



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ANÁLISIS REPRODUCTIVO DE LA CARPA COMÚN
(*Cyprinus carpio*) EN EL SISTEMA LACUSTRE DE
XOCHIMILCO**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIOLOGA

P R E S E N T A:

ROMÁN TORRES PERLA ALEJANDRA



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
2015**

Ciudad Universitaria, D. F.



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 ALUMNO

1. Datos del Alumno

Román
Torres
Perla Alejandra
55 52 71 02 88

2. Datos del tutor

Dr.
Luis
Zambrano
González

3. Datos del sinodal 1

M. en C.
Gabino
De la Rosa
Cruz

4. Datos del sinodal 2

M. en C.
Omar
Domínguez
Castanedo

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Adriana
García
Alarcón

6. Datos del sinodal 4

M. en C.
Maya Sathya
Rubio
Lozano

7. Datos del trabajo escrito

Análisis Reproductivo de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en el sistema lacustre de Xochimilco.

84 pp.

2015

“Todo el placer de la existencia consiste en perseguir la perfección cada vez un poco más de cerca, en reproducir un poco mejor el estremecimiento secreto de la vida”

Maurice Ravel

A mis **padres** por darme su apoyo incondicional y motivarme cada día a ser mejor

A mi **hermano** por mostrarme el mundo desde otras perspectivas

A mi **familia** por todo su cariño y ayuda

A mis amigos de la prepa **Clau, Viry, Bri, Karen, Chucho y Marco** por todos los buenos momentos

A **Jairo, César, Anni, Dulce, Pao y Tona** por que más que amigos de la carrera fueron mis camaradas
en todas las aventuras

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al laboratorio de Restauración Ecológica, en especial al Dr. Luis Zambrano por su apoyo, sus palabras de aliento y por haberme brindado todo lo necesario para desarrollar esta tesis. A la M. en C. Maya Sathya Rubio Lozano y al M. en C. Armando Tovar Garza por enseñarme las metodologías de campo y mostrarme el maravilloso oasis que es Xochimilco.

Al laboratorio de Biología de la Reproducción Animal, en especial a la Dra. Ma. Del Carmen Uribe por permitirme llevar a cabo el trabajo histológico. Al M. en C. Gabino de la Rosa por sus enseñanzas, su paciencia, sus críticas y sobre todo su apoyo incondicional.

A los miembros de mi jurado: M. en C. Adriana García Alarcón y al M. en C. Omar Domínguez Castanedo por su entusiasmo, paciencia y ayuda que me brindaron para mejorar este trabajo.

A las personas que contribuyeron en mi formación de académica: Candy Rodríguez, Erick Orrante, Lourdes Ortega, M. en C. Fernando Olvera, Dr. Carlos Ochoa, Dr. Jorge Meave, M. en C. Miguel Ángel Palomino, Dra. Alicia Cruz, Dra. Martha Juana Martínez y en especial a la Biol. Rosalba Amaya Luna por iniciarlo todo.

A Roberto por haberme ayudado en la colecta de los organismos durante todo un año. A César, Dulce, Clau, Tona, Ricci, Maya, Armando, Vero, Ulises y Rover por acompañarme, ayudarme en los muestreos en Xochimilco y hacer los momentos de trabajo experiencias únicas. A Jairo por haberme acompañado a más muestreos, por ayudarme en el laboratorio a contar ovocitos, por hacerme sonreír y darme palabras de aliento para seguir adelante.

A mi hermano por ponerle la música adecuada a cada etapa de mi carrera, por tener siempre las palabras adecuadas y por demostrarme cada día que la vida es simplemente maravillosa.

A mis padres por haberme brindado todo su apoyo, por ser mi ejemplo a seguir, por brindarme su cariño y principalmente por motivarme a luchar por mis sueños.

ÍNDICE

RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
<u>Preguntas de investigación</u>	11
<u>Objetivos</u>	11
<u>Marco teórico</u>	12
<i>Reproducción en Peces</i>	12
<i>Manejo de poblaciones</i>	13
ESPECIE DE ESTUDIO	15
<u>Cyprinus carpio</u>	15
<i>Distribución</i>	15
<i>Alimentación y consecuencias</i>	16
<i>Ecología y Reproducción</i>	17
<i>Estudios histológicos de la reproducción</i>	19
<i>Medidas de mitigación en el sistema lacustre de Xochimilco</i>	20
ÁREA DE ESTUDIO	21
<u>Sitios de Muestreo</u>	23
MÉTODO	25
<u>Fase de campo</u>	25
<u>Fase de laboratorio</u>	26
<u>Análisis de datos</u>	27
<i>Maduración gonadal</i>	28
<i>Crecimiento</i>	29
RESULTADOS	32
<u>Reproducción</u>	32
<i>Estructura histológica del ovario</i>	32
<i>Proceso de ovogénesis</i>	33
<i>Ciclo de madurez ovárica</i>	35
<i>Variación del índice gonadosomático (IGS)</i>	48

<i>Estructura histológica del testículo</i>	49
<i>Ciclo de madurez del testículo</i>	50
<i>Variación del índice gonadosomático (IGS) en machos</i>	60
<i>Potencial reproductor</i>	61
Crecimiento	62
<i>Talla y peso</i>	62
<i>Relación talla- Peso</i>	65
<i>Talla de primera madurez</i>	68
DISCUSIÓN	70
CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFÍA	77

RESUMEN

La Carpa común *Cyprinus carpio* es una especie exótica que representa un riesgo ecológico importante en el sistema lacustre de Xochimilco, D.F., México; ya que su capacidad de adaptación y alta tasa reproductiva ha provocado el desplazamiento de especies nativas como el axolotl (*Ambystoma mexicanum*). La importancia de analizar las características reproductivas durante un ciclo anual en una especie exótica, es que permite conocer los patrones de reproducción a lo largo del año y así poder generar programas de reducción poblacional en dicha especie. Se realizaron muestreos quincenales de octubre de 2012 a septiembre de 2013 en los canales de Cuemanco y Apatlaco y se obtuvieron un promedio de 30 individuos por muestreo. Se tomaron las medidas biométricas de peso total, longitud patrón, peso eviscerado; así como los datos de sexo y estadio de madurez gonadal. Se obtuvo que las carpas del canal de Cuemanco presentan ligeras diferencias en la morfometría en comparación con las de Apatlaco. Se describió la maduración ovárica y testicular a nivel macroscópico e histológico, que en junto con el IGS y el índice de isometría permitió determinar que la etapa reproductiva de la especie en ambos canales es marcadamente estacional (secas frías). Esta información brinda una oportunidad de contribuir a establecer programas de reducción poblacional específicos con base en la biología de la especie en el sitio.

INTRODUCCIÓN

Cyprinus carpio (Linneo, 1758), mejor conocida como carpa común, es una especie nativa del centro de Asia, perteneciente a la familia Cyprinidae. Se caracteriza por alcanzar tallas de hasta 1 m y una alta capacidad de adaptación y resistencia a condiciones ambientales poco favorables; por lo que es una especie de fácil manejo en la acuicultura (Schofield et al., 2005). Debido a esto, la carpa común se ha introducido en los cinco continentes, y representa el 14% de la producción pesquera de aguas continentales a nivel mundial y el 40% en México (FAO, 2010; Ibáñez, 2011).

Esta especie se introdujo por primera vez a México proveniente de Europa en el año de 1892 con el fin de incrementar la dieta proteica y la fuente de trabajo en los sitios más marginados (Lanza- Espino & Arredondo –Figuroa, 1990; Torales, 1994; SAGARPA, 2012). Desde esta primera introducción, el gobierno ha apoyado el desarrollo de centros productivos piscícolas, con el fin de mejorar el cultivo de esta especie. Desde la década de los 90's *C. carpio*, ocupa uno de los primeros lugares en producción de las pesquerías de aguas interiores, principalmente en los estados del centro de México (Lanza- Espino & Arredondo –Figuroa, 1990). A pesar de que esta especie ofrece múltiples ventajas en cuestión de producción, el mal manejo de las poblaciones ha generado que la especie invada una gran cantidad cuerpos de agua dulce en México (Zambrano, et al, 2006). Se encuentra categorizada bajo el estado de invasión “E” es decir, ya establecida en México (CONABIO, 2011; SAGARPA, 2012).

Particularmente en Xochimilco, la carpa común fue introducida en 1979 por el FIDEFA (Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática) con fines de acuicultura (Ávila, 2000). En la mayoría de los casos, las especies introducidas, provocan alteraciones en la dinámica del sistema, tales como la reducción en la disponibilidad de recursos y la alteración en los ciclos de nutrientes (Simberloff, 2011). Específicamente en Xochimilco, la carpa común se ha asociado con la reducción en la heterogeneidad del hábitat y el desplazamiento de especies como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y el teleósteo mexcalpique (*Girardinichthys viviparus*) (Zambrano et al., 2011).

En la actualidad, la extracción de la especie en los canales de Xochimilco se realiza fundamentalmente con fines de reducción poblacional, ya que los organismos no alcanzan ni el peso de cosecha (250 a 300 g) ni la calidad sanitaria mínimos para su utilización como alimento (SAGARPA, 2012; Zambrano, 2012).

Sin embargo, llevar a cabo un manejo exitoso con fines de reducción poblacional de esta especie, que ya se encuentra establecida en los canales de Xochimilco desde hace más de 30 años, y cuya dinámica

poblacional se desconoce, implica necesariamente, profundizar en su conocimiento, ya que sin este, las acciones derivan en dificultades prácticas y el fracaso (Oyugi, 2011).

Los aspectos biológicos de la carpa común han sido estudiados tanto en su ambiente original como en algunos sitios donde han sido introducidas. Estos estudios concluyen que los patrones de reproducción de la especie dependen de las condiciones ambientales específicas de la localidad en la que se desarrolla cada población (Bardach, 1972).

Entonces, dado el vacío existente en el conocimiento biológico sobre la dinámica poblacional propia que tiene *C. carpio* distribuida en los canales de Xochimilco, aunado a su prolongado tiempo de residencia y por lo tanto, de adaptación a esta localidad, hace necesaria la descripción de algunos procesos biológicos, tales como la reproducción y el desarrollo de la especie. Lo anterior como una alternativa viable que sirve como la base que permitirá proponer y diseñar planes y programas de manejo tendientes al control poblacional de esta especie, como una medida dirigida a la conservación de las especies nativas.

Con base en lo anterior, se planteó como objetivo en la presente tesis la descripción de algunos aspectos reproductores de *C. carpio*, considerados cardinales para el manejo de la especie, como son los procesos de gametogénesis y sus cambios en el tiempo, el potencial reproductor y la talla de primera madurez durante un ciclo anual en dos canales localizados en Xochimilco.

Preguntas de investigación

¿Cuál es el ciclo reproductor de *Cyprinus carpio* en el sistema lacustre de Xochimilco?

¿Es similar la condición reproductora de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco?

¿Cuál es la talla de primera madurez sexual?

¿Cuál es el potencial reproductor de *C. carpio* en el sistema lacustre de Xochimilco?

¿Qué tipo de crecimiento presenta *C. carpio* en el sistema lacustre de Xochimilco?

OBJETIVOS

Objetivo General

Describir aspectos reproductores de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en dos canales del sistema lacustre de Xochimilco durante un ciclo anual.

Objetivos Particulares

1. Describir la estructura histológica del ovario y el proceso de ovogénesis
2. Caracterizar los cambios en el proceso de gametogénesis en hembras y machos durante un ciclo anual en dos canales del sistema lacustre de Xochimilco.
3. Determinar el periodo reproductor de *C. carpio* en un ciclo anual en dos canales del sistema lacustre de Xochimilco.
4. Conocer el potencial reproductor de *C. carpio* en dos canales del sistema lacustre de Xochimilco.
5. Determinar el tipo de crecimiento que presenta *C. carpio* a lo largo de un ciclo anual en dos canales del sistema lacustre de Xochimilco.

Marco Teórico

Reproducción en Peces

La biología reproductiva de los peces depende en primera instancia de la frecuencia con que se reproducen los individuos de una especie determinada (Helfman et al., 2009). Una especie será considerada semelpara si se reproduce únicamente una vez en toda su vida, en cambio si los organismos se llegan a reproducir varias veces son iteroparas (Helfman et al., 2009, Grier et al, 2009).

La morfología de los ovarios en los teleósteos depende de los ciclos diarios, lunares o estacionales, de ellos derivan tres patrones generales: 1) desarrollo sincrónico, característico de las especies semelparas, en el todos los ovocitos se encuentran en el mismo estadio de madurez; 2) sincrónico por grupos, es característico de especies que se reproducen una vez por año, se caracteriza por presentar ovocitos en al menos dos estadios de madurez diferentes; 3) Asincrónico es característico de especies que se reproducen varias veces en una temporada reproductiva, en este los ovocitos se encuentran en estadios continuos de la ovogénesis al mismo tiempo (Grier et al, 2009).

En los machos los testículos se clasifican en tres tipos de acuerdo a su morfología: 1) testículo tubular anastomosado, se caracteriza por presentar compartimentos que derivan en los ductos eferentes; 2) testículo con espermatogonias no restringidas, se caracteriza por presentar espermatogonias en todas las porciones del túbulo y 3) testículo con espermatogonias restringidas se caracteriza por presentar espermatogonias restringidas a la porción distal de los testículos (Grier & Uribe, 2009).

