentó la mayor abundancia en kilogramos y en número de organismos. En el caso particular de *Oreochromis niloticus* se encontró que en el canal de Cuemanco se presenta la mayor abundancia para estos organismos (Zambrano et al., 2012). Además se determinó que la tilapia del Nilo tuvo una dominancia del 90% sobre *Cyprinus carpio*, con respecto al total de los peces capturados (Zambrano et al., 2012).

## **JUSTIFICACIÓN**

Debido a la condición de especie invasora de *Oreochromis niloticus* en Xochimilco, el presente trabajo pretende caracterizar la temporada reproductiva de la especie, con el fin de mejorar el control del nivel poblacional a partir de la implementación de medidas adecuadas de extracción pesquera.

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo es el ciclo reproductivo anual de *Oreochromis niloticus* en el Sistema Lacustre de Xochimilco?

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el ciclo reproductivo de *Oreochromis niloticus* en el Sistema Lacustre de Xochimilco.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar el ciclo reproductivo mediante el uso del Índice Gonadosomático (IGS) y su reforzamiento con el Índice Hepatosomático (IHS)
- Identificar las características poblacionales reproductivas utilizando la proporción sexual, porcentaje de madurez gonádica, talla de primera madurez y fecundidad total.
- Describir el tipo de crecimiento mediante el uso de la relación peso – longitud.

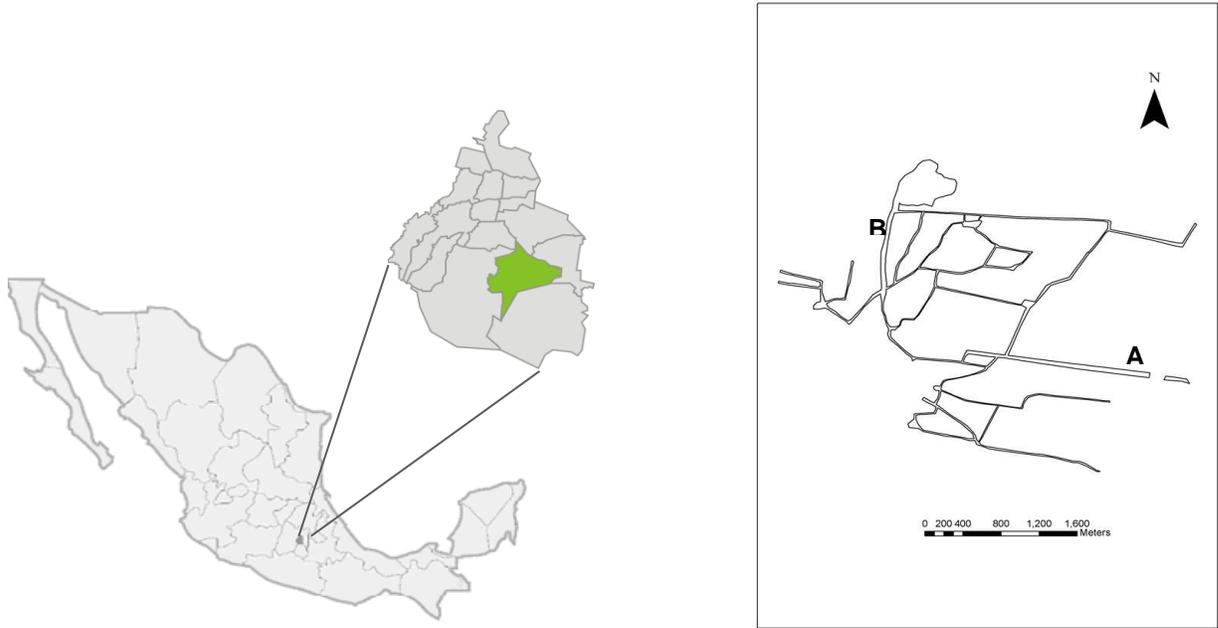
## MÉTODO

**Sitio de estudio.** El Sistema Lacustre de Xochimilco se encuentra ubicado dentro del Área Natural Protegida “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” en la delegación Xochimilco (19°15` N y 99°06`O a 2,240 msnm) al suroeste del Distrito Federal. Posee un área de 24 km<sup>2</sup> y está compuesto por un conjunto de canales, acequias, lagunas permanentes y otros temporales que forman un área natural de descarga subterránea (Cortés-Orellana, 2010). El clima es templado sub-húmedo C(w<sub>0</sub>), presenta una precipitación anual de 700 mm y una temperatura promedio anual de 14°C (INEGI, 2008). La temporada de lluvias abarca de junio a octubre (Jiménez *et al.*, 1995).

El humedal de Xochimilco presenta condiciones fisicoquímicas heterogéneas relacionadas al uso de suelo (Zambrano *et al.*, 2009). Pueden agruparse en zonas con condiciones limnéticas distintas: a) chinampera, b) urbana, c) turística, d) chinampera urbana y, e) chinampera tecnificada (Zambrano *et al.*, 2009; Contreras, 2012). Además, Xochimilco es un ecosistema cuya degradación ambiental ha afectado tanto las especies endémicas como introducidas que se encuentran en el lugar (Contreras, 2012).

El área de canales de Xochimilco presenta una longitud aproximada de 203 km (INECOL, 2002). El ancho de los canales varía de 1 a 65 m, con una profundidad máxima de 2.25 m (Ramírez, 1990). Los canales hidrológicamente más importantes son: Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo, Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón (INECOL, 2002). Con base en la abundancia poblacional de *Oreochromis niloticus*, los canales de Apatlaco y Cuemanco son los más importantes, ya que en ellos se encuentra el mayor número de organismos de esta especie (Zambrano *et al.*, 2012).

El canal de Apatlaco tiene una longitud aproximada de 1.93 km y se encuentra en la zona urbana (Zambrano *et al.*, 2009; Contreras, 2012). El canal de Cuemanco tiene una longitud aproximada de 2.22 km y se encuentra en la zona turística (Zambrano *et al.*, 2009; Contreras, 2012).



**Figura 2.- Ubicación geográfica de los canales estudiados (A: Apatlaco, B: Cuemanco) (Tomado de Merlo-Galeazzi, 2010).**

En la zona lacustre predominan sedimentos de tipo arcilloso, intercalados con arenas de grano fino (Romero *et al.*, 2006). La vegetación presente en el Sistema Lacustre de Xochimilco se ha clasificado en tres grupos: a) sumergida (*Cabomba* sp., y “espiga de agua” *Potamogeton* sp.); b) flotante (“lirio acuático” *Eichhornia crassipes*, “lemna” *Lemna minor* y “lenteja de agua” *Spirodela polyrhiza*; c) emergente (“ombligo de Venus” *Hydrocotyle ranunculoides*, “tule” *Typha latifolia*, “junco” *Juncus* spp., y *Cyperus* spp.) (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

La fauna del humedal de Xochimilco está compuesta por 139 especies de vertebrados, de los cuales: seis son anfibios, diez son reptiles, 79 son aves, 23 son mamíferos y 21 son peces. Entre las especies nativas de peces se encuentran organismos de las familias Atherinidae (*Chirostoma humboldtianum* y *Menidia humboldtiana*) y Goodeidae (*Girardinichthys multiradiatus* y *Goodea atripinnis*) (Gobierno del Distrito Federal, 2006).

**Fase de campo.** Se efectuaron muestreos quincenales alternados entre los canales de Apatlaco y Cuemanco en el periodo comprendido entre junio de 2012 y junio del 2013. En cada muestreo se colectaron entre 30 y 60 organismos, utilizando como artes de pesca una atarraya y red de “calcetín” (80 m de largo por 25 m de ancho, dos paredes de 175 y 120 m de caída y luz de malla de 1 pulgada). A cada uno de los individuos se les midió la longitud total (Lt) y longitud patrón (Lp), con un ictiómetro de  $\pm 0.1$  cm de precisión, así como el peso total (P<sub>t</sub>) y peso eviscerado (P<sub>e</sub>), con una balanza digital de 1 g de sensibilidad.

Cada ejemplar se abrió ventralmente desde el ano hasta el opérculo, para la determinación macroscópica del sexo y el estado de maduración gonádica (Arawomo y Komolafe, 2007). Los estados de maduración gonádica fueron caracterizados con base en la escala de madurez sexual de cinco puntos para desovantes parciales, adaptada de Holden y Raitt (1975) (Tabla 1). Las gónadas de ambos sexos y, en el caso de las hembras el hígado, fueron extraídas y fijadas en alcohol al 70% para su análisis en laboratorio.

**Tabla 1.- Descripción de las escalas de madurez sexual adaptada de Holden y Raitt (1975).**

| Fase | Estadio      | Descripción General   |
|------|--------------|---|
| I    | Inmaduro     | Ovarios y testículos cerca de un tercio de la longitud de la cavidad abdominal, ovarios rosáceos, translúcidos; testículos de color blancuzco. Óvulos invisibles a simple vista.  |
| II   | Desarrollo   | Ovarios y testículos cerca de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos translúcidos, testículos de color blancuzco, más o menos simétricos. Óvulos visibles a simple vista.                                  |
| III  | Maduración   | Ovarios y testículos cerca de dos tercios de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color rosáceo-amarillo con aspecto granular. Testículos de color blancuzco a crema. No hay óvulos transparentes o translúcidos visibles. |
| IV   | Reproductiva | Ovarios y testículos ocupan dos tercios de la cavidad abdominal. Óvulos de color naranja-rosáceo con vasos sanguíneos visibles. Grandes ovarios maduros y transparentes. Testículos de color blancuzco crema, blandos.                |
| V    | Posdesove    | Ovarios y testículos cerca de la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flojas. Los ovarios pueden contener restos de los óvulos opacos maduros en desintegración, oscurecidos o translúcidos. Testículos flácidos.    |

**Fase de laboratorio.** Las gónadas de ambos sexos y el hígado de las hembras se pesaron en una balanza de precisión de 0.01 g. Las gónadas de hembras en estadio reproductivo (IV) fueron utilizadas para las estimaciones de fecundidad, para lo que se determinó el número y diámetro de los oocitos contenidos en el ovario. El número total de oocitos se estimó a partir de la duplicación del número de óvulos cuantificados en una gónada. El diámetro de los oocitos se determinó a partir de análisis del 10% del número total de óvulos estimado. Los diámetros fueron medidos usando un estereoscopio con cámara fotográfica adaptada y el programa de cómputo “Image-Pro Plus” (0.001 mm).

**Análisis de datos.** A los resultados obtenidos se les aplicaron las pruebas de normalidad y homocedasticidad de Shapiro-Wilks ( $p < 0.05$ ). Al no encontrarse normalidad se transformaron los datos mediante las siguientes operaciones: logaritmo natural, logaritmo base 10 y raíz cuadrada (Salafranca et al., 2005). Después se transformaron los datos y se volvió a realizar la prueba de Shapiro-Wilks. Si con la transformación de los datos no se normalizaron, se procedió a trabajar con las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney, Correlación de Spearman, y ANCOVA por el método de Quade.

*Relación peso-longitud.* Para transformar las variables con fines comparativos con otros estudios, se realizó una regresión lineal entre la longitud total y la longitud patrón. La caracterización del tipo de crecimiento se determinó mediante la relación peso–longitud. Para determinar la longitud que presentó mayor relación con el peso total, se realizó el análisis de correlación de Spearman entre la longitud total, longitud patrón y peso total.

Para evaluar las diferencias en la relación  $L_t - P_t$  entre sexos y por canal se utilizó el análisis de covarianza no paramétrico ( $p < 0.05$ ) con base en la transformación jerárquica de Quade (1967). Este procedimiento se realizó utilizando el programa de cómputo estadístico “STATISTICA 7”.

Para estimar el tipo de crecimiento de la población se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = a \cdot L^b$$

Donde:

P= peso total

L=longitud patrón o total

a y b=constantes empíricas

(Ricker, 1975).

La transformación logarítmica de esta expresión dio como resultado una función lineal:

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

Para generar las ecuaciones de la relación peso – longitud, en el análisis intrasexual por canales, se utilizó el método de regresión lineal por medio de los mínimos cuadrados (Marques, 1991). De esta manera se obtuvieron los valores del intercepto ( $\log a$ ) y la pendiente ( $b$ ) de la recta. Este procedimiento se realizó utilizando el programa de cómputo estadístico “STATISTICA 7”.

Para determinar si el crecimiento era alométrico ( $B \neq 3$ ) o isométrico ( $B=3$ ), al valor de  $b$  (pendiente) obtenido se le realizó una prueba  $t$ -Student (Ricker, 1975). Se determina que el valor de  $b$  es diferente de 3 si  $\hat{t}$  es mayor que el valor para  $t$  de tablas ( $g. l. n-2$ ) (Pauly, 1984). Para calcular el valor de  $\hat{t}$  se utilizó la siguiente ecuación:

$$\hat{t} = \frac{s \cdot d(x)}{s \cdot d(y)} \cdot \frac{|b - 3|}{\sqrt{1 - r^2}} \cdot \sqrt{n - 2}$$

Donde:

$s \cdot d(x)$  = desviación estándar del logaritmo natural ( $\ln$ ) de la longitud total.

$s \cdot d(y)$  = desviación estándar del  $\ln$  del peso total.

$r^2$  = coeficiente de determinación

$b$  = pendiente de la curva

$n$  = número total de datos

(Pauly, 1984)

*Proporción sexual.* Se cuantificó el número de machos y hembras a nivel mensual y por temporada. Para corroborar si la proporción era 1:1 (Nikolsky, 1963) se utilizó una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrada ( $\chi^2$ ) con  $\alpha$  de 0.05 (Daniel, 1997).

*Talla de primera madurez.* En este análisis se utilizaron solamente las tallas de los individuos reproductores (estadio IV). Para saber si había diferencias entre sexos se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. El mismo procedimiento se realizó para saber si había diferencias con respecto al canal entre los individuos de un mismo sexo.

Después de determinar las diferencias poblacionales, la talla de primera madurez se identificó con base en la aplicación del modelo logístico. En este modelo se estimó la longitud media de madurez sexual o gonádica (Lm), que representa la longitud a la cual el 50% de los organismos se encuentra en estado reproductivo (Fase IV). El modelo es:

$$P = \frac{1}{1 + ( \exp^{-r*(Lt-Lm)} )}$$

Donde:

P = Proporción de individuos maduros a la longitud total

r = Pendiente de la curva

Lt = Longitud total del organismo en el tiempo

Lm = Longitud media de madurez sexual o gonádica

(King, 1995).

*Número y diámetro de oocitos.* Para saber si había diferencias en el número de oocitos con respecto al canal se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Se realizó el mismo procedimiento para comparar el número de oocitos con respecto a la temporada.

En el caso del diámetro de los oocitos se utilizó una prueba *t-student* para saber si había diferencias entre canales. El mismo procedimiento fue realizado en la comparación de este estimador reproductivo con respecto a la temporada.