La maduración gonadal se rige por la variación en las condiciones ambientales como la temperatura, la salinidad, el fotoperiodo, las mareas y la disponibilidad de alimento. Dichas condiciones son percibidas por los receptores externos y cuando son favorables se enciende el eje hipotálamo- hipófisis-gónada y se induce el inicio de la maduración gonadal. Dado que las variaciones ambientales son producto de los ciclos anuales, semestrales y lunares, los peces presentan ciclos reproductivos definidos (Degani et al., 1998; Glasser, 2004). La influencia del medio externo desencadena una cascada de reacciones que induce al hipotálamo a segregar GnRH (Hormona liberadora de gonadotropina). La GnRH estimula la hipófisis para segregar LH (Hormona luteinizante) y FSH (Hormona foliculo estimulante) que promueven el desarrollo gonadal (Degani et al., 1998; Glasser, 2004).

En la familia Cyprinidae la temperatura, el fotoperiodo y la disponibilidad de alimentos son los principales reguladores del eje hipotálamo- hipófisis- gónada, la disponibilidad de alimento conjugado

con el rango óptimo de temperatura puede inducir la reproducción aun fuera de su temporada reproductiva (Billard et al., 1978; Stacey, 1984; Glasser, 2004; kucharczyk et al., 2008).

El ciclo de maduración gonadal es diferente para cada población, ha sido estudiado a partir de los cambios macroscópicos que presentan las gónadas de las hembras y se encuentra estrechamente ligado al del cambio del IGS (Índice Gonadosomático) a lo largo del ciclo reproductivo. El IGS es la relación entre el peso de las gónadas y el peso total del organismo, y entre más maduras se encuentran mayor será el IGS (Fernández- Delgado, 1990). En *C. carpio* la relación entre el IGS y la temperatura en latitudes templadas por lo general es inversa, entre más frío, el IGS aumenta, (casi el doble en hembras que en machos), debido a la maduración de los gametos. Una vez finalizada la temporada reproductiva el IGS disminuye radicalmente, puesto que en este periodo el tejido gonadal se encuentra en restauración (Campos 1985, Fernández- Delgado 1990, Tempero et al., 2006).

Una vez que los individuos han alcanzado la madurez gonadal, se lleva a cabo el apareamiento. Para que este culmine con éxito, se requiere que los gametos sean liberados sincrónicamente. La liberación sincrónica es el resultado del cortejo y un reconocimiento entre especies, el cual puede ser físico (movimientos y cambio de coloración) o químico (liberación de hormonas u otras sustancias al agua (Shofield, 2005, Helfman et al., 2009).

Así como el medio externo presenta la capacidad de inducir la maduración gonadal, también puede producir efectos adversos en la reproducción, ya que el efecto de los contaminantes en teleósteos, específicamente en *C. carpio* en el desarrollo gonadal puede resumirse en un aumento mínimo del IGS (gónadas pequeñas), ovocitos pequeños, así como aumento en la cantidad de ovocitos atrésicos. Del mismo modo, se tiene registro de que la exposición a metales pesados genera inclusiones intranucleares y extranucleares (Kime, 1995). Los metales pesados inhiben la espermatogénesis y disminuyen la actividad motriz de los pocos espermatozoides formados (Snyder et al., 2004). La concentración de hormonas en el agua como los esteroides E2 y la estrona (un componente típico de los anticonceptivos orales), son capaces de provocar alteraciones endocrinas (Folmar et al., 1994; Kime, 1995; Snyder et al., 2004).

Manejo de Poblaciones

El conocimiento detallado de la biología de una especie por lo general es utilizado en los teleósteos para promover el crecimiento de una población en la acuicultura. Sin embargo, esta información también puede ser utilizada en sentido inverso, en busca de los grupos más vulnerables de la población con el fin de mermar la población (Birkeland & Dayton, 2005).

Cuando un pez introducido presenta un valor socioeconómico muy bajo para la sociedad y se encuentra afectando el ecosistema, este presenta un estatus de peste, por lo que resulta indispensable actuar antes de que provoque daños irreversibles al sistema. Para ello es importante que se dé una detección rápida de la especie en el nuevo ambiente, se realice un análisis y una respuesta rápida (Simberloff, 2003).

Cuando se ha detectado una especie en este estatus lo ideal es que sea erradicada, sin embargo, la mayoría de las veces resulta casi imposible una eliminación del 100% de los individuos debido a que resulta muy costosa, difícil y puede llegar a afectar a otras poblaciones no contempladas. No obstante, eliminar la especie invasora permite que las especies nativas tengan más espacio para desarrollarse y contribuye a aumentar la abundancia de estas (Simberloff, 2003; Britton et al, 2010).

Otras opciones que se tienen para llevar a cabo el manejo de especies exóticas es el control de poblaciones el cual se vale de la extracción selectiva, erradicación de poblaciones satélite, aislamiento de cuerpos de agua, entre otros. Asimismo, se tiene comprobado que la pesca intensiva resulta efectiva, siempre que no se disminuya el esfuerzo de captura, ya que de hacerse la población podría recuperar su tamaño original en poco tiempo al disminuir la competencia intraspecífica (Britton et al, 2010).

Al realizar manejo de poblaciones por extracción selectiva, es necesario enfocarse primeramente en la extracción de los organismos más grandes, ya que está comprobado que la fecundidad aumenta exponencialmente en las hembras de mayores tallas en comparación con las más pequeñas que llegan por primera vez a la madurez sexual, igualmente se tiene comprobado que las hembras grandes producen larvas que presentan un crecimiento más rápido, por lo que enfocarse en la extracción de estos individuos contribuye a reducir el crecimiento poblacional (Birkeland & Dayton, 2005).

ESPECIE DE ESTUDIO

Cyprinus carpio (Lineo, 1758)

Cyprinus carpio pertenece a la familia Cyprinidae, la cual agrupa a 210 géneros y más de 2000 especies, siendo la familia de peces de agua dulce más grande del mundo. Su distribución abarca África, Europa, Asia y Norteamérica (Canadá a Suroeste de México) (Shofield, 2005). Esta familia se caracteriza por presentar dientes faríngeos en hileras de ocho, una mandíbula superior protusible, radios similares a espinas en la aleta dorsal, así como una aleta caudal bífida. Los miembros de esta familia se distinguen por alcanzar tallas superiores al metro de longitud, siendo las más largas *Catlocarpio siamensis* y *Tor putitora* que alcanzan 2.5 y 3 m respectivamente, aunque también llegan a presentar especies menores a los 15 mm de longitud como *Danionella translucida* (Berg, 1964; Nelson, 2006).

Cyprinus carpio, es un teleósteo, originario de las zonas templadas de Eurasia, con un alto valor económico ya que ha sido introducida en casi todo el mundo con fines de acuacultura (Figura 1) (Shofield, 2005).



Figura 1. *Cyprinus carpio*

Esta especie alcanza tallas de hasta de 1 m y pesos superiores a los 40 kg. Asimismo esta especie es longeva, ya que llega a vivir hasta 15 años y se tiene reporte de carpas que han

alcanzado los 50 años de edad. Su cuerpo es de forma elongada y se encuentra cubierto de escamas con excepción de la cabeza. Presenta una aleta dorsal con 15 radios, el primero de ellos endurecido a manera de espina. La aleta caudal es moderadamente bífida. Presenta una coloración metálica en el cuerpo, mientras que, las aletas son de color amarillo-naranja. Se diferencia de otras especies similares gracias a sus dos barbas en los extremos de la boca (Shofield, 2005; Helfman et al., 2009).

Distribución

La amplia distribución de la carpa común en Europa y Asia se debe a la historia de cultivo ancestral de esta especie en diversos cuerpos de agua, por lo cual es difícil precisar su lugar de origen (Shofield, 2005). Actualmente se encuentra en cuerpos de agua templados de todo el mundo, incluyendo México (Zambrano et al., 2006; Oyugi et al., 2011).

En México la carpa común presenta una distribución asociada a los cuerpos de agua templados, con una preferencia por los lagos en los estados del centro, donde se impulsa la producción y siembra de crías de esta especie (Zambrano et al., 2006; Ibáñez, 2011). Así mismo esta especie ya se encuentra establecida en el sistema lacustre de Xochimilco, ya que debido a la mala administración de los programas de introducción la población de esta especie ha crecido desmedidamente. Actualmente, junto con la tilapia, representa más del 90% de la biomasa de los vertebrados presente en el sistema (Ávila, 2000; Valiente, 2006; Zambrano et al., 2011).

Alimentación y consecuencias

La alimentación de *Cyprinus carpio* se basa en zooplancton durante su estado larval, mientras que en los juveniles y adultos es mucho más variada, ya que incluye organismos bénticos (Chironómidos, Gasterópodos, larvas de insecto, etc.), vegetación acuática, detritus y plancton (Shofield, 2005). Debido a estos hábitos de alimentación las grandes poblaciones ocasionan un aumento en la turbidez del agua, principalmente en lagos poco profundos donde genera la resuspensión de los sedimentos del fondo (Fletcher et al., 1985; Zambrano et al., 2001)

A su vez, el incremento de la turbidez en los lagos genera una alteración en todo el sistema, ya que las partículas suspendidas en el agua bloquean la entrada de luz solar al sistema, reduciendo la producción primaria por algas y plantas acuáticas, y en consecuencia limitando la fuente de alimento del resto de los niveles tróficos (Zambrano et al, 2009). Otros problemas generados por la forma de alimentación de la carpa es el disturbio en las áreas de reproducción y de crianza de los peces nativos, ya que la carpa común consume las raíces de las plantas que suelen ser lugares de ovoposición y desarrollo de las crías de estos organismos (Panek, 1987).

Se ha observado que en sitios grandes como deltas de río o humedales, las carpas presentan preferencia de hábitat dependiendo de la época del año y la edad del individuo, ya que al haber diversidad en los recursos del hábitat las carpas de edades cortas se ubican en sitios donde acceden con mayor facilidad al alimento, mientras que las más grandes prefieren otros sitios. Así mismo en la época reproductiva las carpas presentan migraciones hacia sitios poco profundos con gran cantidad de vegetación acuática, ya que ahí existe tanto protección como alimento para los organismos juveniles (PESTSMART, 2014).

Ecología y reproducción

En la mayoría de las poblaciones estudiadas se encuentran organismos con tallas promedio entre los 200 mm y 770 mm de longitud (Fernández-Delgado, 1990; Kathiravelu et al., 2003; Brown et al., 2005; Tempero et al., 2006). En la mayoría de los casos se ha encontrado que las tallas de machos y hembras son significativamente diferentes, siendo las hembras más grandes; lo cual se encuentra asociado a una tasa de crecimiento mayor que la de los machos, ya que a edades tempranas las hembras destinan toda su energía al crecimiento antes de comprometerla en reproducción (Welykochatko, 1976; Fouche et al., 1985; Brown et al., 2005; Oyugi et al., 2011).

El crecimiento en esta especie se encuentra limitado por la disponibilidad de alimentos y las características fisicoquímicas del medio en el que se desarrollan. La temperatura, salinidad y calidad del agua son los que restringen más su crecimiento. Se tiene registro de que las temperaturas bajas, aguas muy salobres o con alta concentración de contaminantes disminuyen notoriamente la tasa de crecimiento (Crivelli, 1981; Mann et al., 1984; Wootton, 1991; Schofield et al., 2005). Del mismo modo el cambio de estaciones genera restricciones en el crecimiento, ya que se producen cambios fisicoquímicos en el medio acuático, muchas veces generando modificaciones en la disponibilidad de alimentos (Fernández-Delgado, 1990).

La latitud tiene un efecto comprobado en el crecimiento y desarrollo de esta especie, ya que entre menor es la latitud su tasa de crecimiento es mayor (Fernández-Delgado 1990; Wang et al., 1997; Tempero et al., 2006). De igual forma, la talla de primera madurez sexual se encuentra relacionada con la latitud (disminución en la temperatura y cambios más marcados en el fotoperiodo al alejarse del ecuador), puesto que entre más baja sea esta, las carpas alcanzan la madurez a tallas más pequeñas. Un ejemplo de esto es que en la India, maduran a los 8 meses de edad (Parmeswaran et al., 1972) y en Nueva Zelanda esto sucede a los 3 meses con tallas de entre 90 y 140 mm (Tempero et al., 2006). Mientras que en Australia los machos maduran a la edad de 1.1 años de edad con tallas de 307 a 584 mm y las hembras a los 2.7 años con tallas de entre 328 a 688 mm, y en Canadá los machos maduran entre los 3 y 4 años y las hembras entre los 4 y 5 años (McCrimmon 1968; Kathiravelu et al., 2003).

Otra restricción en el crecimiento es el inicio del desarrollo gonadal, ya que este proceso requiere de una gran cantidad de energía y los recursos energéticos son destinados principalmente a la maduración sexual antes que al crecimiento. La maduración de los ovarios es mucho más costosa energéticamente hablando, que la maduración de los testículos, por lo que las hembras requieren crecer más y almacenar

nutrientes antes de iniciar la reproducción, siendo de esta manera que los machos maduran a tallas menores que las hembras (Wootton, 1991; Brown et al., 2005; Shofield, 2005).