*Índice Hepatosomático (IHS).* Para saber si había diferencias del IHS con respecto al canal se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Se realizó el mismo procedimiento para comparar el IHS con respecto a la temporada.

Para las hembras se calculó a partir de la relación entre la masa del hígado (MH) y la masa del animal eviscerado (MAE), expresado porcentualmente (Gómez-Márquez *et al.*, 2003)

$$IHS = 100 \times (MH / MAE)$$

(Gómez-Márquez *et al.*, 2003).

*Índice Gonadosomático (IGS)*. Para saber si había diferencias del IGS con respecto al canal se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Se realizó el mismo procedimiento para comparar el IGS con respecto a la temporada.

A partir de las diferencias poblacionales identificadas, el IGS se calculó para cada ejemplar con sexo determinado, con base en la expresión porcentual de la relación entre la masa de la gónada (MG) y la masa del animal eviscerado (MAE).

$$IGS = 100 \times (MG / MAE)$$

(De Vlaming *et al.*, 1982).

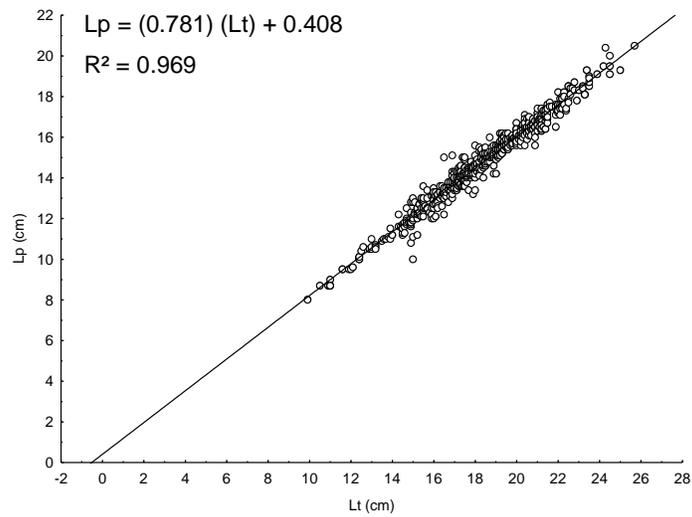
## RESULTADOS

Se colectaron 806 individuos de los que se identificaron 419 hembras (51.98 %), 242 (30.02 %) machos y 145 (17.99 %) con sexo indeterminado.

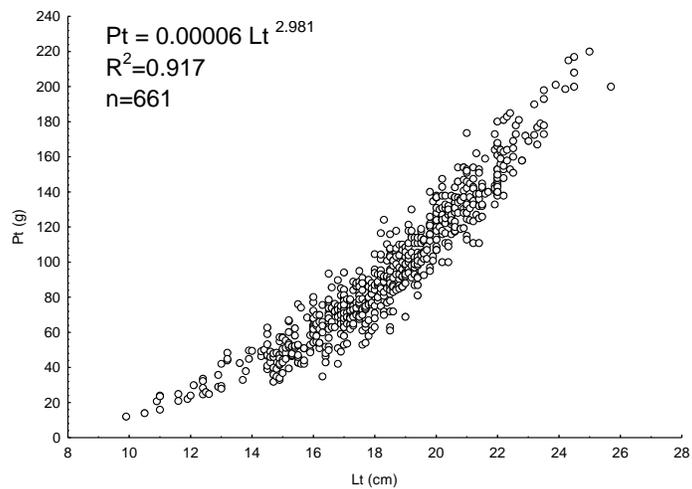
El macho más pequeño midió 9.9 cm y el más grande 25.7 cm, con un promedio de  $19.20 \pm 3.05$  cm. Con respecto al peso el rango fue de 12 a 220 g con un promedio de  $112.04 \pm 44.78$  g.

La hembra más pequeña midió 11.0 cm y la más grande 24.5 cm, con un promedio de  $17.79 \pm 2.14$  cm. Con respecto al peso el rango fue de 21 a 217 g con un promedio de  $84.57 \pm 31.65$  g. La fecundidad absoluta de *O. niloticus* en el Sistema Lacustre de Xochimilco varió de 208 a 2178 oocitos, con un promedio de  $807.57 \pm 421.15$  óvulos por hembra. El diámetro de los ovocitos varió de 0.813 a 2.501 mm con un promedio de  $1.722 \pm 0.376$  mm. El IHS varió de 0.154 a 5.267 con un promedio de  $1.922 \pm 0.873$ .

En el análisis de regresión entre la longitud total (Lt) y la longitud patrón (Lp) que se realizó para transformar ambas variables con fines comparativos con otros estudios, se obtuvo la siguiente ecuación (Figura 3):



**A**



**B**

**Figura 3.- A: Regresión lineal Lt - Lp para machos y hembras de *O. niloticus* en Xochimilco. B: Relación peso-longitud para machos y hembras de *O. niloticus* en Xochimilco.**

Los datos muestran una relación lineal entre Lt y Lp con una asociación ( $R^2$ ) de 0.969. La correlación de Spearman mostró que la Lt fue la medida que tuvo mayor correlación con el Pt ( $r_s(799, 801) = 0.989, p < 0.05$ ).

## ANÁLISIS INTERSEXUAL

Con respecto a la relación peso – longitud, los machos fueron significativamente mayores que las hembras ( $F(1, 659) = 11.83, p < 0.01$ ).

De los 661 individuos con sexo determinado se identificaron 242 machos (36.6%) y 419 hembras (63.4%), por lo que la proporción sexual obtenida fue de 1 : 1.73 (machos : hembras) ( $\chi^2(1, 661) = 740.67; p < 0.01$ ). Las hembras dominaron en abundancia durante casi todo el año, excepto para los meses de octubre, diciembre, enero y junio<sup>2</sup> (Figura 4).

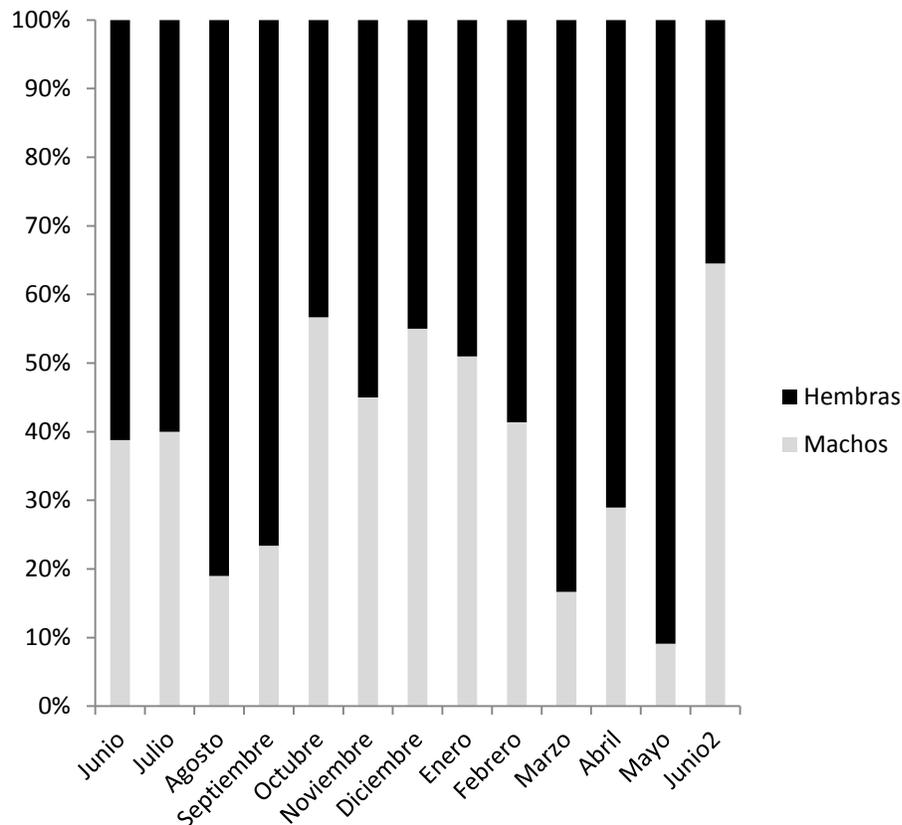
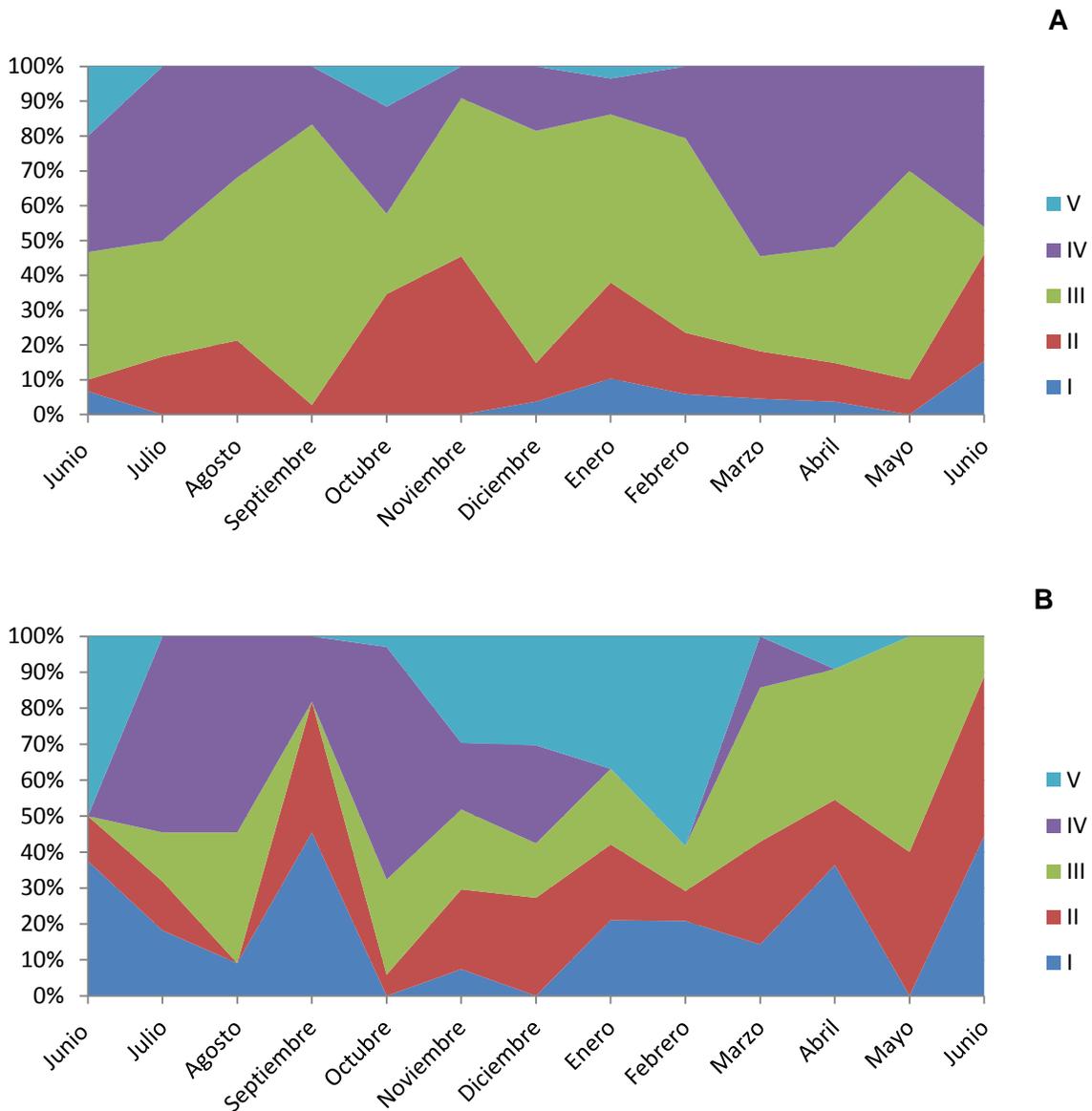


Figura 4.- Variación mensual del porcentaje entre machos y hembras de *Oreochromis niloticus*.

Con base en el porcentaje de madurez gonádica, en el Sistema Lacustre de Xochimilco *Oreochromis niloticus* presentó hembras reproductivas (estadio IV) durante todo el año, en una proporción que va del 9.09% al 54.55%. Se identificaron machos reproductivos en siete de los 13 meses de muestreo, en una proporción que va del 14.29% al 64.71% (Figura 5).



**Figura 5.- Variación mensual de los estadios gonádicos (A : Hembras; B : Machos)**

Las tallas de las hembras reproductoras (18.329 cm) fueron significativamente menores a las de los machos reproductores (21.017 cm) ( $U = 1233, p < 0.01$ ).

El índice gonadosomático (IGS) de las hembras (2.497) fue significativamente mayor al de los machos (0.329) ( $U = 5315, p < 0.01$ ).

## ANÁLISIS INTRASEXUAL POR CANALES

### Hembras

Respecto a la relación peso – longitud, las hembras de Apatlaco y Cuemanco presentaron diferencias significativas ( $F(1, 412) = 9.74, p < 0.01$ ). Ambos canales mostraron patrones distintos de crecimiento anual: en Apatlaco fue alométrico negativo ( $b = 2.773$ ) y en Cuemanco isométrico ( $b = 2.944$ ) (Figura 6).

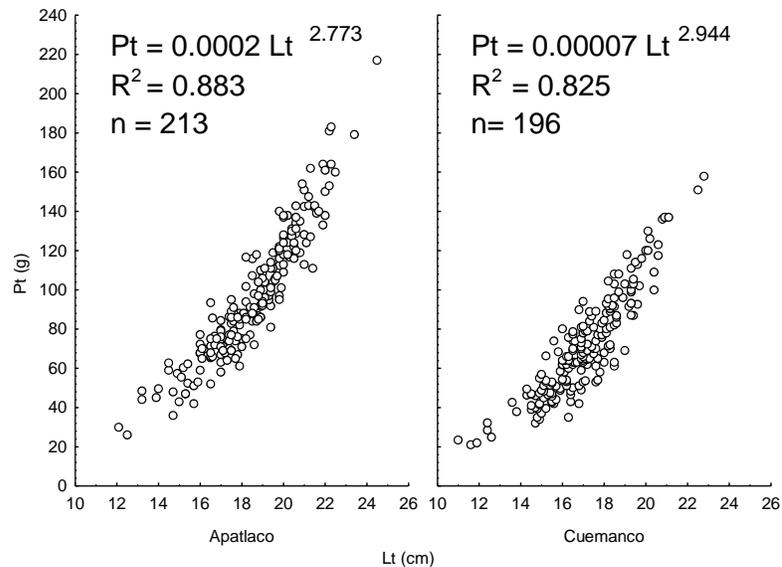


Figura 6.- Relación peso-longitud para las hembras de *Oreochromis niloticus* en Apatlaco y Cuemanco

Con base en el porcentaje de madurez gonádica, Apatlaco y Cuemanco presentaron un comportamiento similar en su distribución (Figura 7). En ambos canales las hembras en estadio IV estuvieron presentes durante todo el año en un promedio de 33%. Sin embargo, los valores máximos y mínimos se registraron en meses distintos. Por un lado, en Apatlaco las hembras presentaron un valor mínimo de 7.14% en enero y máximo de 57.14% en septiembre, mientras que en Cuemanco las hembras IV se registraron en todos los meses, excepto en noviembre, y presentaron un valor mínimo de 6.89% en septiembre y máximo de 77.77% en marzo.

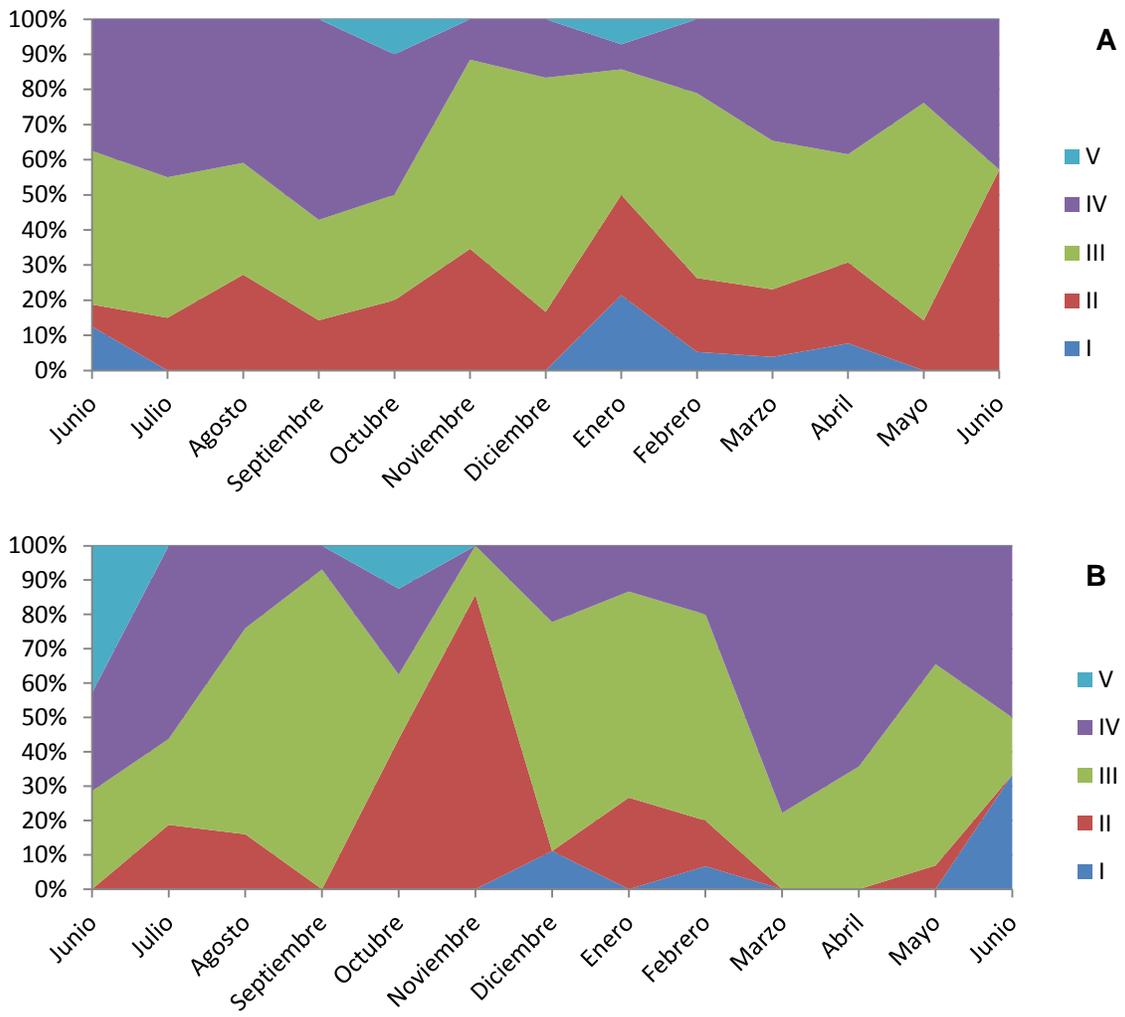
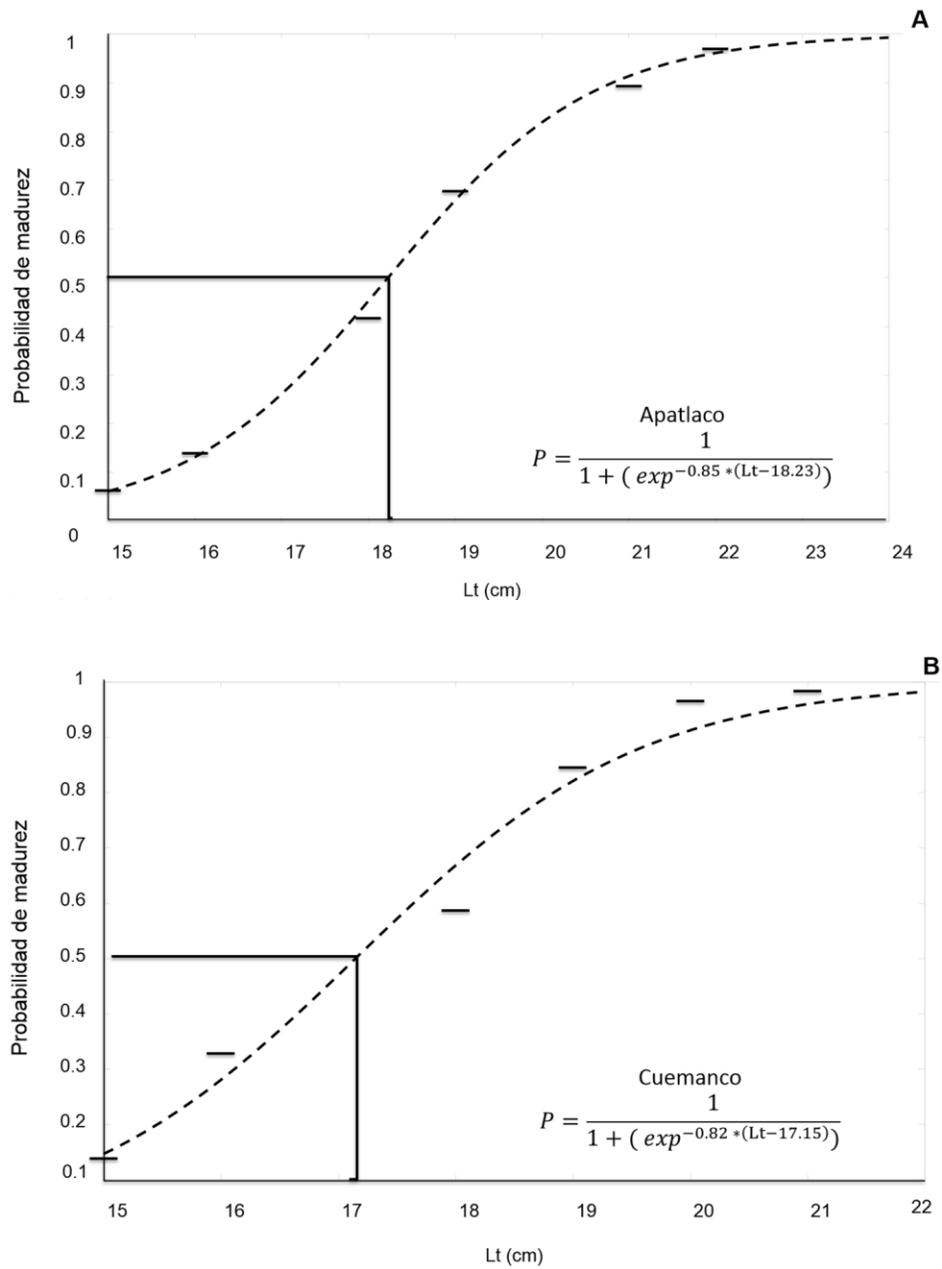


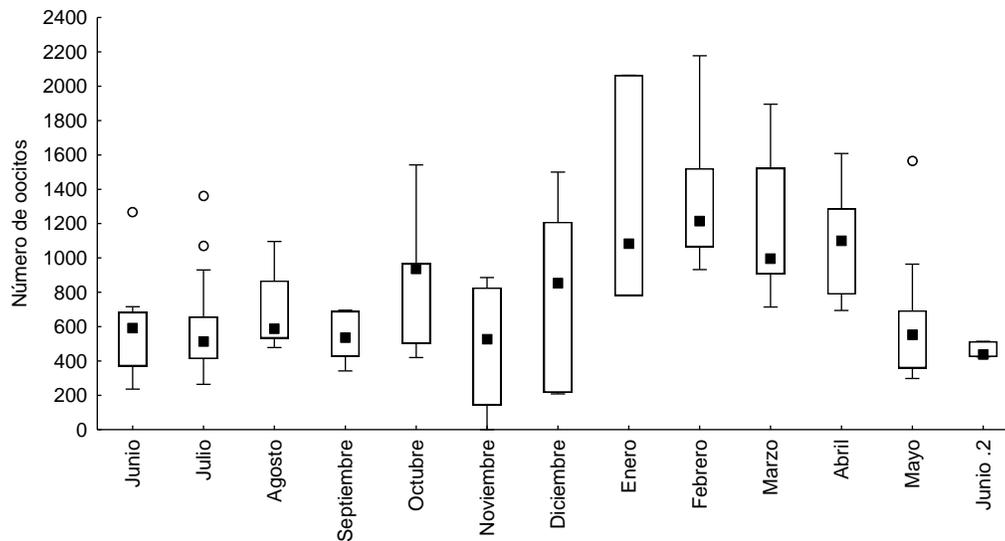
Figura 7.- Variación mensual de los estadios gonádicos de hembras (A = Apatlaco; B= Cuernavaca).

La talla de primera madurez sexual de las hembras de Apatlaco (18.23 cm) fue significativamente mayor a la registrada en Cuemanco (17.15 cm) ( $U = 1220$ ,  $p < 0.01$ ). Se muestra el modelo logístico de la talla de primera madurez (Figura 8).



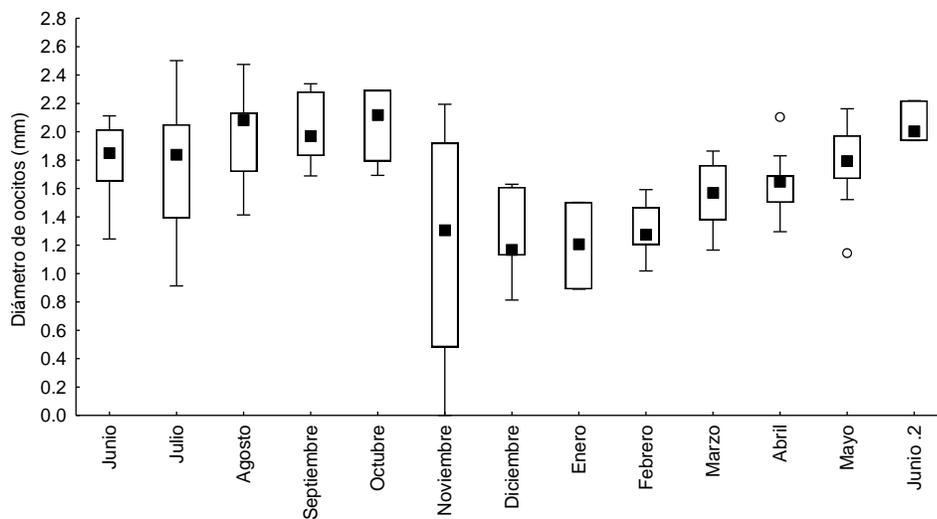
**Figura 8.- Probabilidad de madurez con respecto a la Lt (cm) de las hembras de *Oreochromis niloticus* para obtener la talla de primera madurez sexual (A: Apatlaco; B: Cuemanco).**

El número de oocitos no presentó diferencias significativas entre los canales de Apatlaco y Cuemanco ( $U = 1680$   $p = 0.105$ ). Se encontraron oocitos maduros durante todos los meses del año y los picos se presentaron de enero a abril (Figura 9).



**Figura 9.- Número de oocitos mensual en el Sistema Lacustre de Xochimilco**

El tamaño de los oocitos (mm) no fue significativamente distinto entre el canal de Apatlaco y Cuemanco ( $t(125, 127) = 0.046$ ,  $p = 0.962$ ) (Figura 10). Los valores máximos se registraron en junio, agosto, septiembre y octubre.



**Figura 10.- Diámetro (mm) de oocitos mensual en Apatlaco y Cuemanco**

Con respecto al índice Hepatosomático (IHS) no se encontraron diferencias significativas entre Apatlaco y Cuemanco ( $U = 2049$ ,  $p = 0.4851$ ). El IHS promedio fue de 1.922. Con respecto a las fluctuaciones del IHS a lo largo del año, observamos el valor máximo durante junio.2 (Figura 11).

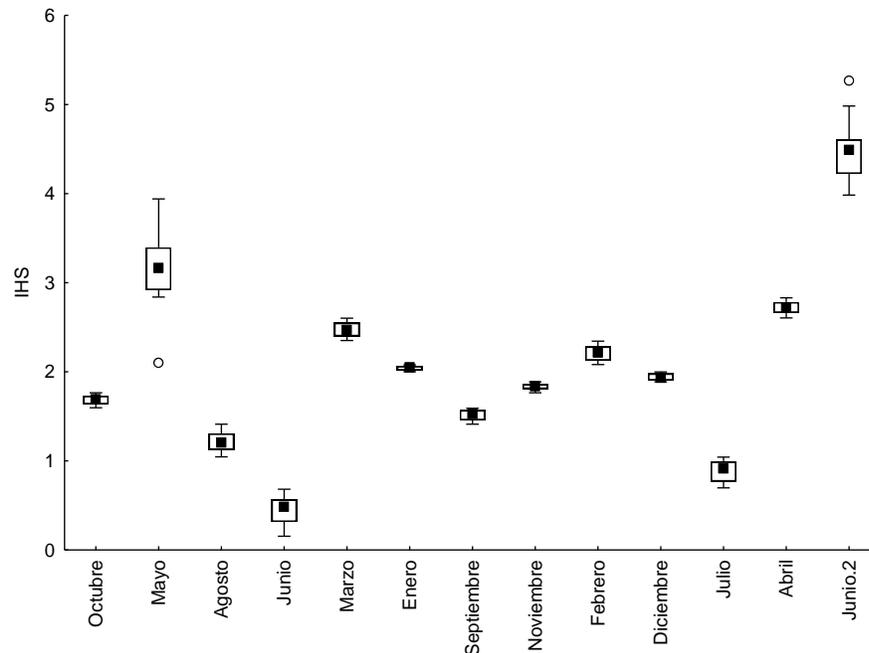


Figura 11.- IHS mensual para hembras de *Oreochromis niloticus*

El índice gonadosomático (IGS) fue significativamente mayor en Cuemanco (2.729) que en Apatlaco (2.268) ( $U < 0.01$ ,  $p < 0.01$ ). Con base en los valores que a lo largo del año presentó el IGS, se determinó que para ambos canales la actividad reproductiva se extiende de forma anual. No obstante, el comportamiento de este indicador fluctúa de manera distinta en los dos canales. Por un lado, en Cuemanco los valores máximos se reportaron en abril y junio, mientras que en Apatlaco se registraron en junio y septiembre (Figura 12).