El inicio del madurez sexual en *Cyprinus carpio*, se determina por la influencia del medio externo en el eje hipotálamo- hipófisis- gónadas, el cual al ser estimulado por una temperatura cercana a los 16 °C y un corto fotoperiodo induce al hipotálamo a segregar GnRH y de esta manera se inicia la maduración gonádica. La disponibilidad de alimento conjugado con el rango óptimo de temperatura puede inducir la reproducción aun fuera de su temporada reproductiva (Billard et al.,1978; Stacey, 1984; Glasser, 2004; kucharczyk et al.,2008).

La época reproductiva se encuentra delimitada por la temperatura, idealmente esta entre 15 y 23 °C. En latitudes tropicales la temporada de desove se encuentra asociada a la temporada de lluvias cuando la temperatura del agua descende, en el Brasil tropical y Bangladesh la temporada de apareamiento dura de 5-6 meses, durante los cuales se dan múltiples desoves (Welykochatko, 1976; Fouche et al., 1985; Tweb, 1989; Tempero et al., 2006). Mientras que en las latitudes frías, la temporada de apareamiento se asocia a los meses más cálidos, la cual puede durar apenas 2 meses, dejando los siguientes meses para la restauración del tejido gonadal y posteriormente reiniciar la maduración (Kathiravelu et al., 2003; Brown et al., 2005).

El IGS en esta especie tiene una relación inversa con la temperatura, y es muy variable dependiendo del sitio en donde se localice la población, por ejemplo, en Rusia se registró que el IGS en hembras tuvo un promedio de 15% del peso total del cuerpo en los peces maduros (Nikolsky, 1963), mientras que en Japón el IGS promedio fue de 10.4% (Matsui, 1957), y en India se reportó un IGS entre 26 y 38%, indicando un mayor desarrollo gonadal (Parmeswaran et al., 1972).

El IGS máximo en los organismos es un indicador directo de la proximidad del desove, el cual en esta especie se da a temperaturas cercanas a los 16 °C. El desove en general se da varias veces en una temporada reproductiva, los machos pueden aparearse cada 8 días, mientras que las hembras pueden hacerlo cada 25 días, lo cual puede generar problemas a la hora de hacer la estimación de fecundidad (Tomita et al., 1980; Jones, 2002). En *C. carpio* el apareamiento se da en sitios muy específicos, los cuales se caracterizan por presentar aguas someras y vegetación o rocas, a los cuales puedan adherirse los huevos una vez fecundados. Los alevines nacen entre 3 y 5 días después del desove y posteriormente los juveniles se mueven a sitios con mayor nivel en el agua (PESTSMART. 2014).

La fecundidad en *C. carpio* es de las más altas registradas, ya que una sola hembra puede llegar a ovular hasta un millón de ovocitos, siendo lo común entre 100 000 y 300 000 (Tempero et al., 2006); sin embargo, el hacer la estimación de la fecundidad total de estos organismos resulta sumamente difícil debido a los múltiples desoves que se presentan en una sola temporada reproductiva (Tomita et al., 1980; Fernández-Delgado, 1990).

Estudios histológicos de la reproducción de C. carpio

Los estudios reproductivos en peces pueden llevarse a cabo exclusivamente desde el punto de vista macroscópico, sin embargo el realizar estudios histológicos se considera esencial para conocer con mayor precisión el ciclo de maduración de las gónadas y entender más claramente los patrones reproductivos que presentan los organismos (West, 1990; Marshall et al., 1993). Los estudios histológicos permiten identificar estadios de desarrollo gonadal difíciles de diferenciar a simple vista, al permitir identificar los estadios de madurez en los que se encuentran los ovocitos y espermatozoides (Kathiravelu et al, 2003).

En *C. carpio* existe una relación entre los el IGS y el estadio de madurez de las gónadas, siendo en las hembras más notable esta relación que en lo machos. Las hembras en estadios I (ovarios con ovogónias y ovocitos en crecimiento primario) y II (ovarios con ovocitos en crecimiento primario en perinucleolo y alveolos corticales) presentan un IGS mucho menor, reflejando su estadio de inmadurez, mientras que las hembras en estadio III (ovarios con ovocitos en crecimiento secundario) y IV (ovarios con ovocitos maduros) presentan un IGS mayor (Kathiravelu et al., 2003; Grier, et al. 2009; Tempero et al., et al., 2006).

El desarrollo ovárico de *C. carpio* se encuentra regulado por el fotoperiodo y la temperatura, la cual al mantenerse constante permite una segregación constante de GnRH, la cual induce una prolongación de la temporada reproductiva. A nivel histológico se ha encontrado que cuando el fotoperiodo es menor y la temperatura se aproxima a los 16 °C las hembras presentan ovarios con una predominancia de ovocitos en crecimiento secundario (vitelogénicos). El aumento de tamaño es la forma más obvia de observar el desarrollo de los ovocitos; sin embargo, el cambio en la coloración del vitelo, la aparición de vesículas y el estado del núcleo es lo que permite determinar el estadio de maduración en el que se encuentran los organismos. Así mismo, se ha reportado que el ovario de esta especie es de desarrollo sincrónico por grupos, por lo que diferentes estadios de la ovogénesis pueden ser encontrados al mismo

tiempo, pero el porcentaje de ovocitos maduros incrementa de la parte anterior a la posterior (Solmaz et al., 2012).

El ovario maduro de *C. carpio* presenta ovocitos llenos de vitelo y vesículas de lípidos, los cuales llegan a estar presentes durante todo el año. Los ovocitos atrésicos son poco frecuentes (menos del 10%) en sitios con buena calidad del agua (Kathiravelu et al., 2003). Así mismo se observa que poco antes de la ovulación, cuando el epitelio folicular que rodea a los ovocitos se rompe y los ovocitos son liberados en el medio externo y los ovocitos se hidratan, este proceso continúa hasta que se da el desove (Solmaz et al., 2012).

Medidas de mitigación en el sistema lacustre de Xochimilco

La alta tolerancia de *C. carpio* le ha permitido establecerse con éxito en el sistema lacustre de Xochimilco, sin embargo, como ya se ha mencionado, esta especie ha generado diversas afectaciones al sistema. Con el objetivo de reducir el impacto generado por *C. carpio* y *Oreochromis niloticus* en el sistema lacustre de Xochimilco, se han implementado dos programas de extracción masiva. El primero: “Mitigación del impacto de las especies introducidas en la zona lacustre de Xochimilco” que duró de 2004 a 2008 consiguió la extracción de 90 toneladas de estas especies; el segundo: “Programa de análisis y restauración del Sistema Lacustre y el ajolote” se implementó de 2008 a 2012 en el cual se extrajeron 200 toneladas. Sin embargo, la alta densidad poblacional hace necesario más programas de esta índole enfocados en una reducción poblacional efectiva (Espinosa & Mazari-Hiariat, 2006; Zambrano et al., 2012).

ÁREA DE ESTUDIO

Los muestreos para este trabajo se realizaron en dos canales dentro del sistema lacustre de Xochimilco, Cuemanco y Apatlaco, ubicados dentro del Área Natural Protegida (ANP) “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, la cual se localiza en la parte centro-sureste del Distrito Federal, México: en la delegación política de Xochimilco (Figura 2). Sus coordenadas geográficas extremas son 19° 15' 11" y 19° 19' 15" latitud norte y 99° 00' 58" y 99°07' 08" longitud Oeste (INEGI, 2010). Colinda con más de 45 colonias, además de presentar asentamientos irregulares dentro del ANP, cuya población se calcula en 24,100 habitantes (INEGI, 2010). El sistema lacustre de Xochimilco es un humedal permanente dentro de la subcuenca del lago Texcoco-Zumpango en la cuenca del Río Moctezuma, se encuentra conformado por planicies inundadas naturales y cuerpos de agua inducidos, conocidos como canales (Aranda 2004).



Figura 2. Ubicación geográfica de los Canales de Apatlaco y Cuemanco en la delegación política de Xochimilco, DF, México. Tomado de “Informe final: Programa de Análisis y Restauración del sistema lacustre de Xochimilco y de Ajolote, Segunda Etapa”. Laboratorio de Restauración Ecológica, Instituto de Biología, UNAM. 2012.

La importancia de Xochimilco va desde ser el principal sitio de captación de agua al sur de la ciudad de México, ayudar en la regulación climática, hasta ser un sitio de refugio para la flora y fauna dentro de la Ciudad de México (Aranda, 2004). Alberga un alto número de especies acuáticas y terrestres (146 especies de plantas y 139 de animales) muchas de ellas microendémicas como *Nymphaea mexicana* y *Ambystoma mexicanum* (Ramsar, 2004).

Los canales conforman una extensa red interconectada, con una extensión aproximada de 203 km cuya profundidad va desde los 60 cm a los 3 m. Son alimentados artificialmente con aguas de tratamiento primario provenientes de las plantas Cerro de la estrella, San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco (Aranda, 2004; La Rosa, 2006).

El tipo de suelo es predominantemente lacustre y palustre, con un alto contenido de materia orgánica (Ramsar, 2004). La zona presenta un clima predominantemente templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw1), con humedad media y una precipitación promedio de 0 mm en enero y 2000 mm en julio. La temperatura media anual se encuentra entre los 12° y 18°C (Ramsar, 2004).

Las características fisicoquímicas de los canales fluctúan ligeramente durante la temporada de lluvias y secas. El agua se caracteriza por ser ligeramente alcalina, con un pH promedio de 7.9 en temporada de secas y 7.92 en lluvias (Ramsar, 2004). Durante la época de lluvias se tienen las temperaturas más altas, así como una menor conductividad eléctrica con respecto a la temporada de secas ya que en ella se da una acumulación de materia orgánica y sólidos disueltos debido a una disminución en el nivel del agua (Aguilar, 2007).

La mayoría de los elementos se encuentran fluctuantes dentro de los canales debido a la temporalidad y a los procesos biogeoquímicos, algunos elementos como el nitrógeno y el fósforo limitan el crecimiento de los productores primarios, por lo que la alta concentración de nutrientes induce el crecimiento de algas y otros organismos (Ortiz-Ramos & Ruvalcaba- Garcia, 2005; Zambrano et al., 2012).

El sistema lacustre de Xochimilco se encuentra altamente degradado, por el crecimiento de la mancha urbana y sus efectos inminentes (entrada de aguas negras, depósito de basura, extracción de agua, entre otras), la agricultura no chinampera y la ganadería que afectan la calidad del agua, y la introducción de especies exóticas como el lirio acuático, la carpa común y la tilapia que han propiciado el desplazamiento de las especies nativas (Zambrano et al., 2006).

Sitios de Muestreo

Canal de Cuemanco

Se lo caliza en la zona Chinampera-Urbana, paralelo a la Pista Olímpica de Remo y canotaje Virgilio Uribe, aquí se ubica uno de los embarcaderos turísticos más importantes. Debido a su cercanía con el Parque Ecológico de Xochimilco, este canal se encuentra en un mayor grado de conservación, lo cual se observa en una alta diversidad de invertebrados así como de vegetación acuática (Figura 3A) (Reynoso, 1986; Medina, 2004; Merlo, 2010).

La este canal se encuentra alimentado por aguas provenientes de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella por lo que la calidad del agua es diferente a la de otros canales (Figura 3B). Entre las características fisicoquímicas del agua se puede destacar una temperatura promedio de 17.8 °C con mínimas en febrero de 15 °C y máximas en abril de 22°C, oxígeno disuelto con un rango de entre 6.9 y 9.1 mg/L, una transparencia de 58 cm y un pH de 8.8 (Zambrano, et. al., 2012)



Figura 3. A) Canal de Cuemanco. B) Entrada de agua de la planta de tratamiento al canal.

Canal de Apatlaco

Se localiza en la zona urbana y presenta dos zonas contrastantes: la agrícola y la urbana (Figura 4), La calidad del agua se ve afectada por las descargas residuales provenientes del pueblo de Xochimilco. Las características fisicoquímicas del agua cabe destacar la temperatura promedio de 19.2 °C con mínimas en febrero de 16 °C y máximas en abril de 23°C, oxígeno disuelto con un rango de entre 4.7 y 6.8 mg/L, una transparencia de 20 cm y un pH de 8.02 (Sánchez et al, 2009; Merlo 2010).



Figura 4. A) canal de Apatlaco. B) asentamientos humanos irregulares a las orillas del canal de Apatlaco.

En los canales de Cuemanco y Apatlaco los nutrientes presentan fluctuaciones durante todo el año. Sin embargo la concentración de amonio y nitritos es bastante mayor en Cuemanco que en Apatlaco, mientras que el fósforo es ligeramente superior en Apatlaco (Tabla 1) (Ortiz-Ramos & Ruvalcaba-García, 2005; Zambrano et al., 2012; Lozada, 2014):

Tabla 1. Concentración de nutrientes en los canales de Cuemanco y Apatlaco.

Nutriente	Cuemanco	Apatlaco
Amonio	2.30 mg/L ⁻¹	1.45 mg/L
Nitratos	4.93 mg/L ⁻¹	0.19 mg/L
Fosfatos	1.44 mg/L ⁻¹	1.81 mg/L

Tomado de “Informe final: Programa de Análisis y Restauración del sistema lacustre de Xochimilco y de Ajolote, Segunda Etapa”. Laboratorio de Restauración Ecológica, Instituto de Biología, UNAM. 2012.

MÉTODO

Para conseguir los objetivos plateados con anterioridad la presente investigación se conformó por tres etapas: Fase de campo, fase de laboratorio y análisis de resultados.

Fase de campo

Se realizaron muestreos quincenales en los canales de Cuemanco y Apatlaco de octubre 2012 a septiembre 2013, alternando los sitios de muestreo cada quincena. En cada colecta se capturaron 30 individuos de la especie *C. carpio* con una atarraya de apertura de malla de 2.5 cm. A cada uno de los individuos se les tomaron las siguientes morfometrías: longitud patrón (LP) y peso total (PT) para poder determinar el tipo de crecimiento. Posteriormente se disectaron, se identificó el sexo, se determinó provisionalmente el estadio de madurez gonadal de acuerdo a Nikolsky (1963)¹. Se clasificaron morfológicamente los estadios de madurez para hembras (Tabla 2) y para machos (Tabla 3). Se extrajeron las gónadas y 4 de ellas (escogidas al azar) se fijaron al momento con Bouin por 12 horas para su posterior procesamiento histológico (Aguilar-Morales et al., 1996) con lo cual se determinó con mayor precisión el estadio de madurez en el que se encontraban las gónadas, así como la ovogénesis.

Tabla 2. Maduración gonadal en hembras de *C. carpio*, Modificado de Nikolsky (1963).

Estadio	Características
I. Inmaduro	Individuos jóvenes. No es posible distinguir entre ovarios y testículos a simple vista, presentan una coloración transparente.
II. En descanso	Los ovarios comienzan a crecer y son más anchos. Son transparentes, se observan las lamelas que conforman el ovario.
III. Maduración	Los ovocitos son distinguibles a simple vista, son de color amarillo pálido.
IV. Reproducción	El ovario ocupa la mayor parte de la cavidad abdominal, los ovocitos vitelogénicos presentan un tamaño grande y son de una coloración amarillo fuerte a naranja intenso, están listos para el desove.

1. La escala de Nikolsky (1963) se ajustó a las características de las gónadas de las carpas, y posteriormente se reajusto con los datos histológicos.

Tabla 3. Maduración gonadal en machos de *C. carpio*, modificado de Nikolsky (1963).

Estadio	Características
I. Inmaduro	Individuos jóvenes. No es posible distinguir entre ovarios y testículos a simple vista, presentan una coloración transparente.
II. En descanso	Son transparentes, de mayor tamaño, con la pared del testículo completamente lisa.
III. Maduración	Los testículos empiezan a ensancharse. Presentan una coloración rosa pálido.
IV. Reproducción	Los testículos alcanzan su máximo tamaño y peso. Son de color blanco lechoso, con forma arriñonada. Listos para la espermiación.

Fase del laboratorio

Las gónadas extraídas fueron pesadas en una balanza digital con una precisión de 0.0001 g y posteriormente fueron fotografiadas. En los ovarios vitelogénicos se realizó un conteo de ovocitos para conocer el potencial reproductor (fecundidad) a través del método volumétrico (eq. 1).

$$\frac{X}{n} = \frac{V}{v} \quad (\text{eq. 1})$$

Dónde:

X = número desconocido de ovocitos

n = número de ovocitos contados en un cm^3

V = volumen desplazado por el total de ovocitos

v = el volumen de la muestra.

(Cailliet, 1986)

Técnica histológica

Las gónadas fijadas en Bouin se deshidrataron en alcoholes graduales (50°, 70°, 80°, 96° y absoluto) y se aclararon con alcohol-xilol y xilol por 45 minutos. Posteriormente, se realizó la inclusión en

paraplast plus ® (paraplast-xilol, paraplast I y paraplast II) con un punto de fusión de 56°C, con un periodo de cambio de 45 minutos cada uno. Al finalizar se hicieron cortes a 7 µm de grosor con un micrótopo de rotación American Optical modelo 820 (Aguilar-Morales, et al., 1996).

Los cortes fueron teñidos con las técnicas de Hematoxilina-Eosina (H-E) y Ácido Peryódico (PAS) y se montaron en bálsamo de Canadá (Aguilar-Morales, et al., 1996). Se observaron y fotografiaron los cortes con un microscopio óptico American Optical One Hundred y una cámara digital (5050 Olympus). Se realizó la descripción del desarrollo ovárico y testicular, así como el desarrollo de los gametos de acuerdo con Grier et al. (2009).

Fase de gabinete: análisis de datos

Para el apartado de Reproducción los datos fueron agrupados en cuatro temporadas para su mejor comprensión: lluvias frías (otoño, septiembre a noviembre), secas frías (invierno, diciembre a febrero), secas cálidas (primavera, marzo a mayo) y lluvias cálidas de (verano, junio a agosto); mientras que para el apartado de crecimiento los datos se agruparon en dos temporadas lluvias: (junio a noviembre) y secas (diciembre a mayo).

Los datos fueron sometidos a la prueba de normalidad y homocedasticidad de Shapiro-Wilks ($p < 0.05$), al no presentar una distribución normal, los datos se transformaron aplicando la raíz cuadrada al peso total, longitud patrón, peso gonadal, fecundidad, índice gonadosomático y factor de condición (Salafranca et al., 2005). A cada uno de los conjuntos de datos se les realizó nuevamente la prueba de normalidad, y al presentar una distribución normal se procedió a realizar pruebas de t-Student ($p < 0.05$) para conocer si existían diferencias significativa entre sexos, canales y en algunos casos entre temporadas de lluvias y secas. Para la talla de primera madurez se usó la longitud patrón de los individuos en estadio IV (Nikolsky, 1963). En el caso de la relación peso total- longitud patrón se realizó la prueba ANCOVA ($p < 0.05$) a los grupos anteriormente mencionados.

Los datos fueron separados en dos secciones: (1) reproducción y (2) crecimiento. El primero comprendió el análisis histológico y ecológico, en el cual se presentaron la proporción de machos y hembras en los cuatro estadios de maduración gonádica ilustrados macroscópica y microscópicamente, Asimismo se realizó la descripción de la ovogénesis, el índice gonadosomático y el potencial reproductor. En el apartado de crecimiento se comparó talla y peso entre machos y hembras, entre canales, y entre temporadas. Lo mismo se hizo con el crecimiento y la talla de primera madurez.

Maduración gonadal

Cada estadio de madurez gonadal fue descrito morfológicamente para machos y hembras con base en Nikolsky (1963) y reajustado de acuerdo a las características histológicas con base en Grier et al. (2009) (Tabla 4). Además se describió el proceso de ovogénesis (De la Rosa, 1998; Grier et al., 2009). De acuerdo a los estadios de madurez de Nikolsky (1963) reajustados, se obtuvo la proporción mensual de cada uno, en ambos sexos por canal, así como el IGS de los mismos.

Tabla 4. Desarrollo de los ovocitos en teleósteos, se divide en tres niveles: Periodos, estadios y etapas. Los periodos presentan las cinco divisiones que son comunes a todos los vertebrados. Los seis estadios son los mismos que presentan los vertebrados que producen huevos con vitelo, y estos se subdividen en etapas (Tomado de Grier, et al., 2009).

Código	Etapas	Estadio	Periodo
OP	Formando células nido	Ovogónia proliferativa	Mitosis
CNI	Leptoteno		
CNz	Cigoteno	Cromatina Nucléolo	Meiosis activa I
CNp	Paquiteno	(CN)	
CNed	Diploteno temprano		
PGon	Un núcleo		
PGmn	Múltiples nucléolos		
PGpn	Perinucléolo	Crecimiento Primario	
PGod	Vesículas lipídicas	(PG)	
PGca	Alveolos corticales		
SGe	Temprano	Crecimiento secundario: Vitelogénesis	
SGl	Tardío	(SG)	Arrestado en meiosis I
SGfg	Crecimiento completo		
OMegv	Vesícula germinal centrada		
OMgvm	Migración de la vesícula germinal al polo animal		
OMgvb	Colapso de la vesícula germinal	Ovocito maduro (OM)	
OMmr	Hidratación completa		Meiosis activa II
OV	El ovocito emerge del folículo	Ovulación (OV)	Arrestado en la meiosis II

Proporción de hembras y machos

Se trabajó con la proporción de hembras y machos en cada estadio mensualmente en cada canal, ésta información fue graficada en histogramas (hembras y machos de Apatlaco, y hembras y machos de Cuemanco) con el fin mostrar la variación en la proporción de individuos maduros a través del año.

Índice Gonadosomático

El índice gonadosomático expresa la relación que existe entre el peso de la gónada (Pg) y el peso total (Pt) (eq. 2). Este índice asume que, entre más maduras se encuentran las gónadas el tamaño y el peso incrementan proporcionalmente, por lo que durante la temporada reproductiva se espera que el índice gonadosomático sea mayor al resto del año.

$$IGS = \frac{Pg}{Pt} \times 100 \quad (\text{eq. 2})$$

Dónde:

IGS= índice gonadosomático

Pg= Peso de las gónadas

Pt= Peso total

(De Vlaming et al, 1982)

La fórmula del IGS fue aplicada a todos los datos y con ello se obtuvo el IGS de hembras y machos de ambos canales por mes. Se obtuvo IGS correspondiente a la talla de primera madurez, a partir de la media del IGS de los organismos con una talla igual a la obtenida para la primera madurez. Con el IGS de primera madurez se puede conocer en qué momentos existe una mayor probabilidad de que los individuos se encuentren maduros (Cailliet, 1986).

Crecimiento

Se obtuvo el promedio y la desviación estándar de la longitud patrón y peso total de los organismos de los canales de Cuemanco y Apatlaco. Así mismo, se obtuvieron las tallas y pesos mínimos y máximos que permitieron conocer el rango de tallas y pesos que presenta *C. carpio* en ambos sexos en cada sitio.

Se estimó el tipo de crecimiento que presentan hembras y machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco a través de la relación peso total- longitud patrón, estos datos se relacionaron a través de la siguiente ecuación (eq. 3), obtenida con el programa Stata 11.3:

$$P = aL^b \quad (\text{eq. 3})$$

Dónde:

P = peso total

L = longitud patrón

a = constante

b = coeficiente de isometría

(Ricker, 1975)

El coeficiente de isometría representa la constante de crecimiento y al aplicar la prueba t-Student se determinó el tipo de crecimiento: a) isométrico: igual o muy cercano a 3, implica que tiene un crecimiento igual en peso que en longitud. b) alométrico positivo: mayor que tres, indica que está ganando más peso que longitud, los valores altos indican la temporada de apareamiento, donde se gana más peso debido al desarrollo de las gónadas. c) Alométrico negativo: menor que tres, indica que los organismos están ganando menos peso que longitud, lo cual se atribuye a malnutrición de los organismos o un pobre ambiente de desarrollo (Cailliet, 1986).

La relación peso-longitud permite observar el crecimiento de los individuos en ambos canales entre temporadas. La constante de isometría se utilizó para conocer la variación en el crecimiento a lo largo del año.

La talla de primera madurez es la talla a la que los organismos tienen un 50% de probabilidad de estar maduros (Estadio IV, Nikolsky, 1963), esta se estimó aplicando el modelo logístico a las hembras y los machos maduros en el estadio IV (eq. 4).

$$P = \frac{1}{1 + (\text{Exp}^{-r*(Lt-Lm)}} \quad (\text{eq. 4})$$

Dónde:

P =proporción de individuos maduros a la longitud total

r =Pendiente de la curva

L_t =longitud total del organismo en el tiempo

L_m = Longitud media de madurez sexual

(King, 1995)

La ecuación de talla de primera madurez se obtuvo con el programa *gnudplot* y se hicieron las pruebas de t-Student, para encontrar diferencias entre canales y sexos.

RESULTADOS

Reproducción

Estructura histológica del ovario de C. carpio

El ovario de *C. carpio* es de tipo cistovárico (sacular), de la parte externa hacia el interior muestra una pared ovárica delgada con músculo liso, tejido conjuntivo laxo formando la mayor parte de las lamelas, y hacia la parte más interna un epitelio germinal sostenido por una membrana basal. El ovario presenta un desarrollo sincrónico por grupos de las células germinales. En el epitelio germinal se observan células somáticas y germinales (ovogonias), entre el estroma subyacente se observan ovocitos en más de dos estadios diferentes de la ovogénesis (Figura 5).