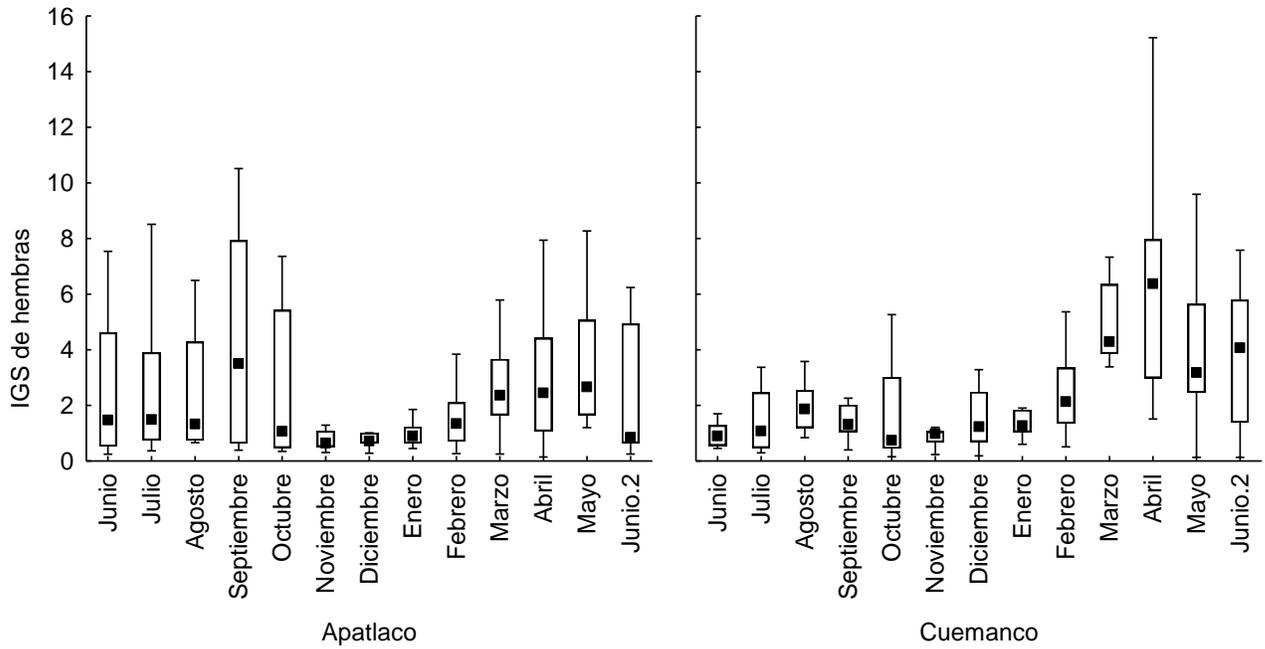


Figura 12.- IGS mensual para hembras de *Oreochromis niloticus* en Apatlaco y Cuernavaca.

**MACHOS**

Con respecto a la relación peso-longitud los machos de Apatlaco y Cuernavaca no presentaron diferencias significativas ( $F(1, 248) = 3.77, p < 0.05$ ). El crecimiento anual registrado fue isométrico ( $b = 2.924$ ) (Figura 13).

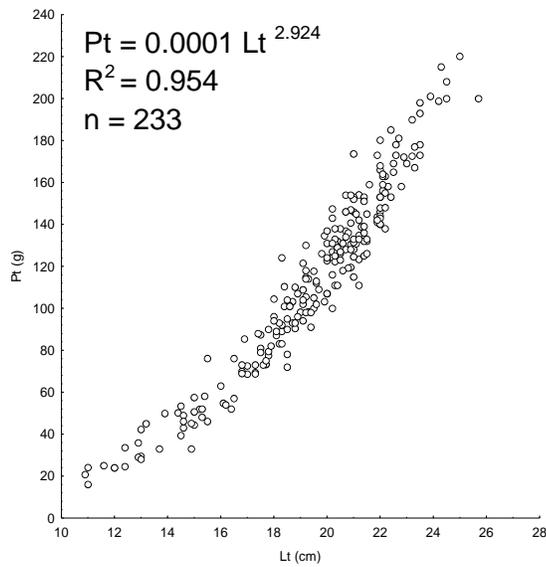
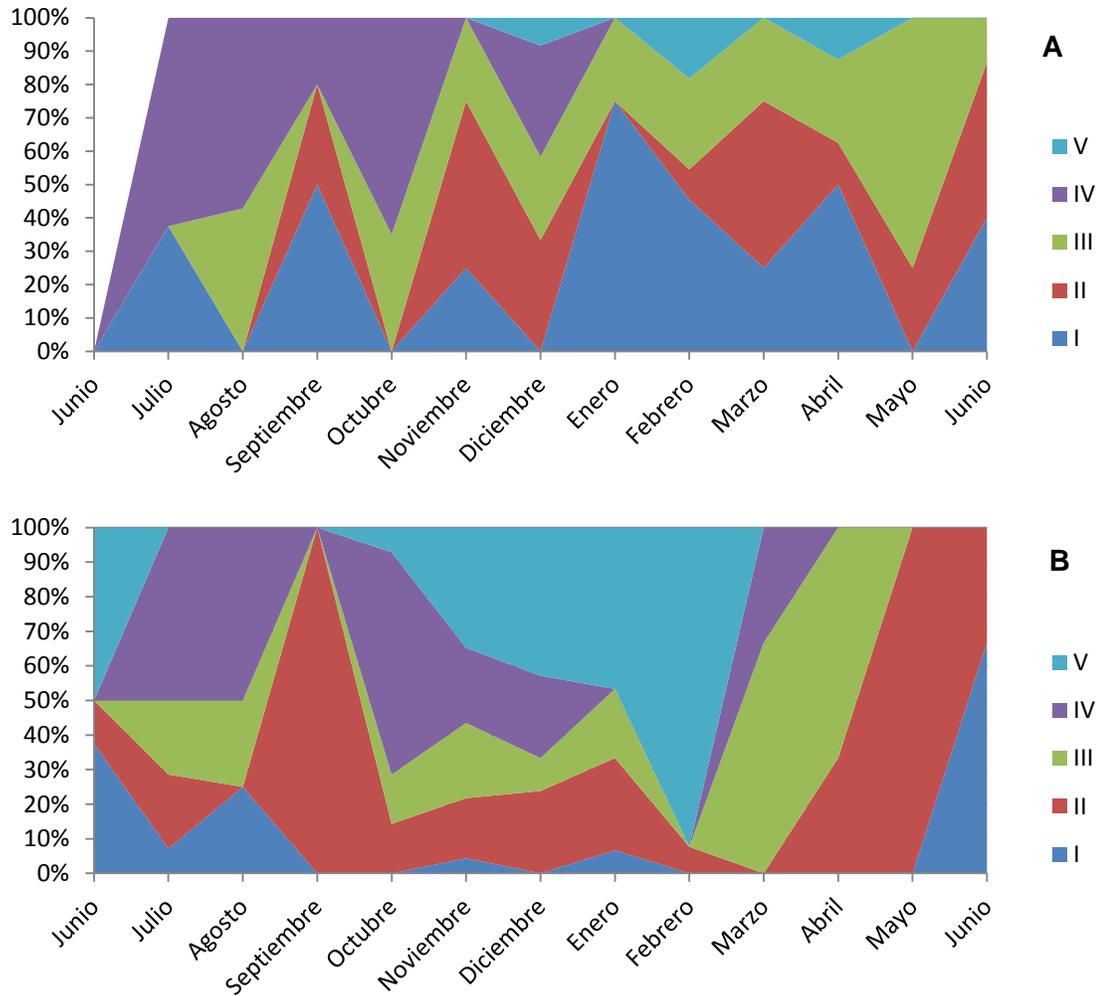


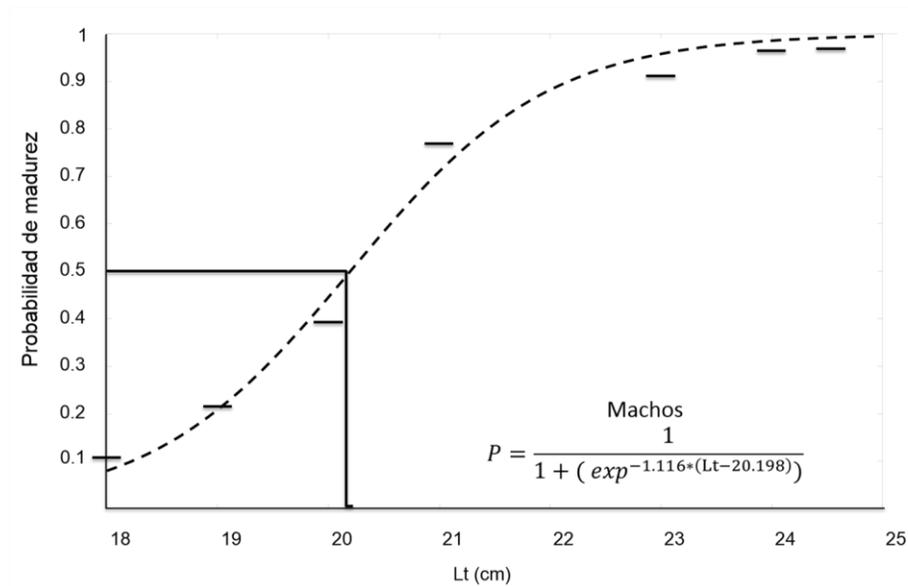
Figura 13.- Relación peso-longitud para los machos de *Oreochromis niloticus*

El porcentaje mensual de los estadios gonádicos reproductivos presentaron un comportamiento similar en Apatlaco y Cuemanco (Figura 14). En ambos canales los machos reproductivos se presentaron sólo en algunos meses del año, en un rango que va del 21% al 64%, con un promedio de 19.83%. No obstante, los valores máximos y mínimos se registraron en meses distintos. Por un lado, en Apatlaco se reportaron de julio - diciembre, mientras que en Cuemanco se registraron de julio – diciembre y en marzo.



**Figura 14.- Variación mensual de los estadios gonádicos de machos (A : Apatlaco; B : Cuemanco).**

Respecto a la talla de primera madurez (20.198 cm) los machos de Apatlaco y Cuemanco no presentaron diferencias significativas ( $t(55, 57) = 1.0371, p = 0.304$ ). Se muestra el modelo logístico para la talla de primera madurez (Figura 15).



**Figura 15.- Probabilidad de madurez con respecto a la Lt (cm) de los machos de *Oreochromis niloticus* para obtener la talla de primera madurez sexual.**

El IGS en Cuemanco fue significativamente mayor ( $U = 5315$ ,  $p < 0.01$ ) al de Apatlaco. En el caso de Cuemanco el IGS fue de 0.399, en tanto que en Apatlaco fue de 0.252. A pesar de estas diferencias, en ambos canales la actividad reproductiva se extiende a lo largo del año y se comporta de manera similar. En Cuemanco, por ejemplo, los picos reproductivos se encontraron en febrero, marzo, abril, agosto y noviembre, a diferencia de Apatlaco, cuyos picos se registraron en febrero, abril, octubre y diciembre (Figura 16).

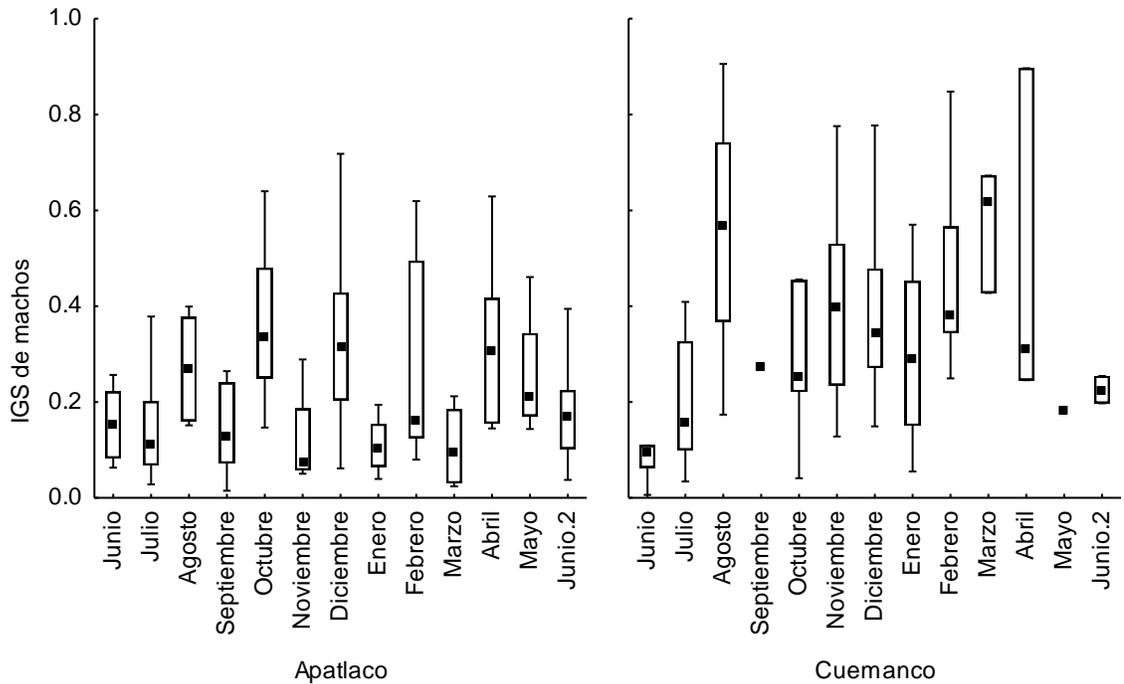


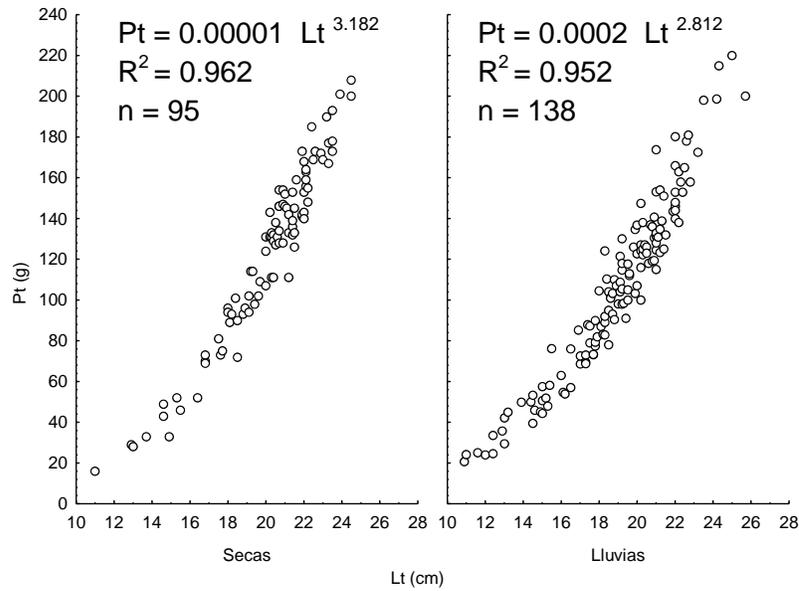
Figura 16.- IGS mensual para machos de *Oreochromis niloticus* en Apatlaco y Cuernanco

### ANÁLISIS POR TEMPORADA

El análisis por temporada se realizó con base en los resultados de las pruebas intrasexuales por canal. Las variables en las que no se encontraron diferencias por canales se encuentran en el apartado de *ambos canales*. Las variables que mostraron diferencias significativas se separaron en los apartados de *Apatlaco* y *Cuernanco*.