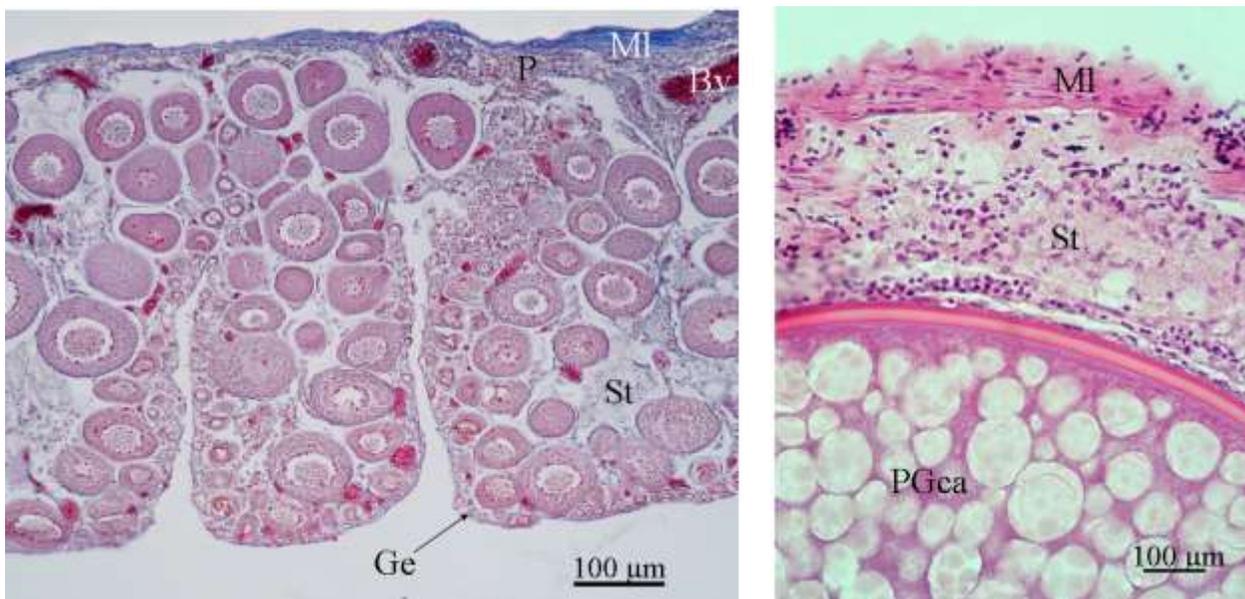


Figura 5. Estructura histológica del ovario de *C. carpio*. A) Panorama del ovario, presenta una pared delgada (P) con músculo liso (MI), Vasos sanguíneos (BV), estroma (St) y un epitelio germinal con ovogónias (Ge). B) Acercamiento del ovario, pared formada por músculo liso (MI), estroma (St) y un ovocito en alveolos corticales (PGca).

Proceso de ovogénesis en C. carpio

En los ovarios de *C. carpio* se observaron distintos estadios de la ovogénesis. Las ovogónias (OG) proliferan en el epitelio germinal aun cuando el ovario ha alcanzado la madurez, el tamaño promedio fue de 20 μm (Figura 6 A). Una vez que las células germinales terminaron la etapa de proliferación empiezan la meiosis I, y en el ovario encontramos ovocitos en cromatina nucléolo (CN), éstos se caracterizan por encontrarse separados del epitelio germinal, formando grupos (nidos) (Figura 6 B, C). Durante la meiosis I quedan detenidos en el diploteno de la profase I, pero su crecimiento continua. El siguiente estadio se llama crecimiento primario (PG) (Figura 6 I), el cual se caracteriza por presentar un ovoplasma basófilo como consecuencia de la acumulación de RNA; consta de varias etapas, siendo la de perinucléolo (PGpn) la más frecuente, se distingue por presentar múltiples nucléolos a la periferia del núcleo. Posteriormente los ovocitos presentan vesículas lipídicas en la periferia y al poco tiempo llenan por completo al ovoplasma; la aparición de las vesículas lipídicas está relacionada con la aparición de los alveolos corticales, los cuales le dan nombre a esta etapa (PGca), es evidente la formación de la zona pelúcida (Figura 6 D, E, F). A esta etapa le sigue la de crecimiento secundario (SG) que se caracterizó por presentar vesículas de vitelo, el desplazamiento de las vesículas lipídicas a la periferia del ovocito, un mayor desarrollo de la zona pelúcida y la vesícula germinal al centro (Figura 6 G, H). Finalmente el ovocito entra a su última etapa, en la cual se observó un desplazamiento de la vesícula germinal hacia el polo animal, las vesículas de lípidos muy pequeñas en la periferia de la célula y placas de vitelo que no alcanzan a fusionarse por completo (Figura 6 I).

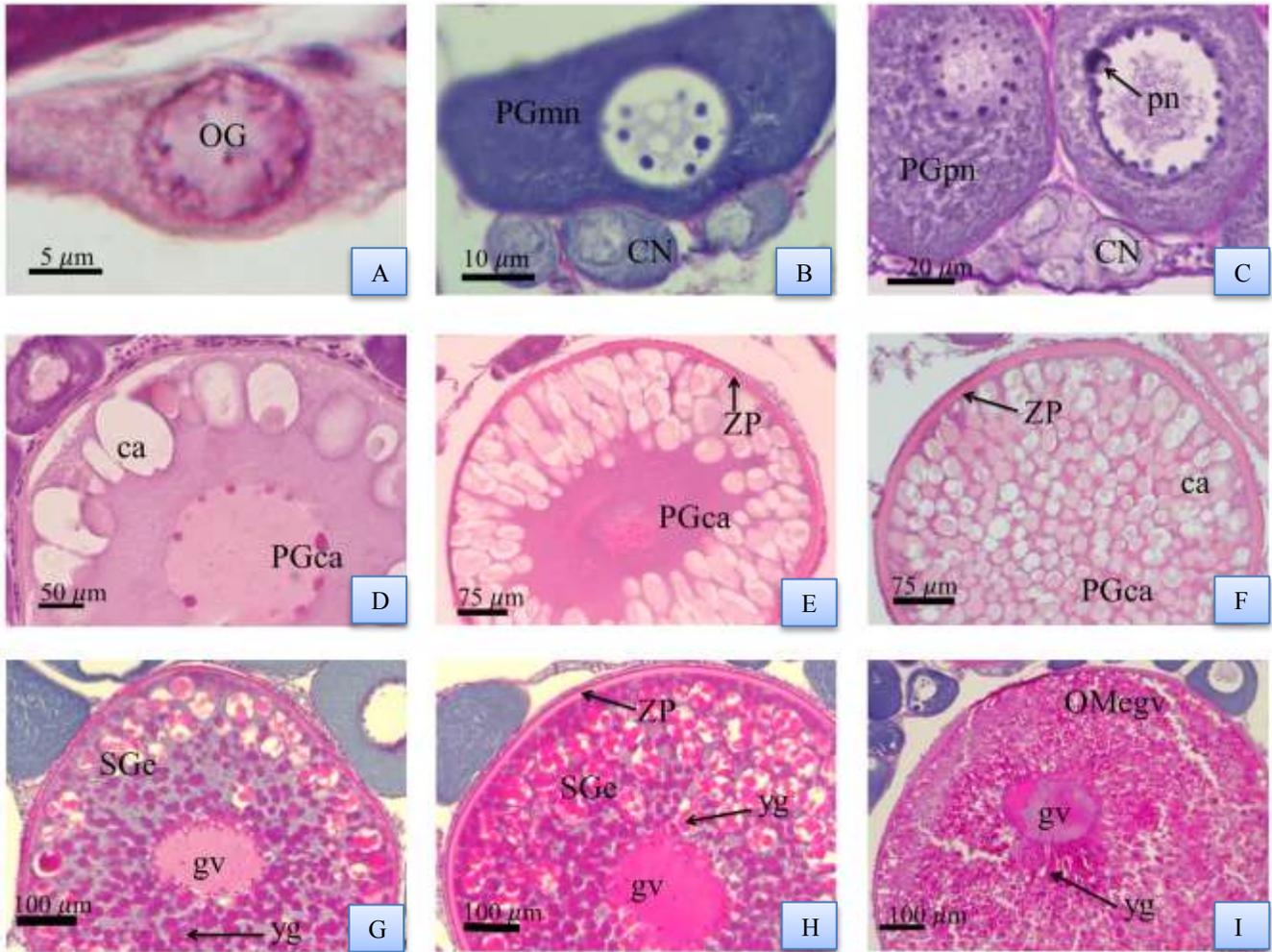


Figura 6. Ovogénesis en *C. carpio*. Ovogónia en el epitelio germinal (A). Ovocito en crecimiento primario en multinucleólo (PGmn) y Ovocitos en cromatina nucléolo (CN) (B). Ovocitos en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn) y ovocitos en cromatina nucléolo (CN) (C). Ovocito en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn) y ovocitos en cromatina nucléolo (CN) (C). Ovocito en crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) en el interior se observan las vesículas lipídicas (od) (D). Ovocito en crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) parcialmente lleno de vesículas lipídicas (od) y una zona pelúcida gruesa (ZP) (E). Ovocito en crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) completamente lleno de vesículas lipídicas (od) y una zona pelúcida bien desarrollada (ZP) (F). Ovocito en crecimiento secundario temprano (SGe) con vesículas de vitelo (yg) y la vesícula germinal al centro (gv) (G). Ovocito en crecimiento secundario temprano (SGe) casi completamente lleno de vesículas de vitelo (yg), la vesícula germinal al centro (gv) y la zona pelúcida bien desarrollada (ZP) (H). Ovocito maduro con la vesícula germinal desplazada hacia el polo animal (OMegv), vesícula germinal (vg), placas de vitelo no fusionadas (yg) y vesículas de lípidos a la periferia (od) (I).

Ciclo reproductor

Ciclo de madurez gonadal

Durante secas cálidas la mayoría de las hembras presentan un ovario inmaduro, con ovogonias en el epitelio germinal y una gran cantidad de ovocitos en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn). Durante lluvias cálidas el ovario presenta predominantemente ovocitos en crecimiento primario perinucleólo (PGpn) y empiezan a observarse ovocitos con alveolos corticales (PGca). Durante lluvias frías la cantidad de ovocitos en crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) aumenta considerablemente y para secas frías la mayor parte de los ovocitos se encuentra en crecimiento secundario (SG) (Figura 7).

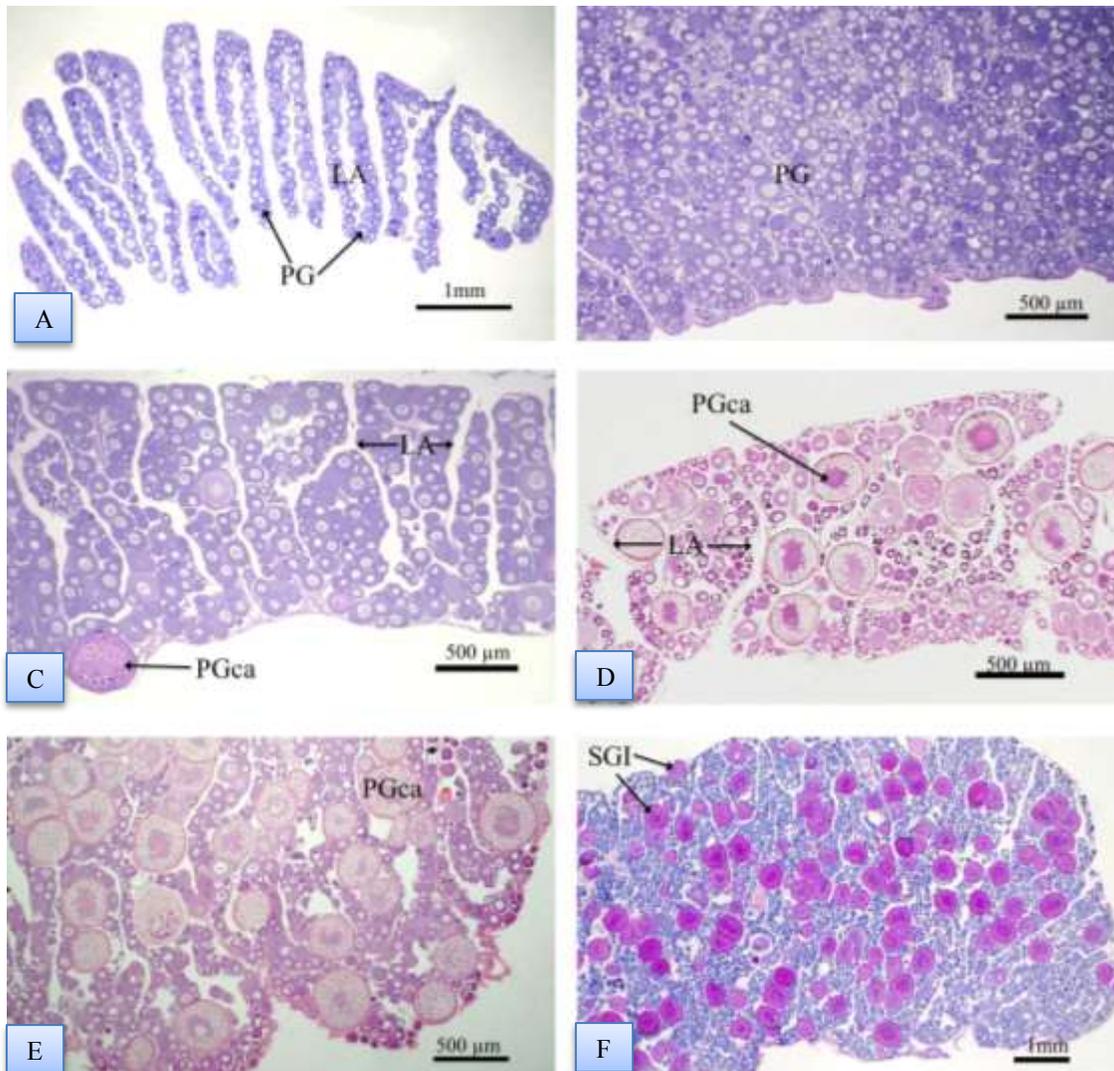


Figura 7. Ovario sacular con desarrollo asincrónico por grupos de las células germinales de *C. carpio* en diferentes estadios de madurez. Estadio predominante en secas cálidas: ovarios inmaduros en las primeras fases de la ovogénesis (A y B). Estadio predominante en lluvias cálidas: ovario en desarrollo, predominan los ovocitos primarios y pocos previtelogénicos (C). Estadio predominante en lluvias frías: ovario en maduración, la mayoría de los ovocitos se encuentran en previtelogénesis tardía (D y E). Estadio en secas frías: ovarios maduros, la mayoría de los ovocitos se encuentra en vitelogénesis temprana o tardía (F). PG ovocitos en crecimiento primario. LA lamelas. SGI ovocitos en crecimiento secundario. Barra (A, B, C, D, E, F) = 1 mm. Tinción (A, B, C, D, E, F) PAS.

Secas cálidas (primavera, marzo a mayo)

Durante esta temporada predominaron las hembras con ovarios que presentaban en su gran mayoría folículos en crecimiento primario en las lamelas y ovogonias en el epitelio germinal (Figura 8 C, D). Las ovogonias presentan una coloración hialina y se encuentran en el epitelio germinal (Figura 8 F). Los ovocitos en crecimiento primario presentan un ovoplasma basófilo (Figura 8 E); esta fase contiene varias etapas, siendo la más encontrada durante este estadio la de ovocitos en crecimiento primario en perinucleolo, este se distingue de las demás por presentar múltiples nucleolos a la periferia de la vesícula germinal.

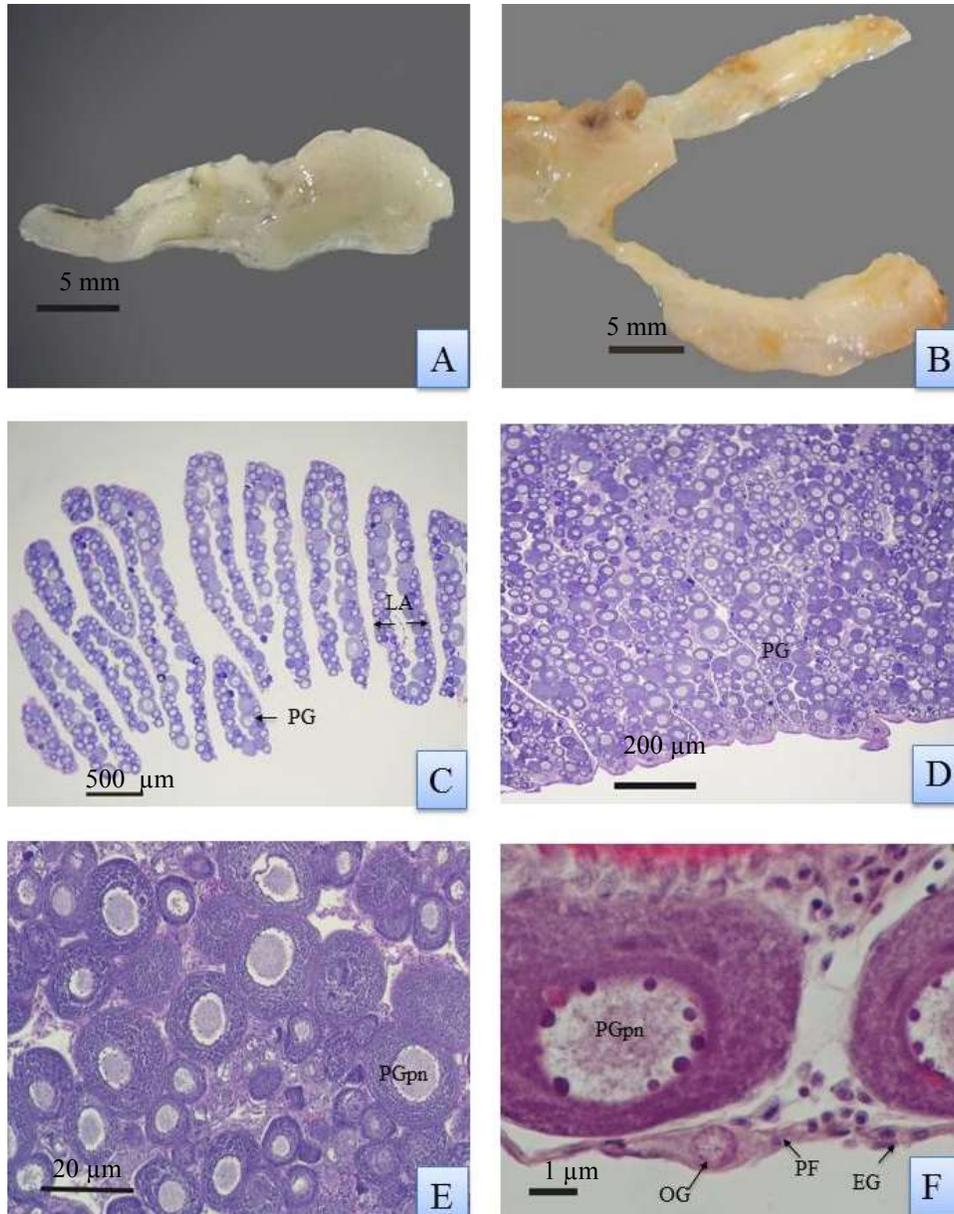


Figura 8. Ovario de *C. carpio* en estadio I. Morfología del ovario disecado (A y B). Lamelas (LA) con ovocitos en crecimiento primario con citoplasma basófilo (PG) Tinción PAS (C y D). Ovocitos en crecimiento primario en perinucleolo (PGpn), tinción PAS (E). Epitelio germinal (GE) con una ovogonia (OG) rodeado por células prefoliculares (PF), con ovocitos en crecimiento primario en perinucleolo; tinción HE (F).

Este grado de madurez gonadal corresponde con el estadio I de Nikolsky (Inmaduro), en el cual no fue posible distinguir entre hembras y machos maduros a simple vista, por lo que fue necesaria la identificación por medio de la histología. Estos macroscópicamente presentaron una coloración transparente y una forma tubular muy delgada y alargada.

Las hembras con ovarios en estadio I se encontraron presentes durante todo el año en Cuemanco y Apatlaco. En Cuemanco se observaron casi todos los meses predominando de marzo a mayo, mientras que en Apatlaco hay pocos durante todo el año, excepto en abril cuando su proporción se acerca al 90 % del total (Figura 9).

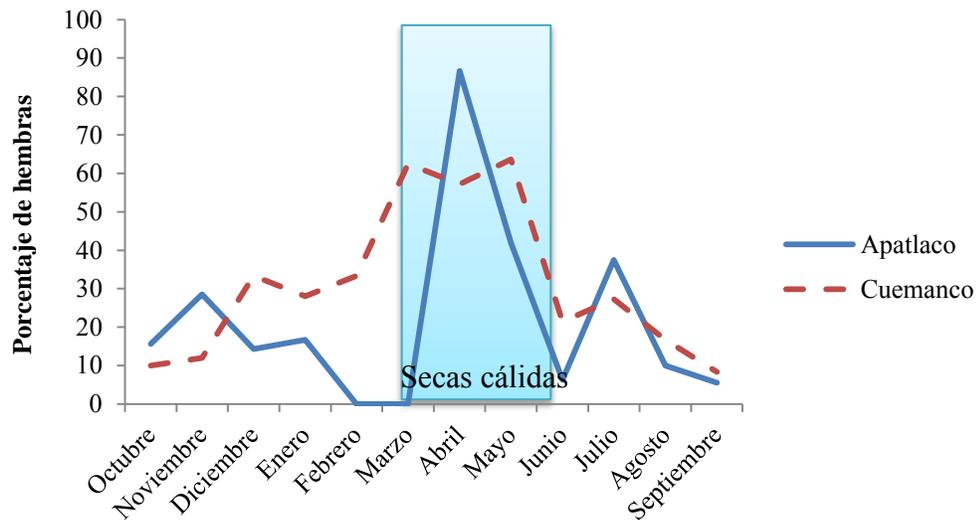


Figura 9. Proporción de hembras de *C. carpio* en el estadio I en los canales de Cuemanco y Apatlaco en un ciclo anual.

Durante esta temporada el IGS tuvo un promedio de 15.9 y 17.3 para los canales de Apatlaco y Cuemanco Respectivamente, sin tener una diferencia significativa ($t_0 -0.294$; $P > 0.05$) (Figura 10).

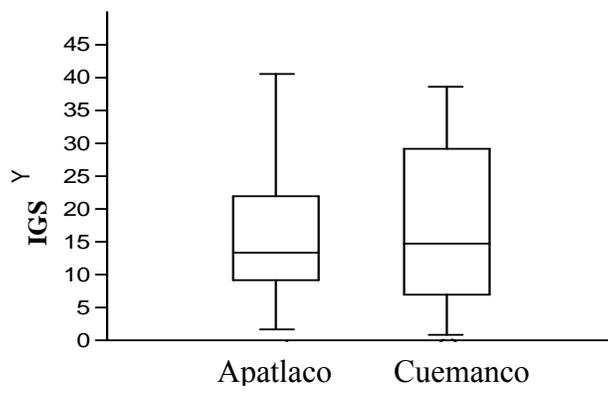


Figura 10. Índice gonadosomático en las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco durante secas cálidas.

Lluvias cálidas (verano, Junio a Agosto)

Durante lluvias cálidas predominaron las hembras que presentaron ovarios donde predominaron los ovocitos en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn), pero ya se empiezan a encontrar ovocitos en crecimiento primario con alveolos corticales (Pgca) (Figura 11 B, C, D). Los ovocitos en crecimiento primario presentan un ovoplasma basófilo (Figura 11 E). El ovoplasma de los ovocitos en crecimiento primario con alveolos corticales se observa con vesículas lipídicas a la periferia (Figura 11 F).

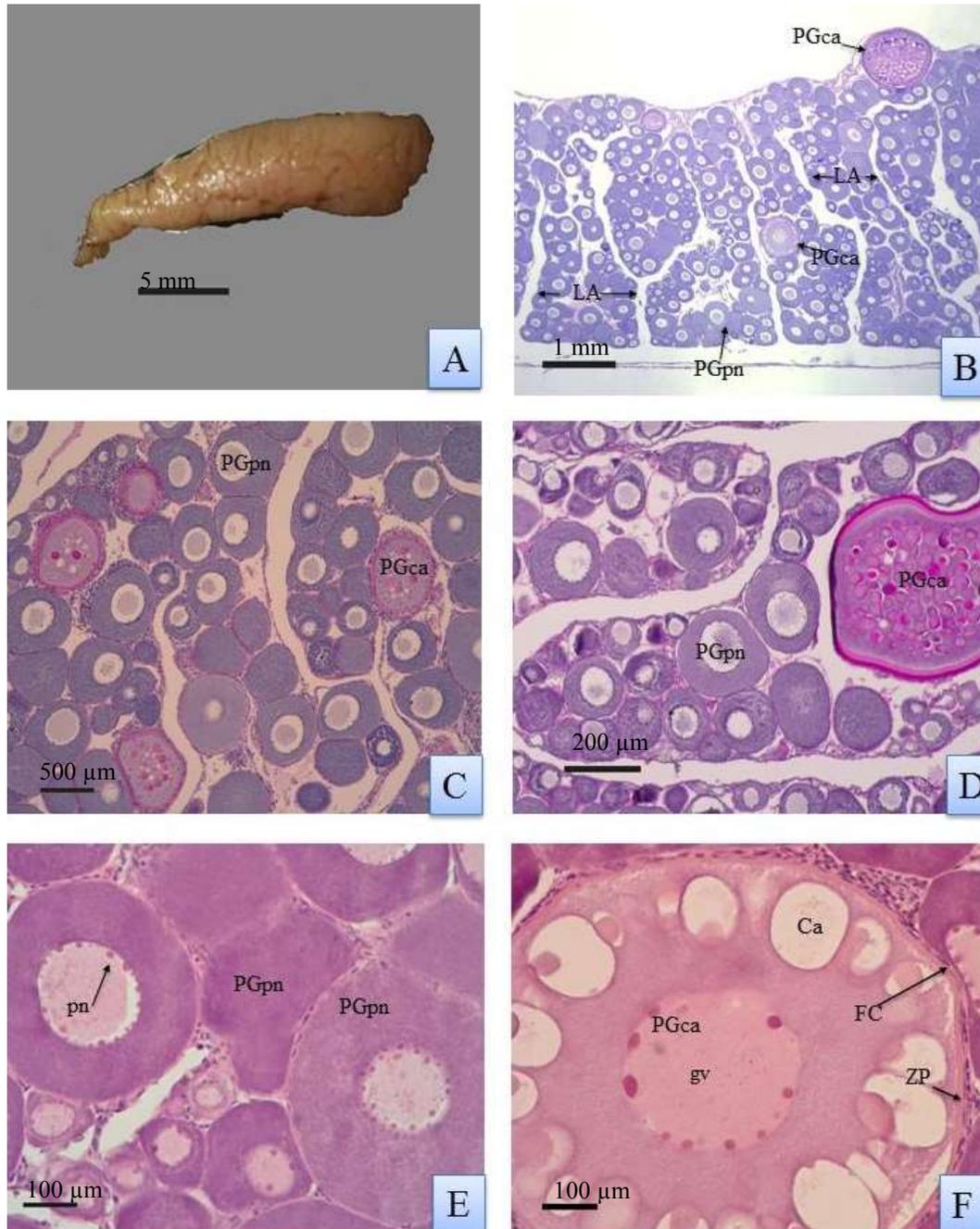


Figura 11. Ovario de *C. carpio* en estadio II. Ovario disecado, lamelas con ovocitos poco visibles a simple vista (A). Corte longitudinal, lamelas (LA) con ovocitos en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn), y pocos ovocitos con crecimiento primario con alveolos corticales (PGca), tinción PAS (B). Ovocitos en crecimiento primario en perinucleólo (PGpn), y

pocos con crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) Tinción PAS (C, D). Ovocitos en perinucleolo (PGpn) Tinción HE (E). Ovocito con crecimiento primario con alveolos corticales (PGca), la vesícula germinal (vg) es visible al centro, la zona pelúcida (ZP) es pequeña y rodea al ovocito junto con las células foliculares (FC). Tinción HE.