### AMBOS CANALES

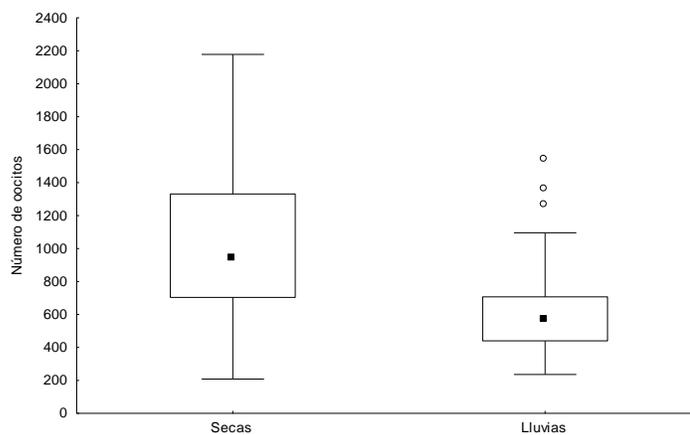
Respecto al crecimiento de los machos durante la época de secas se registró alometría positiva ( $b = 3.182$ ), mientras que en lluvias se reportó alometría negativa ( $b = 2.812$ ) (Figura 17).



**Figura 17.- Relación peso - longitud de machos por temporada**

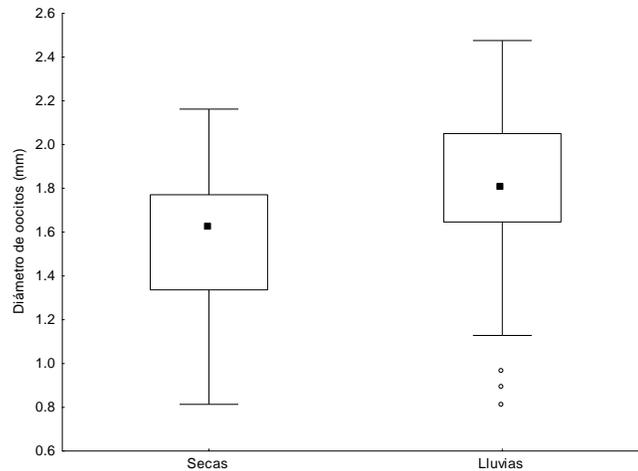
La proporción sexual no se modificó sustancialmente en el análisis por temporada, ya que las hembras fueron mayoría tanto en secas (1 : 1.53) como en lluvias (1 : 2).

El número de ovocitos fue significativamente mayor durante la temporada de secas ( $U = 995$ ,  $p < 0.001$ ) (Figura 18). Durante esta temporada el rango de oocitos fue de 208 a 2178, con un promedio de  $1004.81 \pm 464.97$ , mientras que en lluvias fue de 236 a 1542, con un promedio de  $622.85 \pm 273.80$ .



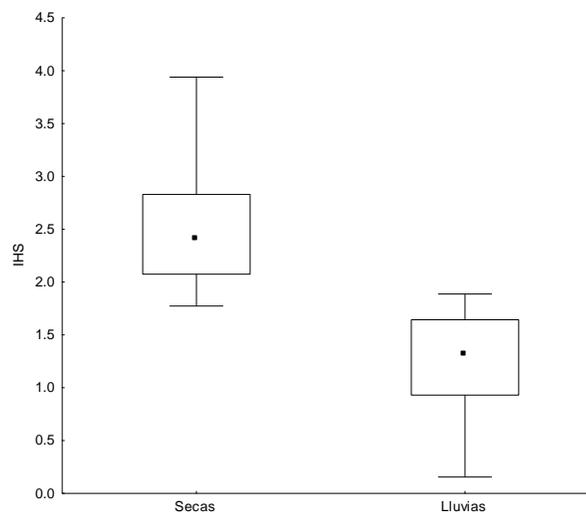
**Figura 18.- Número de oocitos por temporada**

Respecto al diámetro de los oocitos se encontró que en temporada de lluvias fue significativamente mayor que en secas ( $U = 980$ ,  $p < 0.01$ ) (Figura 19). Durante lluvias se registraron valores de 0.913 - 2.501 mm con un promedio de  $1.861 \pm 0.344$  mm, mientras que en secas el rango fue de 0.813 a 2.162 mm, con un promedio de  $1.551 \pm 0.300$  mm



**Figura 19.- Diámetro (mm) de oocitos por temporada**

El IHS mostró diferencias significativas entre temporadas ( $U = 1607$ ,  $p < 0.05$ ). Durante la época de secas el IHS promedio fue de 2.519, mientras que en lluvias fue de 1.378 (Figura 20).



**Figura 20.- Índice Hepatosomático por temporada**

## APATLACO

Respecto al crecimiento de las hembras, en temporada de secas se registró isometría ( $b = 3.167$ ). Sin embargo, durante la temporada de lluvias el crecimiento fue alométrico negativo ( $b = 2.455$ ) (Figura 21).

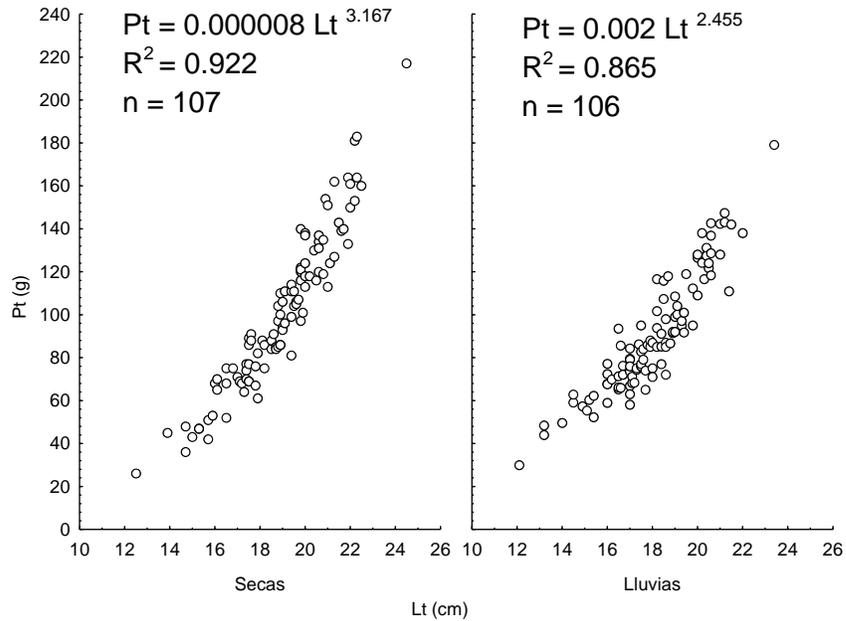


Figura 21.- Relación peso-longitud para hembras de Apatlaco por temporada.

El IGS de hembras y machos no mostró diferencias significativas por temporada (hembras  $U = 522$ ,  $p = 0.149$ ; machos  $U = 1333$ ,  $p = 0.517$ ) (Figura 22). Para las hembras el IGS promedio en la época de secas fue de 2.248, mientras que en la época de lluvias fue de 2.318. En el caso de los machos, el IGS promedio en secas fue de 0.267 y en lluvias de 0.244.

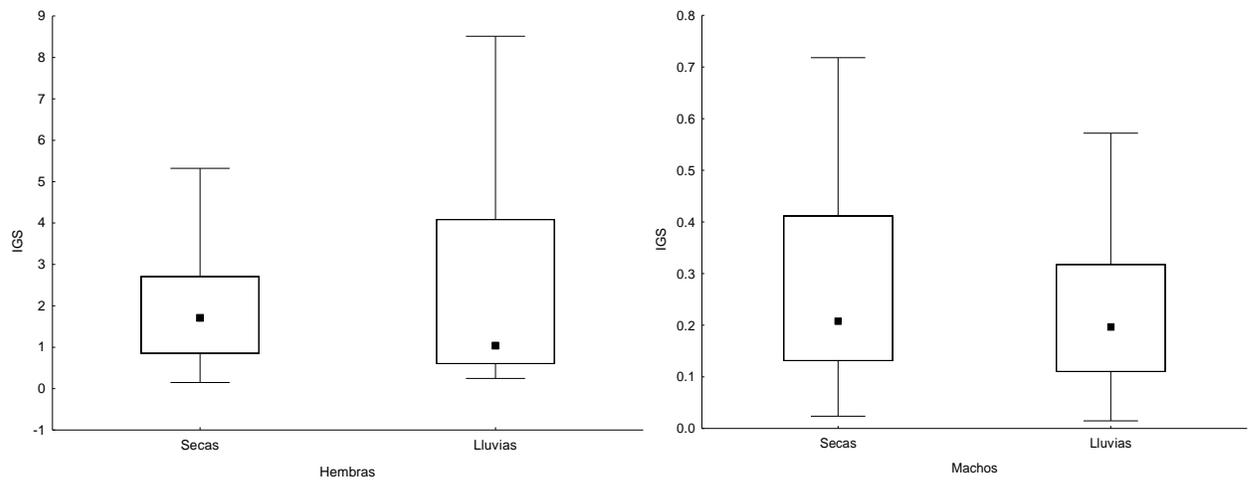


Figura 22.- IGS de hembras y machos de Apatlaco por temporada.

**CUEMANCO**

Respecto al crecimiento de las hembras, se registró isometría tanto en temporada de secas ( $b = 3.297$ ) como de lluvias ( $b = 2.904$ ) (Figura 23).

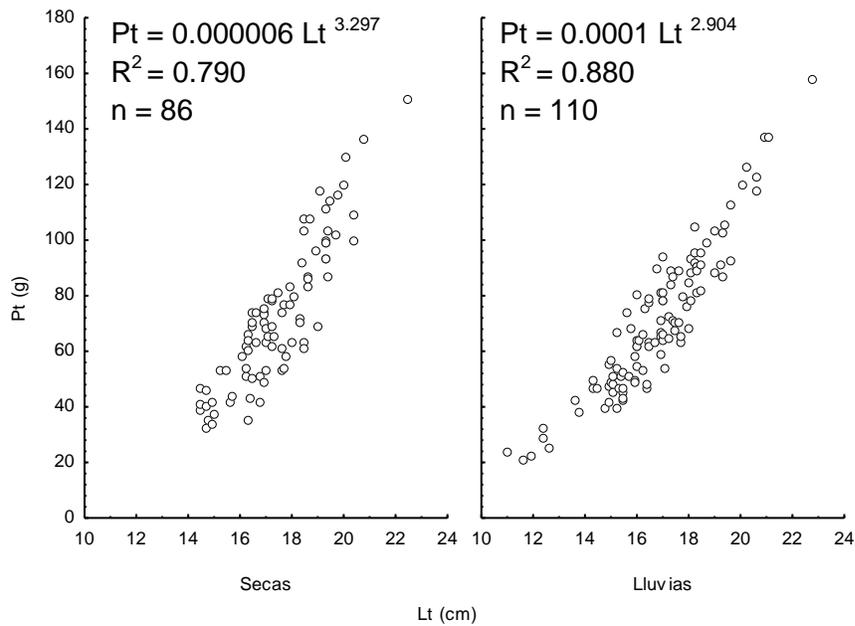
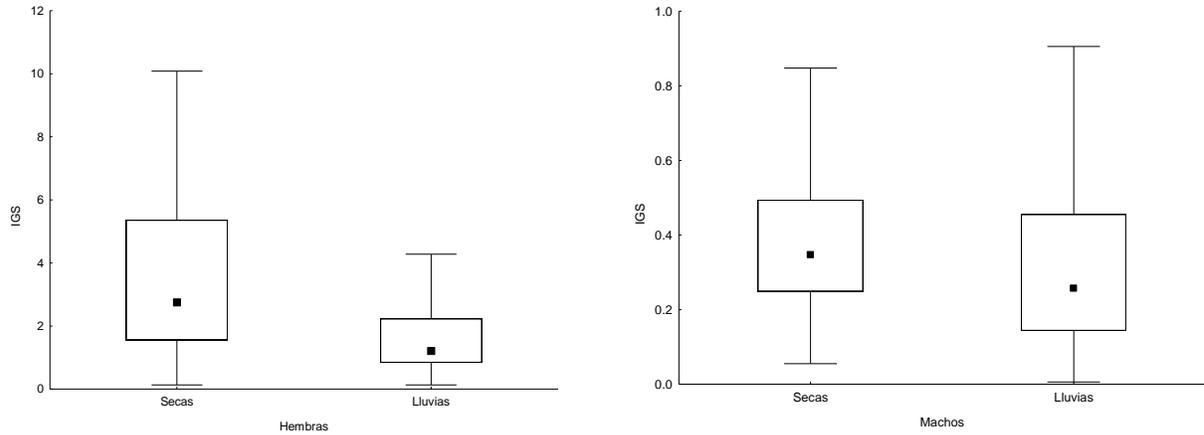


Figura 23.- Relación peso-longitud para hembras de Cuemanco por temporada.

El IGS de machos y hembras fue significativamente mayor (machos  $U = 1458$ ,  $p = 0.039$ ; hembras  $U = 2687$ ,  $p < 0.01$ ) en la temporada de secas. (Figura 24). En el caso de los primeros, el IGS fue de 0.392 en la época de secas, en tanto que en lluvias fue de 0.405. Para las hembras el IGS durante secas fue de 3.82, mientras que en lluvias fue de 1.865.



**Figura 24.- IGS de hembras y machos de Cuemanco por temporada.**

## DISCUSIÓN

La proporción sexual de las poblaciones de *Oreochromis niloticus* suele estar dominada por machos (Flyer e Iles 1972; Gómez-Márquez *et al.*, 2003; Njiru *et al.*, 2006; Arawomo y Komolafe, 2007; Sastré-Báez, 2008; Shalloof y Salama, 2008; Aguilar, 2011). Sin embargo, en el Sistema Lacustre de Xochimilco las poblaciones de tilapia nilotica están conformadas, en su mayoría, por hembras. Aun cuando se considera que la mayor abundancia de los machos es producto de su acelerada tasa de crecimiento (Flyer e Iles, 1972), en este trabajo se observó que las hembras dominaron incluso cuando los machos tuvieron tasas de crecimiento de igual o mayor magnitud.

Como la determinación del sexo en *Oreochromis niloticus* tiene una base genética y ambiental (Mair *et al.*, 1991; Baroiller *et al.*, 2005), en el humedal de Xochimilco la presencia mayoritaria de hembras puede favorecerse debido a la influencia de las condiciones abióticas del sistema sobre las rutas de determinación sexual de la especie. En particular, la temperatura tiene un papel esencial (Abucay *et al.*, 1999; Baroiller *et al.*, 1995), ya que al incrementarse se modifica la estructura o acción de las hormonas durante la gonadogénesis (Hunter y Donaldson, 1983). Esto genera alteraciones en las proporciones sexuales que pueden favorecer a algún sexo en particular, en función del genotipo de los progenitores (Abucay *et al.*, 1999; Baroiller *et al.*, 1995) o de los compuestos químicos presentes en los cuerpos de agua (Goksoyr *et al.*, 2003). Por ejemplo, aunque las hembras son homogaméticas (XX) y los machos heterogaméticos (XY), la exposición de las larvas a xenoestrógenos puede generar la feminización funcional de los machos, lo que eventualmente daría como resultado una población compuesta mayoritariamente por hembras fenotípicas (Goksoyr *et al.*, 2003).

El crecimiento somático está limitado al crecimiento de las gónadas (Wootton, 1991; Duponchelle y Panfili, 1998; Gómez-Márquez *et al.*, 2003). No obstante, esta restricción es diferente entre sexos (Gómez-Márquez *et al.*, 2003) debido a que las hembras dedican mayor cantidad de recursos energéticos al desarrollo gonadal (Wootton, 1991). De ahí que el empobrecimiento de la condición somática en la temporada reproductiva se acentúe en el caso de las hembras (Salgado-Ugarte, 1995). Si bien en este trabajo las hembras presentaron, en la mayoría de los casos, patrones de crecimiento inferiores a los identificados en los machos, su talla de madurez sexual fue menor (Sastré-Báez, 2008; Shalloof y Salama, 2008). Otra de las consecuencias de la asignación diferencial de recursos energéticos dirigidos hacia la reproducción (Gómez-Márquez *et al.*, 2003) es que las hembras de *Oreochromis niloticus* tienen IGS mayores que los machos (Gómez-Márquez *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2005; Sastré Báez, 2008; Shalloof y Salama, 2008; Aguilar, 2011). En este

trabajo la desigualdad del IGS entre sexos se mantuvo constante a lo largo del año. Las explicaciones para esta situación involucran el aspecto demográfico, ya que al encontrarse hembras reproductoras durante todo el año, a diferencia de lo ocurrido con los machos, el IGS presentó su mayor magnitud debido a que el desarrollo gonádico afecta directamente el peso gonadal (Wootton, 1991; Arawomo y Komolafe, 2007).

En el humedal de Xochimilco se encontraron oocitos maduros durante todo el año de muestreo, lo que indica que la temporada de reproducción tiene el potencial de ser extensiva (Naylor *et al.*, 2000; Peterson *et al.*, 2004; Lemma, 2012). Si bien la frecuencia de desove es corta, la provisión de oocitos puede mantenerse a lo largo del año debido a que su desarrollo es asincrónico (Peters, 1963; Arawomo y Komolafe, 2007; Lapeyre, 2007; Peña *et al.*, 2010). Esta condición de desovante múltiple que presenta *Oreochromis niloticus* le provee ventajas reproductivas en hábitats altamente perturbados como Xochimilco, ya que contrarresta el estrés ambiental al que se encuentran sometidas sus poblaciones (Njiru *et al.*, 2006; Sandoval 2008; Contreras, 2012).

El número de oocitos es variable entre las distintas poblaciones de *Oreochromis niloticus* (Fryer e Iles, 1972; Lowe-McConnell, 1982), aunque la especie se caracteriza por tener baja fecundidad (Coward y Bromage, 2000; Turner y Robinson, 2000 en Peterson *et al.*, 2004) debido al tipo de cuidado parental que presenta (Pandian, 2010). En Xochimilco el número de oocitos encontrados es menor que lo reportado en cuerpos de agua africanos (Duponchelle y Legendre, 2000; Njiru *et al.*, 2006), aunque supera lo registrado en otros sitios de México (Gómez-Márquez, 2002; Aguilar, 2011; García, 2011). La tilapia nilotica presenta tales variaciones debido a que el número de oocitos depende de factores como el peso de las hembras (Peters, 1963; Peterson *et al.*, 2004; Pandian, 2010), el número de oocitos por desove, el número de desoves (Bagenal, 1978; Wootton, 1979) y su peso promedio (Peters, 1963), así como de las condiciones alimentarias (Alarcón *et al.*, 1999).

El diámetro de los oocitos registrado en este trabajo presentó rangos amplios, al igual que se ha reportado en otros análisis (Gómez-Márquez, 2002; Arawomo y Komolafe, 2007; Aguilar, 2011; García, 2011). Debido a que el desarrollo gonadal de la tilapia nilotica es asincrónico, es decir, el ovario presenta en un momento determinado óvulos en distintos estadios de desarrollo (Peters, 1963; Arawomo y Komolafe, 2007; Lapeyre, 2007; Peña *et al.*, 2010). Si bien los diámetros máximos que se han presentado en cuerpos de agua de África (Arawomo y Komolafe, 2007) y México (Gómez-Márquez, 2002; Aguilar, 2011; García, 2011) rebasan lo registrado en Xochimilco, no se encontraron análisis que mostraran diámetros de menores dimensiones a los reportados en este trabajo. La reducción en el tamaño de los oocitos puede

ser resultado de las condiciones ambientales del ecosistema, ya que una de las consecuencias reproductivas de la contaminación es que las dimensiones de estas estructuras decrezcan significativamente (Janz *et al.*, 1997).

### **CARACTERÍSTICAS DE REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DE LA TILAPIA NILOTICA EN XOCHIMILCO**

El Sistema Lacustre de Xochimilco presenta condiciones fisicoquímicas y bióticas heterogéneas (Sandoval 2008; Contreras, 2012) que influyen en la biología reproductiva de los organismos (Wootton, 1991; Peña *et al.*, 2010). Incluso cuando se trata de una misma especie, las diferencias bióticas y ambientales pueden generar patrones de crecimiento distintos en poblaciones de áreas diferentes (Peña *et al.*, 2010). En el presente análisis se encontró que *Oreochromis niloticus* presenta patrones distintos de crecimiento y esfuerzo reproductivo entre los canales estudiados.

En los peces el crecimiento presenta amplia flexibilidad entre poblaciones de una misma especie (Wootton, 1991). Incluso a nivel individual se presentan tasas de crecimiento distintas en las diferentes fases del ciclo de vida, ya que el crecimiento disminuye gradualmente con la edad (Ware, 1982; Smith *et al.*, 1991). Además de factores endógenos como la edad, el crecimiento también está determinado por elementos exógenos como la temperatura, disponibilidad de alimento, y actividad reproductiva (Wootton, 1991). En el humedal de Xochimilco se encontraron dos tipos de crecimiento: alométrico negativo e isométrico. Los machos y las hembras de Cuemanco presentaron crecimiento isométrico, mientras que las hembras de Apatlaco tuvieron alometría negativa. Aun cuando este crecimiento es común en las especies del género *Oreochromis*, indica que los organismos no están alimentados de forma adecuada, ya que el crecimiento alométrico negativo se atribuye principalmente a problemas en el recurso alimentario y densidad de peces en el agua (Morales, 2003; Sastré-Báez, 2008; Peña *et al.*, 2010). Por su parte, la isometría representa el crecimiento proporcional en talla y peso (Ricker, 1975; Csirke, 1989), por lo que las fluctuaciones bióticas y abióticas estacionales afectan de igual forma a ambos ejes de crecimiento (Mancini, 2002).

La talla de primera madurez está influenciada por diversos factores como el tamaño y edad de los peces (Smith *et al.*, 1991), así como por las condiciones ambientales en que se encuentren (Fryer e Iles, 1972; Lowe-McConnell, 1982; Stewart, 1988). En el humedal de Xochimilco los peces presentan salud deteriorada (Contreras, 2012), por lo que podría pensarse que la talla de primera madurez fuera menor en comparación con lo registrado en otros cuerpos de agua, ya que esta talla se acorta en condiciones ambientales no favorables (Fryer e Iles, 1972; Lowe-McConnell, 1982; Stewart, 1988). Sin embargo, en un sistema

hipereutrofizado como Xochimilco (Zambrano *et al.*, 2009; Villegas, 2011; Contreras, 2012) resulta contrastante que la talla de primera madurez sea mayor que lo reportado en cuerpos de agua con condiciones ambientales menos deterioradas que Xochimilco (Sastré-Báez, 2008; Gómez-Márquez *et al.*, 2009; Aguilar, 2011; Rivera-Cervantes y Hernández-González, 2011). No obstante, esta situación puede generarse a causa de la implementación de medidas de extracción pesquera de distinta intensidad, ya que se ha reportado que la talla de primera madurez puede reducirse a causa de la sobrepesca (Gwahaba, 1973; Belk, 1995).

El hígado es un órgano que tiene alta sensibilidad a la tasa de alimentación en períodos cortos de tiempo (Novinger, 1973; Tyler y Dunn, 1976), por lo que la abundancia y calidad del recurso alimentario al que tienen acceso los peces se pueden conocer mediante el IHS (McKaye, 1977; Burns, 1985). En Xochimilco se encontró que el IHS no presenta diferencias significativas entre los canales estudiados. Esta semejanza de almacenamiento energético puede tener consecuencias en la época reproductiva, debido a la importancia del hígado en la síntesis de los precursores del vitelo presente en los oocitos (Wootton, 1991; Cornysh y Smith, 1995; Rosales, 1997; Martínez y Figueras, 2007). Sin embargo, en Apatlaco estos recursos energéticos parecen no estar siendo destinados a la reproducción, ya que el IGS de las hembras es significativamente menor a lo encontrado en Cuemanco (Espinoza *et al.*, 2009). Si bien las reservas energéticas producidas en el hígado suelen traducirse en incremento del peso gonadal (Wootton, 1991; Cornysh y Smith, 1995; Rosales, 1997; Martínez y Figueras, 2007), también pueden destinarse a la automantenimiento de las hembras para la época de desove e incubación embrionaria (Getinet y Amrit, 2007; Sastré-Báez, 2008). No obstante, se ha observado que los peces de lugares contaminados almacenan más glicógeno en el hígado lo que, aunado a una dieta deficitaria de ácidos grasos esenciales, puede provocar la inflamación del hígado y, con ello, IHS de mayor magnitud (Castelló, 1993).

Aun cuando el IGS entre Apatlaco y Cuemanco fue significativamente distinto, en ambos canales se encontraron ciclos reproductivos con picos bianuales, tal como se ha encontrado para *Oreochromis niloticus* en otros cuerpos de agua (Stewart, 1988; Zenebe 1988; Admassu, 1996; Peterson *et al.*, 2004; Njiru *et al.*, 2006; Lemma, 2012). Como los valores máximos del IGS se registraron durante época de secas y lluvias se puede corroborar, junto con la presencia de oocitos maduros durante ambas temporadas, que *Oreochromis niloticus* tiene el potencial de reproducirse a lo largo del año y que presenta un ciclo reproductivo extensivo (Morales, 1991; Gómez-Márquez *et al.*, 2003).

La contaminación del Sistema Lacustre de Xochimilco ejerce un fuerte estrés ambiental sobre la biología de *Oreochromis niloticus*, que genera modificaciones en la población que van

desde proporciones sexuales que favorecen el número de hembras, hasta implicaciones en la fecundidad, debido a la reducción del tamaño de los oocitos. Con respecto a la talla de primera madurez sexual, se encontró que aunque es mayor que lo registrado en cuerpos de agua menos perturbados que Xochimilco, esto puede ser resultado de que la intensidad de pesca en este humedal es menos intensiva. Si bien este ecosistema se encuentra sumamente perturbado, sus canales son biótica y abióticamente heterogéneos, por lo que parámetros como el gonadal muestra diferencias significativas que producen dinámicas de reproducción distintas entre los canales estudiados.

### **TEMPORALIDAD**

La fluctuación temporal de las condiciones ambientales estuvo asociada a cambios en los indicadores reproductivos usados en este estudio. La temporada de lluvias representa una señal de intensificación reproductiva para la tilapia (Admassu, 1996), debido probablemente al aumento de temperatura (Burns, 1985), ascenso en el nivel del agua e intensificación lumínica (Fryer e Iles, 1972; Jalabert y Zohar, 1982; Lowe-McConnell, 1982), así como por el incremento en la abundancia de fitoplancton (McKaye, 1977; Burns, 1985; Admassu, 1996).

La proporción sexual no presentó diferencias significativas por temporada, a diferencia de lo que se ha encontrado en otros cuerpos de agua, en los que el número de machos se incrementa en la época de desove, debido a la migración diferencial que presenta la tilapia nilótica (Lowe-McConnell, 1958; Rinne y Wanjala, 1982; Shalloof y Salama, 2008). Sin embargo, lo que podría estar ocurriendo en el humedal de Xochimilco es que el efecto estacional de la proporción sexual puede verse disminuido a causa de la presunta feminización de los machos (Goksoyr *et al.*, 2003) o porque la estacionalidad no es lo suficientemente acentuada como para ejercer un efecto significativo sobre dicha proporción.

Los oocitos presentaron diámetros mayores durante la temporada de lluvias, lo cual puede estar relacionado con el incremento de fitoplancton (McKaye, 1977; Burns, 1985; Admassu, 1996). Debido a que el diámetro de los oocitos está parcialmente determinado por la abundancia y el contenido nutricional de los recursos alimentarios (McKaye, 1977; Burns, 1985; Espinoza *et al.*, 2009), el incremento en la abundancia y composición de especies planctónicas que se registra en la época de lluvias (Chua, 1970 a) incide de forma positiva en el diámetro de estas estructuras. De igual forma, el incremento en las dimensiones de los oocitos puede traducirse en mayores tasas de supervivencia de los organismos juveniles, ya que el tamaño del huevo y la larva están correlacionados positivamente (Ware, 1975b). Por ello, se considera que el aumento del diámetro de los huevos representa uno de los

mecanismos de maximización reproductiva de la tilapia nilotica (Ware, 1975b; Charlesworth y Leon, 1976; Stearns, 1976).