Este grado de madurez gonadal corresponde con el estadio II de Nikolsky (Detención), en este momento los ovarios fueron de un tamaño mayor al que presentaban las hembras inmaduras y es posible ver algunos ovocitos a simple vista (Figura 11 A).

En Xochimilco los organismos en este estadio son poco frecuentes a lo largo del año. Sin embargo, en Cuernavaca se encuentran en bajas proporciones durante la mayor parte del año y aumentan su proporción en los meses de junio a septiembre (lluvias cálidas, verano), en Apatlaco de septiembre a abril están prácticamente ausentes y de junio a agosto (lluvias cálidas, verano) están presentes entre 30 y 60 % (Figura 12).

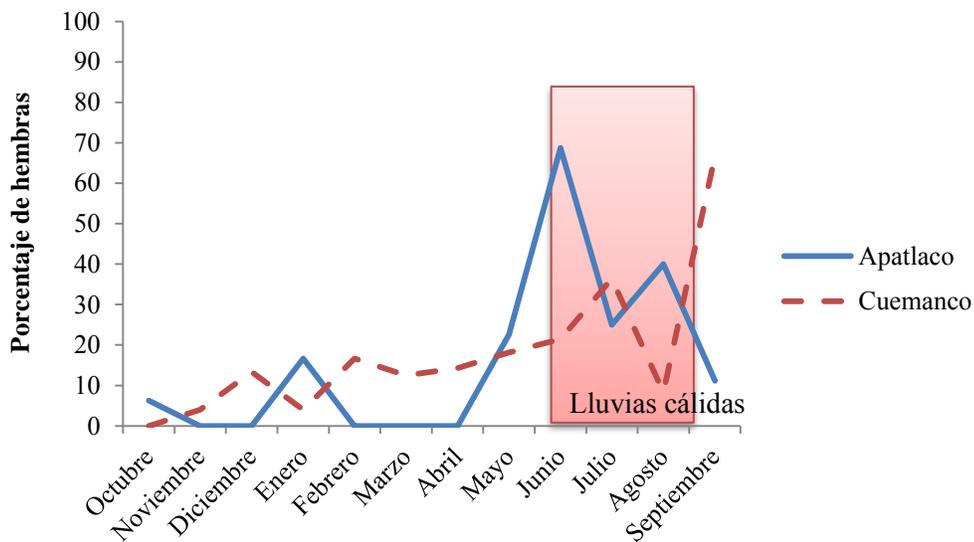


Figura 12. Proporción de hembras con ovarios de *C. carpio* en el estadio II en los canales de Cuernavaca y Apatlaco en un ciclo anual.

Durante esta temporada el IGS en Apatlaco obtuvo un promedio de 11.19 mientras que Cuemanco presento un promedio IGS promedio de 15.71, la diferencia entre ambas resulto significativamente diferente ($t = -4.28$, $P < 0.001$) (Figura 13).

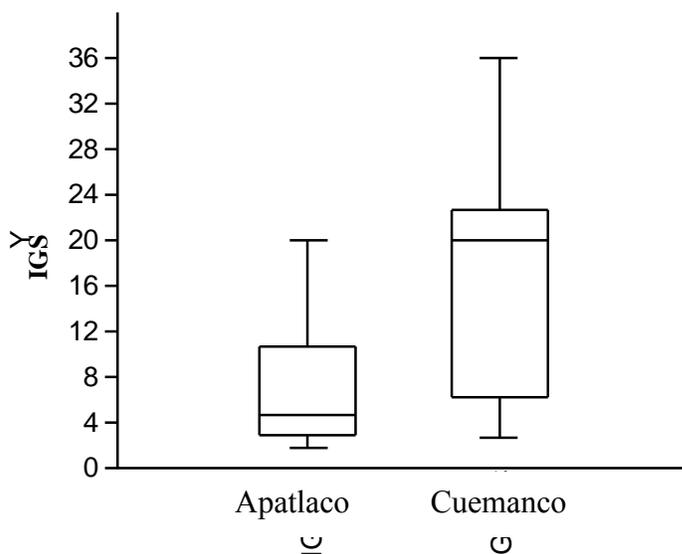


Figura 13. Índice Gonadosomático en las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco

Lluvias frías (otoño, septiembre a noviembre)

Durante la temporada de lluvias frías en las hembras predominaron ovarios en los que se presentaron ovocitos en crecimiento primario en perinucléolo y empiezan a ser más abundantes los ovocitos con alveolos corticales (Figura 14 C, D); el citoplasma de estos ovocitos se encuentra lleno de vesículas lipídicas (Figura 14 E, F), en algunos casos también se encontraron ovocitos atrésicos, pero en poca abundancia (Figura 14 E).

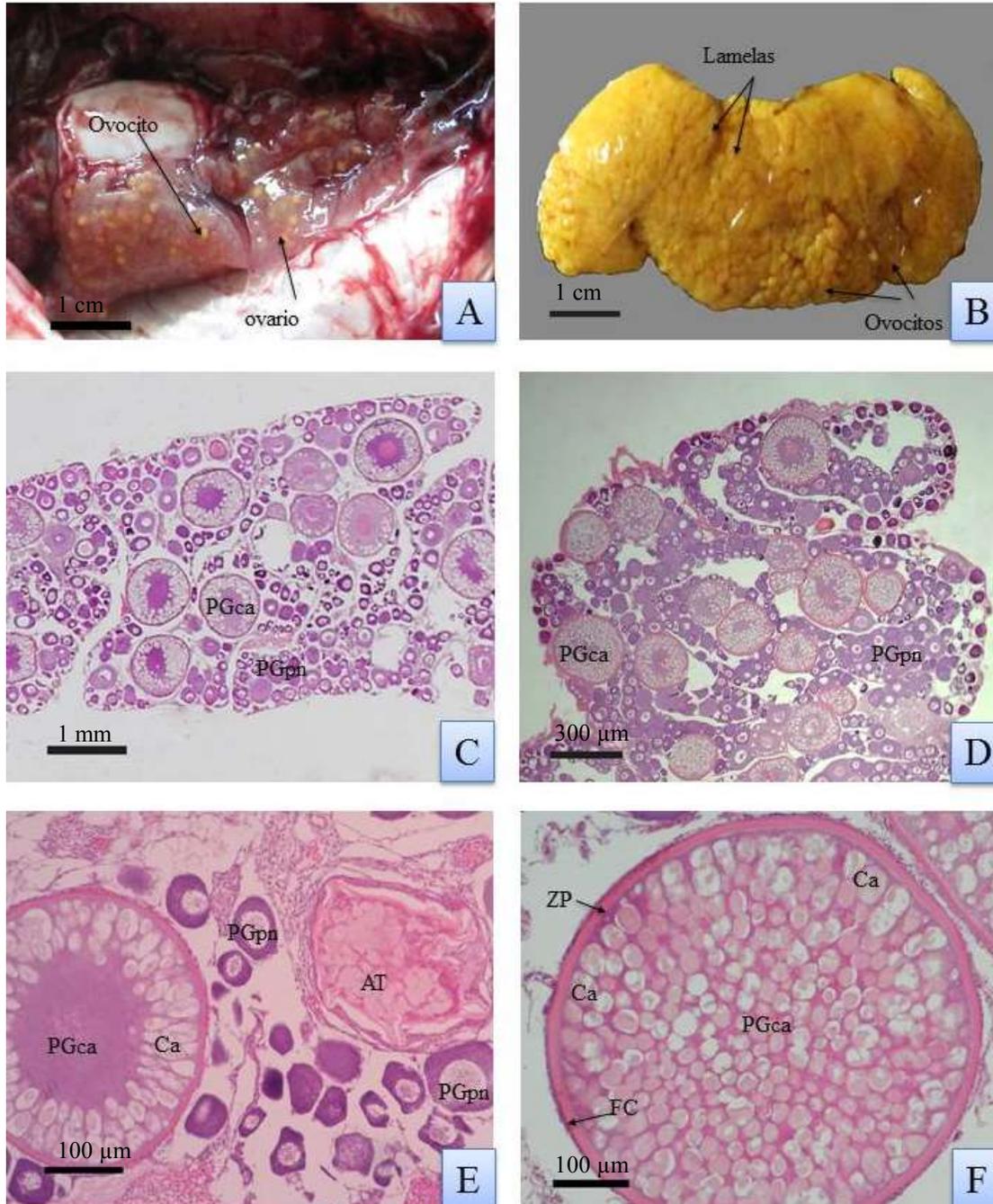


Figura 14. Ovario de *C. carpio* en estadio IV. Ovario recién disectado con ovocitos vitelogénicos (A). Ovario maduro fijado en bouin con ovocitos vitelogénicos en color amarillo (B). Vista panorámica de ovario, ovocitos en crecimiento

secundario tardío (SGI) y ovocitos con crecimiento primario (PG), tinción PAS (C). Ovocitos con crecimiento primario en perinucleolo (PGpn), ovocitos con crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) y ovocitos con crecimiento secundario tardíos (SGI), tinción PAS (D). Ovocito en crecimiento secundario, presenta abundantes glóbulos de vitelo (yg), la vesícula germinal (vg) desplazada hacia el polo animal y una zona pelúcida bien desarrollada (ZP); algunos ovocitos en etapas más tempranas (PGpn), tinción PAS (E, F).

Este grado de madurez ovárica corresponde con el estadio III de Nikolsky (Maduración), aquí el ovario ocupa la mayor parte de la cavidad abdominal. La mayoría de los ovocitos se encuentra en crecimiento primario en alveolos corticales en las lamelas, por lo que los ovocitos empiezan a ser visibles a simple vista (Figura 14 A, B).

En Xochimilco las hembras en este estadio se mantienen fluctuantes entre el 0 y el 40% a lo largo del año. En el canal de Cuemanco tiene fluctuaciones a lo largo del año, con un máximo a la mitad de la temporada de lluvias frías (octubre). Del mismo modo Apatlaco presenta variaciones en la proporción de este estadio, se observa que aumenta lentamente durante la temporada de lluvias frías y alcanza su máximo en el mes de octubre (Figura 15).

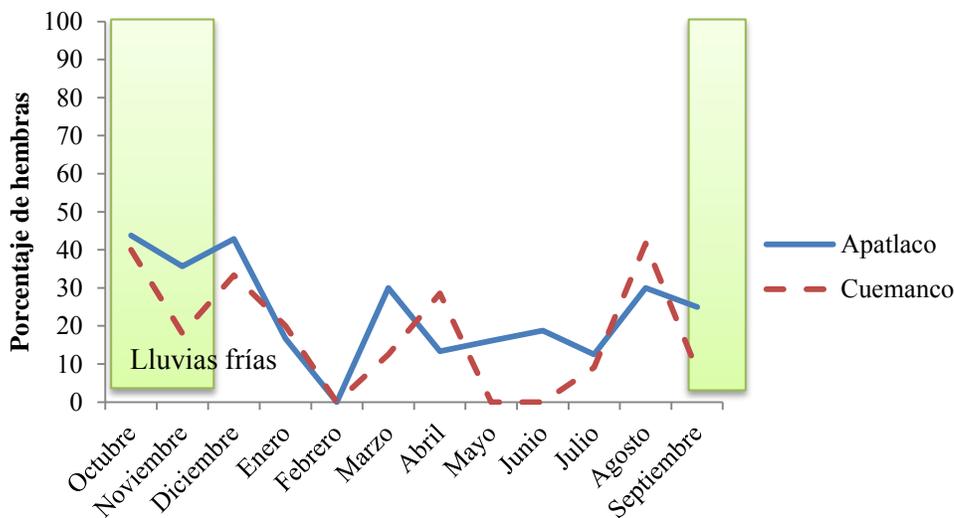


Figura 15. Proporción de hembras de *C. carpio* con ovarios en estadio III en A) Cuemanco y B) Apatlaco.