Con respecto al número de oocitos, se observó que es significativamente mayor en la temporada de secas y que tiene una relación inversa con respecto al diámetro (Peters, 1963; Pandian, 2010). No obstante, ambos mecanismos maximizan el éxito reproductivo de la tilapia (Ware, 1975b; Charlesworth y Leon, 1976; Stearns, 1976) de forma alternada con base en la temporalidad. Esto sugiere que la especie tiene dos estrategias distintas en respuesta a las condiciones ambientales y sincroniza su fisiología reproductiva de acuerdo a éstas (Burns, 1985; Wootton, 1991), dando como resultado el incremento en la supervivencia de la progenie (Ware, 1975b).

El IHS registrado en el Sistema Lacustre de Xochimilco fue significativamente menor durante la época de lluvias, aun cuando el valor máximo se presentó en este período. Si bien podríamos haber esperado que el IHS aumentara significativamente durante esta temporada, debido a que se incrementa la cantidad de alimento (McKaye, 1977; Burns, 1985; Admassu, 1996), se registró una disminución en este parámetro. El decrecimiento tan acentuado que presentó el IHS pudo haberse generado debido a la mayor intensificación de desove durante la temporada de lluvias (Fryer e Iles, 1972; McKaye, 1977; Jalabert y Zohar, 1982; Lowe-McConnel, 1982; Burns, 1985; Admassu, 1996; Shalloof y Salama, 2008). De igual forma, la temporalidad del IHS indica que durante la época de secas aumentan las reservas de carbohidratos, lípidos y proteínas (McKaye, 1977; Wootton, 1979; Burns, 1985; Espinoza *et al.*, 2009) que se traducen en el vitelo de los ovocitos (Wootton, 1991; Cornysh y Smith, 1995; Rosales, 1997; Martínez y Figueras, 2007).

Por su parte, el IGS de machos y hembras en Apatlaco no mostró diferencias significativas por temporada, por lo que en este canal el desove es constante a lo largo del año. Si bien la temporada de lluvias presenta condiciones ambientales más favorables para la reproducción (Fryer e Iles, 1972; McKaye, 1977; Jalabert y Zohar, 1982; Lowe-McConnel, 1982; Burns, 1985; Admassu, 1996; Shalloof y Salama, 2008), no se observó que se intensificara el esfuerzo reproductivo de machos ni de hembras, por lo que la fluctuación de las condiciones fisicoquímicas del agua y recursos alimentarios no es suficientemente marcada entre temporadas como para influir en los hábitos reproductivos de la especie.

En Cuemanco el IGS fue significativamente menor en la temporada de lluvias, lo que indica que en esta época el desove se intensifica (Admassu, 1996; Peterson *et al.*, 2004; Lemma, 2012). La temporalidad del IGS en Cuemanco se puede corroborar con la que presenta el canal con respecto al IHS. Basado en ambos indicadores se puede confirmar que la época de

mayor intensidad reproductiva se da en lluvias, debido a la estacionalidad fisicoquímica y alimentaria del canal.

## **CONCLUSIONES**

En el Sistema Lacustre de Xochimilco *Oreochromis niloticus* tiene el potencial de reproducirse a lo largo de todo el año, aunque presenta períodos estacionales de intensificación reproductiva durante la temporada de lluvias. La heterogeneidad fisicoquímica y biótica presente en los canales de Xochimilco genera poblaciones distintas de tilapia nilotica, ya que genera que los peces presenten patrones de crecimiento y reproducción diferentes, en función al canal analizado. La contaminación de este cuerpo de agua ejerce un fuerte estrés ambiental sobre la población de *O. niloticus*, ya que parece modificar los patrones comunes de proporción sexual debido a que se favorece el número de hembras y puede reducir la fecundidad, en tanto el tamaño de los oocitos se encuentra por debajo de lo reportado en otros cuerpos de agua.

## REFERENCIAS

- Abucay, J., G. Mair, D. Skibinski y J. Beardmore. 1999. Environmental sex determination: the effect of temperature and salinity on sex ratio in *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture*, **173**: 219-234.
- Admassu, D. 1996. The Breeding Season of Tilapia, *Oreochromis niloticus* L. in Lake Awassa (Ethiopian Rift Valley). *Hydrobiology* **337**: 77-83.
- Aguilar, E. 2011. Algunos aspectos reproductivos de la tilapia en el Bordo Amate Amarillo, Morelos. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Alarcón, R., D. Bucarey, M. Canales, L. Cubillos y A. Rojas. 1999. Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el periodo 1993-1997, en la zona centro-sur de Chile. *Investigaciones Marinas*, **27**: 73-85.
- Arawomo, G.A.O, y O.O. Komolafe. 2007. Reproductive Biology of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in Opa Reservoir Ile-Ife, Nigeria. *Biología Tropical*, **55**: 959-602.
- Arredondo-Figueroa, J.L. y S. Lozano-García. 1996. El cultivo de la tilapia en México. Primer curso internacional de producción de tilapia. Pp.6-18.
- Arthington, A. y D. Blühdorn. 1994. Distribution, genetics, ecology and status of the introduced cichlid, *Oreochromis mossambicus*, in Australia. En: *Inland Waters of Tropical Asia and Australia: Conservation and Management*, D. Dudgeon y P. Lam (eds). *Mitteilungen, Societas Internationalis Limnologiae*: 53–62.
- Bagenal, T. 1978. Aspects of fish fecundity: En: *Ecology of freshwater fish production*, D. Shelby (ed.), Blackwell Scientific Publication. Oxford, Londres.
- Baggerman, D. 1980. Photoperiodic responses in the stickleback and their control by a daily rhythm of photosensitivity. *Gen. Comp. Endocrinol., Supp.* 3, 466 – 476.
- Baroiller, J., D. Chourrout, A. Fostier y B. Jalabert. 1995. Temperature and Sex Chromosome Govern Sex Ratios of the Mouthbrooding Cichlid Fish *Oreochromis niloticus*. *The Journal of Experimental Zoology*, **273**: 216-223.
- Balarin, J.D. y R.D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. En: Muir, J.F. y R.J. Roberts (eds) *Recent Advances in Aquaculture*. Croom Helm, Londres y Canberra, y Westview Press, Boulder, Colorado, Pp. 267-355.

- Balarin, J. y J. Hatton. 1979. Tilapia: A Guide to their Biology and Culture in Africa. Universidad de Stirling, Escocia.
- Basurto, M. 1995. Algunos aspectos reproductivos de la tilapia *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Chila, Veracruz. *Biotam* **6**: 32-41.
- Belk, M. 1995. Variation in Growth and Age at Maturity in bluegill sunfish: genetic or environmental effects? *Fish Biology*, **47**: 237-247.
- Billard, R. y B. Breton. 1978. Rhythms of Reproduction in Teleost Fish. En J. Thorpe (ed.), *Rhythmic Activities of Fishes*. Prensa Académica, Londres: 31-53.
- Burns, J.R. 1985 The effect of low latitude photoperiods on the reproduction of female and male *Poeciliopsis gracillis* and *Poecillia sphenops*. *Copeia* **4**: 961-965.
- Canonico, G., A. Arthington, J. McCray y M. Thieme. 2005. The Effects of Introduced Tilapias on Native Biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **15**: 463-483.
- Castelló, F. 1993. Acuicultura marina: Fundamentos biológicos y tecnología de la producción. Universidad de Barcelona, España.
- Cerna, J y C. Oyarzún. 1998. Talla de primera madurez sexual y fecundidad parcial de la merluza común (*Merluccius gayi*, Guichenot 1848) del área de la pesquería industrial de la zona de Talcahuano, Chile. *Investigaciones Marinas*, **26**: 31-40.
- Charlesworth, B. y J. Leon. 1976. The relation of Reproductive Effort to Age. *Am. Nat.* **110**: 449-459.
- Chen, F. 1969. Preliminary studies on the sex determining mechanism of *Tilapia mossambica* Peters and *T. hornorum* Trewavas. *Verh Int Ver Theor Angew Limnol* **17**:719-724.
- Chervinski, J. 1982. Environmental Physiology of tilapias. En: Pullin, R.V.S. y R.H. Lowe-McConnell (eds) *The Biology and Culture of Tilapias*. ICLARM Conference Proceedings N°7, ICLARM, Manila, Filipinas, Pp. 119-128.
- Chimits, P. 1955. Tilapia and its culture. A second review and bibliography. *Fisheries Bulletin*, FAO, , Roma, Italia, **10**: 1-24.

- Chua, T. 1970a. A preliminary study of the plankton of Ponggol estuary. *Hydrobiologia* **35**: 254 – 272.
- Ciruna, K, L Meyerson y A Gutiérrez. 2004. The ecological and socio-economic impacts of invasive alien species in inland water ecosystems. Report to the Conservation on Biological Diversity on behalf of the Global Invasive Species Program, Washington DC.
- Contreras, V. 2012. Variables bióticas y abióticas como indicadores de heterogeneidad en el Lago de Xochimilco, Distrito Federal. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Cornysh A. y G. Smit. 1995. The correlation between environmental factors and the reproduction of *Oreochromis mossambicus*. *Water SA*, **21**: 259–263.
- Cortés-Orellana, H. A. 2010. Interacción de depredación entre el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y el acocil (*Cambarellus montezumae*) especies nativas de Xochimilco. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Courtenay, W. R. 1997. Tilapias as non-indigenous species in the Americas: environmental, regulatory and legal issues, p. 18–33. En: *Tilapia aquaculture in the Americas*. Vol. 1, B. Costa-Pierce y J. E. Rakocy (eds.). World Aquaculture Society, Baton Rouge.
- Coward, K. y N. Bromage. 2000. Reproductive physiology of female tilapia broodstock. *Rev. Fish Biol. Fish* **10**:1–25.
- Csirke, B. 1989, Introducción a la dinámica de poblaciones de peces, FAO, *Doc. Tec. Pesca*, (192): 82 p
- Dadzie, S., F. Abou-Seedo, F. y J. Manyala. 2000. Length weight relationship and condition factor of *Pampus argentus* (Euphrasen 1788) in Kuwait waters. *Kuwait J. Sci. Engin.* **26**: 123–136.
- Dagne, A., F Degefu y A. Lakew. 2013. Comparative Growth Performance of Mono-Sex and Mixed-sex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in Pond Culture System at Sebeta, Ethiopian. *International Journal of Aquaculture* **7**: 30-34.
- Daniel, W.W. 1997. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. 3ª Ed, Limusa, México, Pág. 878.
- De Vlaming, V., G. Grossman y F. Chapman. 1982. On the use the gonosomatic index. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol 73 A, **1**: 31-39.

- Dempster, P., M. Beveridge, y D. Baird. 1993. Herbivory in the tilapia *Oreochromis niloticus*: a comparison of feeding rates on phytoplankton and periphyton. *J. Fish Biol* **43**: 385–392.
- Duponchelle, F. y M. Legendre. 2000. *Oreochromis niloticus* (Cichlidae) in Lake Ayame, Côte d'Ivoire: life history traits of a strongly diminished population. *Cybium*, **24**: 161-172.
- Duponchelle, F. y J. Panfili. 1998. Variations in size and age at maturity of female Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, populations from man-made lakes of Côte d'Ivoire. *Environmental Biology of Fishes*, **52**:453-465.
- El-Sayed, A.F.M. 2006. Tilapia Culture. CABI Publishers, Wallingford, Oxfordshire, Reino Unido.
- Espinoza, C., V. Vera, A. Perea, B. Buitrón,, P. Rojas y O. Sigurd. 2009. Efecto de la ración alimenticia sobre la maduración gonadal y acumulación de grasa de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842) en cautiverio. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* **37**: 181-190.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. *FishstatPlus*. FAO, Roma.
- Figueredo, C., y A. Giani. 2005. Ecological interactions between Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) and the phytoplanktonic community of the Furnas Reservoir (Brazil). *Freshwater Biology*, **50**: 1391-1403.
- Fryer, G. y T. Iles. 1972. The Cichlid Fishes of the Great Lakes of Africa. Their Biology and Evolution. Oliver and Boyd, Edimburgo.
- Galicia, X. 1976. Crecimiento del "Camarón Azul" (*Penaeus stylirostris*) y "Camarón Café" (*Penaeus californiensis*) en la zona de Puerto Peñasco S. I. C., S. P., I. N. P. Son. *Mem. Simp. Biol. Dinam. Pobl.* Guaymas, México, Pp. 189-210.
- García, M. 2011. Reproducción de *Oreochromis niloticus* en el bordo "la palapa", Morelos, Méx. Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Getinet, G. y N. Amrit. 2007. Characterization and comparison of variations in reproductive performance of Chitralada strain Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research* **38**: 1066-1073.

- Gobierno del Distrito Federal. 2006. Programa de manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
- Goksoyr, A., A. Aukwe, J. Larsson, M. Cajaraville, L. Hauser, B. Nilsen, D. Lowe y P. Matthiessen. 2003. Molecular/Cellular Processes and the Impact on Reproduction. En: *Effects of Pollution on Fish. Molecular Effects and Population Responses*, Lawrence, J. y K. Hemingway (eds). Blackwell Publishing, Reino Unido.
- Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza, L. H. Salgado-Ugarte y M. Guzmán-Arroyo. 2003. Reproductive aspects of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) of Coatetelco lake, Morelos, México. *Biología Tropical*, 51 (1): 221-228.
- Gómez-Márquez, J. 2002. Estudio limnológico pesquero del lago Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Goudswaard, P., F Witte y E Katunzi. 2002. The tilapiine fish stock of Lake Victoria before and after the Nile perch upsurge. *Journal of Fish Biology*, **60**: 838-856.
- Gwahaba, J.J. 1973. Effects of overfishing on *Tilapia nilotica* populations of Lake George, Uganda, over the past 20 years. *East African Wildlife Journal*, **11**: 317-328.
- Hanson, P., H. von-Westernhagen y H. Rosenthal. 1985. Chlorinated hydrocarbons and hatching success in Baltic herring spring spawners. *Marine Environmental Research*, **15**: 59-76.
- Holden, M. y D. Raitt. 1975. Manual de ciencia pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación. *Doc. Tec. FAO. Pesca. (115) Rev. 1*: 211.
- Hunter, G. y E. Donaldson. 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. En: *Fish Physiology*, IX B, Hoar, W., D. Randall y E. Donaldson (eds.), Academic Press, Nueva York
- Hyder, M. 1970 Gonadal and reproductive patterns in *Tilapia leucosticta* (Teleostei: Cichlidae) in an equatorial lake. Lake Naivasha, Kenya. *J. Zool., Lond.*, **162**:179-95.
- INECOL. 2002. Informe Final. Programa rector de restauración ecológica área natural protegida zona sujeta a Conservación ecológica 'Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. México.

- Jalabert, B. y Y. Zohar. 1982. Reproductive Physiology of Cichlid Fishes, with Particular Reference to *Tilapia* and *Sarotherodon*. En R. Pullin y R. Lowe-McConnell (eds.), *The Biology and Culture of Tilapias*. Actas de la Conferencia ICLARM, Filipinas: 129-140.
- Janz, D., M. McMaster, K. Munkittrick y G. van der Kraak. 1997. Elevated ovarian follicular apoptosis and heat shock protein 70 expression in white sucker exposed to bleached kraft pulp mill effluent. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **147**: 391–398.
- Jennings, D.P. 1991. Behavioural aspects of cold tolerance in blackchin tilapia, *Sarotherodon melanotheron*, at different salinities. *Environmental Biology of Fishes* **31**: 185-195.
- Jiménez, J., T. Rojas-Rabiela y A. Gómez-Pompa. 1995. Conclusiones y recomendaciones del Taller. En: Rojas-Rabiela T (ed), *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas*. México, DF. Pp 19 – 43.
- Jobling, J. 1993. Bioenergetics: feed intake and energy partitioning. En: Rankin, J. y F. Jensen (eds). *Fish Ecophysiology*, Chapman and Hall, Londres.
- King, M. 1995. Fisheries Biology, Assessment and Management. 2ª ed., Blackwell Publishing, Reino Unido.
- Komárková J. 1998. Fish stock as a variable modifying trophic pattern of phytoplankton. *Hydrobiologia*, **369 / 370**: 139-152.
- Lam, T. 1983. Environmental influences on gonadal activity in fish. En: *Fish Physiology*, Vol. 9 B. Hoar, W., D. Randall y E. Donaldson (eds.), Academic Press, Nueva York.
- Lapeyre, B. 2007. Control of Reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by manipulation of environmental factors. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Gottingen, Alemania.
- LeCren, E. 1951. The length weight relationship and season cycle in gonad weight and condition in Perch (*Perca fluviatilis*). *J. Anim. Ecol.* **20**: 179–219.
- Lemma, A. 2012. Breeding Season and Condition Factor of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) in Lake Babogaya, Ethiopia. *International Journal of Agricultural Sciences*, **3**: 116-120.
- Lowe - McConnell, R. 2000. The role of tilapias in Ecosystems. En: Beveridge, M.C.M. y B.J. McAndrew (eds) *Tilapias: Biology and Exploitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/Londres, Pp. 129-162.

- Lowe-McConnell, R. 1982. Tilapias in fish communities. En: *The Biology and Culture of Tilapias*, Pullin, R. y R. Lowe-McConnell (eds). ICLARM Conference Proceedings N° 7, ICLARM, Manila, Filipinas, Pp.83 – 113.
- Lowe-McConnell, R.H. 1958. Observations in Biology of *Tilapia nilotica* L. in East African waters. *Revue de Zoologie et de Botanique Africaines*, **57**: 129-170.
- Mair, G., A. Scott, D. Penman, . Beardmore y D. Skibinski. 1991. Sex determination in the genus *Oreochromis*. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus* (L.). *Theoretical and Applied Genetics*, **82**: 144 – 152.
- Mancini, M. 2002. Introducción a la biología de peces. Cursos de Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, UNRC, Argentina.
- Martínez, P. y A. Figueras. 2007. Genética y genómica en acuicultura. Vol. II, Cima Press, España.
- Marques, M.J. 1991. Probabilidad y Estadística. McGraw-Hill, México.
- McKaye, K.1977. Competition for Breeding Sites between the Cichlid Fishes of Lake Jiloa, Nicaragua . *Ecology* **58**: 291-302.
- Merlo-Galeazzi, A. 2010. Variación espacial de la firma isotópica de Quironómidos MOP y sedimento en los canales de Xochimilco: implicaciones en la red trófica. Tesis. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Morales, A. 2003. Biología, Cultivo y Comercialización de la Tilapia. AGT Editor, México, DF.
- Morales, A. 1991. La tilapia en México: biología, cultivo y pesquerías. AGT, México, DF.
- Naylor, R., R. Goldberg, J. Primavera, N. Kautsky, M. Beveridge, J. Clay, C. Folks, J. Lubchenco, H. Mooney, y M. Troell. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* **405**:1017–1024.
- Njiru, M., J. Ojuok, B. Okeyo-Owuor, M. Muchiri, M. Ntiba y I. Cowx. 2006. Some Biological aspects and Life History Strategies of Nile Tiapia *Oreochromis niloticus* (L.) in Lake Victoria, Kenya. *African Journal of Ecology*, **44**:30-37.
- Northcote, T., M Arcifa y K Munro. 1990. An experimental study of the effects of fish zooplanktivory on the phytoplankton of a Brazilian reservoir. *Hydrobiología*, **194**: 31-45.

- Novinger, G. 1973. The Effect of Food Quantity on Ovary Development and condition of female bluegill. Tesis de Maestría. Universidad de Missouri, Columbia, EUA.
- Oliveria, C., y F. Sánchez-Vázquez. 2010. Reproduction Rhythms in Fish. En: Kulczykowska, E., W. Popek y B. Kapoor (eds), *Biological Clock in Fish*. CRC Press, EUA.
- Pandian, T. 2010. Sexuality in Fishes. CRC Press, Enfield, EUA.
- Parker, K. 1985. Biomass model for the egg production method. En: *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the Northern Anchovy, *Engraulis mordax**, R. Lasker (ed). *NOAA Tech. Rep. NMFS*, **36**: 5-6.
- Pauly, D. 1984. Fish Population Dynamics in Tropical Waters: A Manual for Use with Programmable Calculator. ICLARM, Filipinas. Pág. 235.
- Peters, H. 1963. Fecundity, Egg Weight and Oocyte Development in Tilapias (Cichlidae, Teleostei). *Hydrobiology* **48**: 547-576.
- Peterson, M., W. Slack, N. Brown-Peterson y J. McDonald. 2004. Reproduction in Nonnative Environments: Establishment of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*, in Coastal Mississippi Watersheds. *Copeia*, **4**: 842-849.
- Peña B., R. Tapia – Varela, J. Velázquez Aburader, A. Orbe Mendoza y J. Velazco Arce. 2010. Growth, mortality and reproduction of the blue tilapia *Oreochromis aureus* (Perciformes: Cichlidae) in the Aguamilpa Reservoir, Mexico. *Biología Tropical*, **58**: 1577-1586.
- Peña, B., J. Gómez-Márquez, I. Salgado-Ugarte y D. Ramírez-Noguera. 2005. Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Emiliano Zapata dam, Morelos, Mexico.
- Philippart, J. C.-L. y J. C.-L. Ruwet. 1982. Ecology and Distribution of tilapias. En Pullin, R.S.V. y R. H. Lowe-McConnell (eds). *The Biology and Culture of Tilapias*. ICLARM Conference Proceedings N° 7, ICLARM, Manila, Filipinas, Pp. 15-59.
- Pullin, R. y R. Lowe-McConnell (eds.). 1982. *The Biology and Culture of Tilapias*. Actas de la Conferencia ICLARM, Filipinas.
- Quade, D. 1967. Rank Analysis of Covariance. *Journal of the American Statistical Association*, **62**:320, 1187-1200.

- Ramcharan, C., R France y D McQueen. 1996. Multiple effects of planktivorous fish on algae through a pelagic trophic cascade. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**: 2819-2828.
- Ramos-Bello, R., L. Cajuste, D. Flores-Román y N. García-Calderón. 2001. Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia*, **35**: 385-395.
- Ramírez, M. 1990. Evaluación del contenido mineral (Pb, Cr, Cd, Fe, Cu) del agua, lodo y fauna (*Chirostoma jordani*) de la región lacustre de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.
- Ricker, W. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, Pág. 395.
- Rinne, J. y B. Wanjala. 1982. Observations on movement patterns of *Tilapia* spp. in Nyanza Gulf, Lake Victoria, East Africa. *J. Fish Biol.* **20**: 317–322.
- Rivera-Cervantes, O. y G. Hernández-González. 2011. Producción y calidad del agua de los reservorios “Amate amarillo” y “la Palapa”, Morelos. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.
- Romero, F. J., A. Meléndez-Herrada, A. Romero-Palacios y S. A. Méndez. 2006. Programa permanente de monitoreo de flora y fauna silvestres para obtener indicadores biológicos de conservación de suelo y agua en el Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. Informe final del Convenio de Colaboración firmado el 15 de septiembre del 2005, con número de registro 2115-34211. Dirección General del Medio Ambiente, Delegación Xochimilco, Gobierno del Distrito Federal/ Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Laboratorio de Ecología y Conservación de Fauna Silvestre, UAM-Xochimilco. D.F., Pág. 279.
- Rosales, M. 1997. Efecto de la alimentación sobre los desoves de la cabrilla Arenera *Paralabraz maculatofasciatus* (teleostei: serranidae) mantenida en cautiverio. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional.
- Salafranca, L., V. Sierra, M. Núñez, A. Solanas y D. Leiva. 2005. Análisis estadístico mediante aplicaciones informáticas. SPSS, STATGRAPHICS, MINITAB y EXCEL. Textos Docentes, Universidad de Barcelona, España.

- Salgado-Ugarte, I., J. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza, 2005. Métodos actualizados para análisis de datos biológico-pesqueros., FES, Zaragoza-DGAPA, UNAM. (PAPIME IN221403). México, D. F.
- Sandoval, J. 2008. Evaluación de la calidad del agua en los canales de Xochimilco para su recuperación ecológica. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Shalloof, A. y H. Salama. 2008. Investigations on some aspects of Reproductive Biology in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) Inhabited Abu-zabal Lake, Egypt. *Global Veterinaria*, **2**: 351-359.
- Sastré-Báez, L. 2008. Análisis biológico-pesquero de *Oreochromis niloticus* en la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Tesis de Maestría. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Schwassmann, H. 1971. Biological rhythms. En: *Fish physiology*, Hoar, W. y D.Randall. New York, Academic Press, vol. 6:371-428
- Sifa, L., L. Chenhong, M. Dey, F. Gaglac y R. Dunham. 2002. Cold tolerance of three strains of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in China. *Aquaculture*, **213**:123-129.
- Smith, S., W. Watanabe, J. Chang, D. Ernst, R. Wicklund, y B. Olla. 1991. Hatchery production of Florida red tilapia seed in brackishwater tanks: the influence of broodstock age. *Aquaculture and Fisheries Management* **22**:141–147.
- Soderberg, R. 1997. *Factors affecting fish growth and production*. En: Egna, H y C Boyd (eds.). Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press, Nueva York, Pp. 199-213.
- Soderberg, W. 1990. Temperature effects on the growth of blue tilapia in intensive aquaculture point. *The Progressive Fish Culturist*, **52**: 155 – 157.
- Stearns, S. 1976. Life History Tactics: a review of ideas. *Q. Rev. Biol.* **51**: 3–47.
- Stewart, K. 1988. Changes in Condition and Maturation of *Oreochromis niloticus* L. Population of Ferguson's Gulf, Lake Turkana, Kenya. *Fish Biology*, **33**:181-188.
- Tovar-Garza, A. 2005. Edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* por medio de estructuras duras. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.

- Traxler, S. y B. Murphy. 1995. Experimental trophic ecology of juvenile largemouth bass, *Micropterus salmoides*, and blue tilapia, *Oreochromis aureus*. *Environ. Biol. Fish* **42**: 201–211.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History), Londres.
- Twongo, T. 1995. Impacts of fish species introduction on the tilapias of Lake Victoria and Kyoga. En: *The Impact of Species Changes in African Lakes*, Pitcher, T. y P Hart (eds.). Chapman y Hall, Londres, Pp. 45-57.
- Tyler, A. y R. Dunn. 1976. Ration, growth, and measures of somatic and organ condition in relation to meal frequency in winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, with hypothesis regarding population homeostasis. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **33**: 63 - 75.
- Valiente, E. 2006. Efecto de las especies introducidas en Xochimilco para la rehabilitación del hábitat del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Van der Waal, B. y R Bills. 2000. *Oreochromis niloticus*: (Teleostei: Cichlidae) now in the Lompompo River system. *South African Journal of Science*, **96**: 47-48.
- Villegas, D. 2011. MONITOREO DE CLOROFILA *a* Y PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN XOCHIMILCO DURANTE LA ÉPOCA SECA. Tesis Profesional, Universidad Nacional Autónoma de México, DF.
- Ware, D. 1980. Bioenergetics of stock and recruitment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**: 1012–1024.
- Ware, D. 1975. Relation between egg size, growth, and natural mortality of larval fish. *J. Fish. Res. Board Can.*, **32**: 2503 – 2512.
- Welcomme, R. 1967. Observations on the biology of the introduced species of *Tilapia* in Lake Victoria. *Revue de Zoologie et de Botanique Africaines* **76**: 249–279.
- Widdows, J., T. Bakke, B. Bayne, P. Donkin, D. Livingstone, D. Lowe, M. Moore, S. Evans y S. Moore. 1982. Responses of *Mytilus edulis* on exposure to the water accommodated fraction of North Sea oil. *Marine Biology*, **67**: 15–31.
- Wootton, R.J. 1991. Ecology of teleost fishes. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.

- Wootton, R. 1979. Energy costs of egg production and environmental determinants of fecundity of teleost fishes. En: *Fish Physiology: Anabolic Adaptiveness in Teleosts*, Miller, P (ed.), Symposium of the Zoological Society of London, N° 44, Academic Press, Londres. Pp 133-159.
- Zambrano, L., E. Valiente, K. Levy, F. Córdova, A. Tovar, L. Sastré, M. Rubio, J. Giménez, M. Almazán, C. Sumano, M. Alvarado, S. López, C. González, M. Mazari, G. Pérez, A. Aguilar, M. Contreras y V. Mondragón. 2012. Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote. Informe Final. Instituto de Ecología (UNAM), Instituto de Biología (UNAM), Laboratorio de Restauración Ecológica (UNAM).
- Zambrano, L, E Valiente y M Vander Zanden. 2010. Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions* **12**: 3061-3069.
- Zambrano, L., V. Contreras, M. Mazari-Hiriart, A. Zarco-Arista. 2009. Spatial Heterogeneity of Water Quality in a Highly Degraded Tropical Freshwater Ecosystem. *Environmental Management*, **43**: 249 – 263.
- Zambrano, L., y E. Valiente. 2008. Informe final de las actividades del proyecto: Mitigación del impacto de las especies introducidas en la zona lacustre de Xochimilco. Laboratorio de Restauración Ecológica (UNAM), Instituto de Biología (UNAM), Gobierno del Distrito Federal, Delegación Xochimilco.
- Zambrano, L., E. Martínez-Meyer, N. Menezes y A. Townsend-Peterson. 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **63**: 1903-1910.
- Zambrano, L., G. López y A. von Bertrab. 2005. Informe final de actividades del proyecto: Erradicación de especies de peces exóticos en algunos de los canales de Xochimilco. Instituto de Biología, Gobierno del Distrito Federal, Delegación Xochimilco.
- Zenebe, T. 1988. Studies on Some Aspects of the Biology of *Oreochromis niloticus* L. (Pisces: Cichlidae) in Lake Ziway, Ethiopia. Tesis de Maestría. Universidad Addis Ababa, Etiopía.