Durante esta temporada el IGS promedio en Apatlaco fue de 11.19 y en Cuernavaca de 15.51, los cuales no fueron significativamente diferentes (Figura 16).

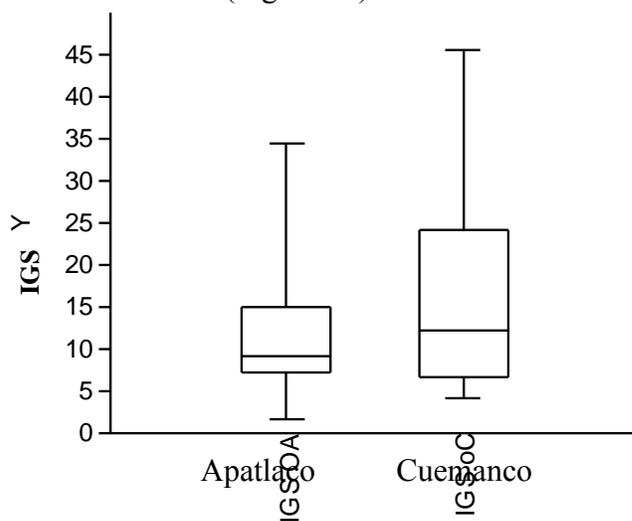


Figura 16. IGS de las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuernavaca y Apatlaco en lluvias frías.

Secas frías (Invierno, Diciembre a Enero)

Durante la temporada de secas frías la mayoría de las hembras presenta un ovario en el cual prevalecen los ovocitos en crecimiento secundario (SG) y maduros (OM), pero siguen presentes estadios más tempranos (PGpn y PGca) (Figura 17 C, D). Los ovocitos en crecimiento secundario se caracterizan por presentar plaquetas de vitelo en el ovoplasma desplazando la vesícula germinal al polo animal, lo cual contribuye al aumento de tamaño del ovocito (Figura 17 E). En este estadio la zona pelúcida está bien desarrollada (ZP en Figura 17 F).

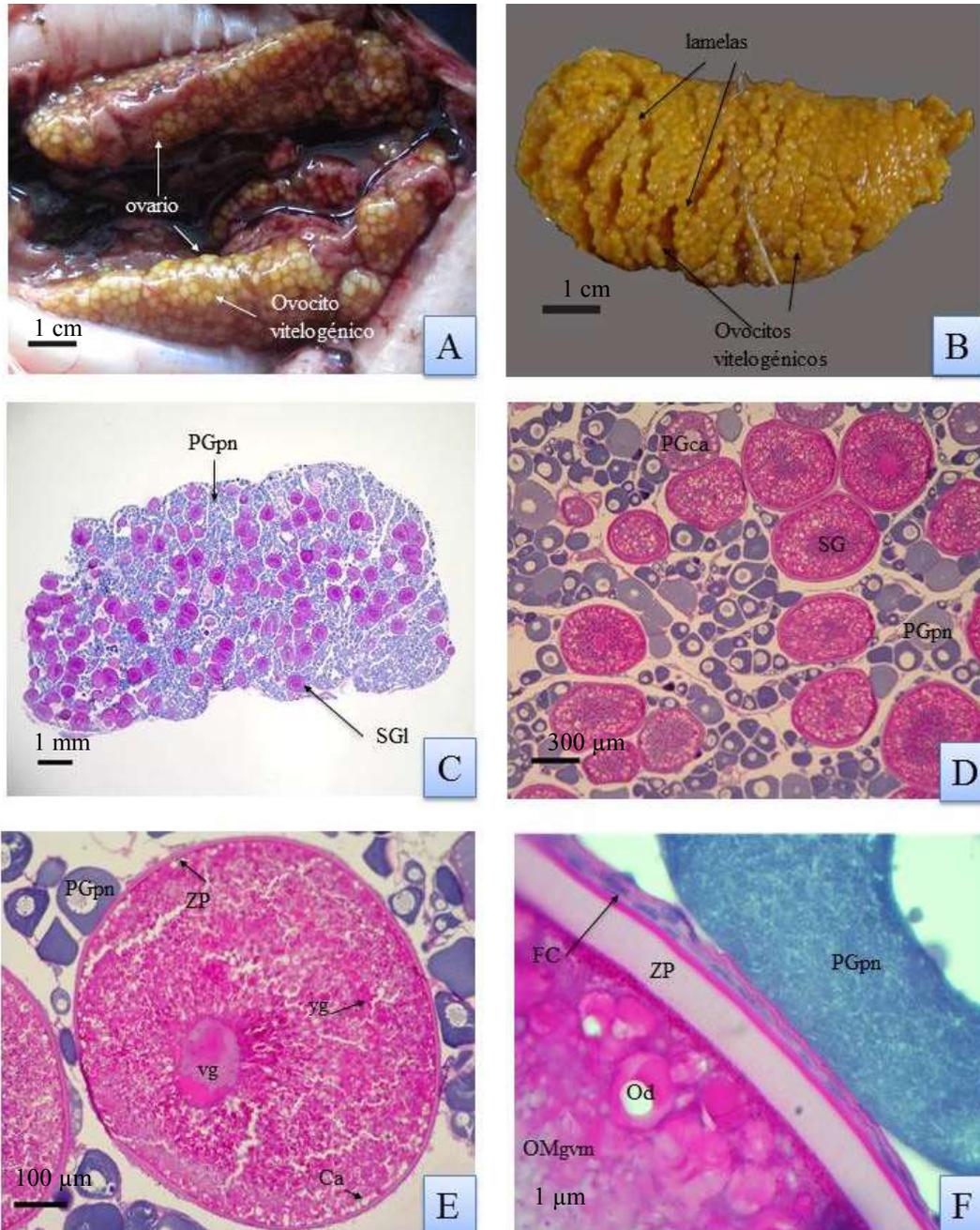


Figura 17. Ovario de *C. carpio* en estadio IV. Ovario recién disectado con ovocitos vitelogénicos (A). Ovario maduro fijado en bouin con ovocitos vitelogénicos en color amarillo (B). Vista panorámica de ovario, ovocitos en crecimiento

secundario tardío (SGI) y ovocitos con crecimiento primario (PG), tinción PAS (C). Ovocitos con crecimiento primario en perinucleolo (PGpn), ovocitos con crecimiento primario con alveolos corticales (PGca) y ovocitos con crecimiento secundario tardíos (SGI), tinción PAS (D). Ovocito maduro (OM), presenta abundantes glóbulos de vitelo (yg), la vesícula germinal (vg) desplazada hacia el polo animal y una zona pelúcida bien desarrollada (ZP); algunos ovocitos en etapas más tempranas (PGpn), tinción PAS (E, F).

El grado de madurez ovárica que predomina en secas frías corresponde con el estadio IV de Nikolsky (Maduros). En este estadio, el ovario ocupa la mayor parte de la cavidad abdominal. Los ovocitos se encuentran en crecimiento secundario y maduro por lo que son visibles a simple vista con una coloración amarilla intensa (Figura 17 A, B).

En Xochimilco este estadio estuvo presente durante todo el año, con excepción de abril, siendo en Cuemanco más abundante que en Apatlaco, en Cuemanco presenta dos máximos en enero y junio (50%) y en Apatlaco solo un pico durante febrero (Figura 18).

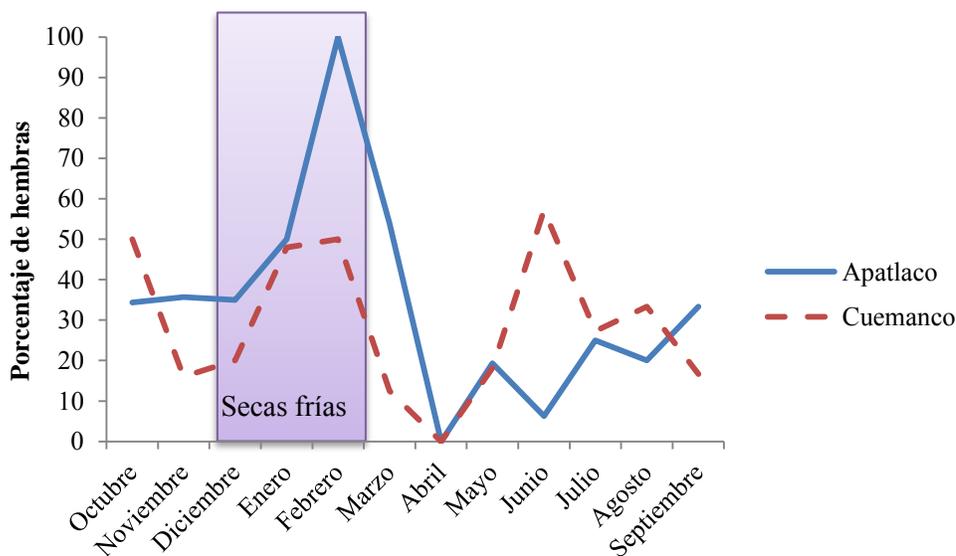


Figura 18. Proporción de hembras de *C. carpio* en el estadio IV en los canales de Cuemanco y Apatlaco en un ciclo anual.

Durante esta temporada el IGS promedio aumento en ambos canales. En Apatlaco fue de 26.17 y en Cuemanco de 16.59, los cuales no fueron significativamente diferentes ($t= 1.76$, $p=0.83$) (Figura 19).

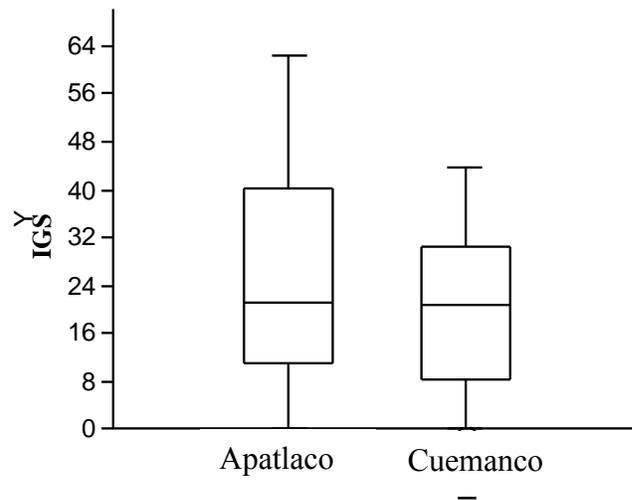


Figura 19. IGS de las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco en secas frías.

Resumen de maduración gonadal de hembras a lo largo de un ciclo anual

En el Canal de Apatlaco los cuatro estadios de madurez gonadal estuvieron presentes durante todo el año, no obstante, en cada temporada se obtuvieron valores máximos que permitieron establecer el ciclo reproductivo anual (Figura 20). El cual inicio en la temporada de secas cálidas cuando predomino el estadio I (inmaduro), en la temporada de lluvias cálidas predomino el estadio II (en descanso), en la temporada de lluvias frías el estadio III (maduración) y en la temporadas de secas frías el estadio IV (reproducción). En el mes de febrero el estadio IV obtuvo su máximo del 100%.

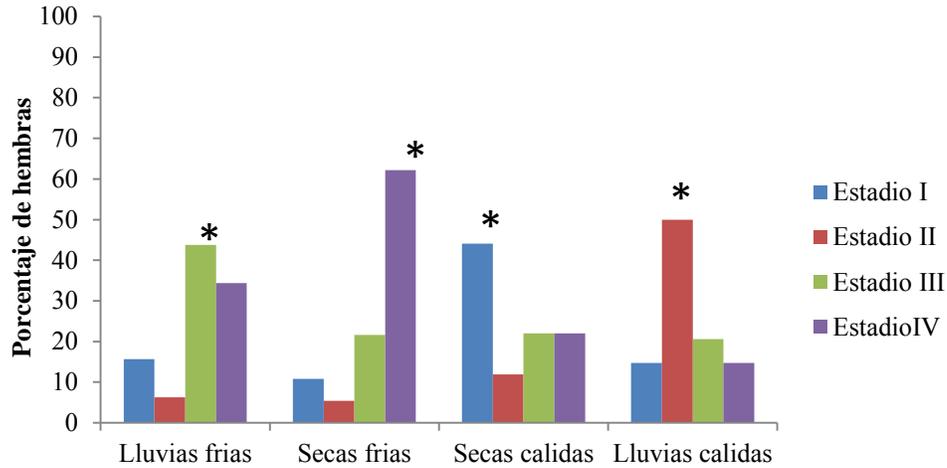


Figura 20. Ciclo de maduración anual en las hembras *C. carpio* en el canal de Apatlaco. Los * indican el estadio predominante por temporada.

En el canal de Cuemanco se encontró una variación en los estadios de maduración gonadal en hembras a lo largo del año. No obstante, se puede reconocer el ciclo reproductivo anual. El ciclo reproductivo comienza en la temporada de secas cálidas cuando más del 60% de los organismos se encontró en estadio I (Inmaduro), luego en la temporada de lluvias cálidas el estadio II (descanso) llego a su máximo con un 28%, posteriormente en la temporada de lluvias frías el estadio III (maduración) predomina sobre los otros estadios, y finalmente en la temporada de secas frías el estadio IV (reproducción) alcanza su máximo (Figura 21).

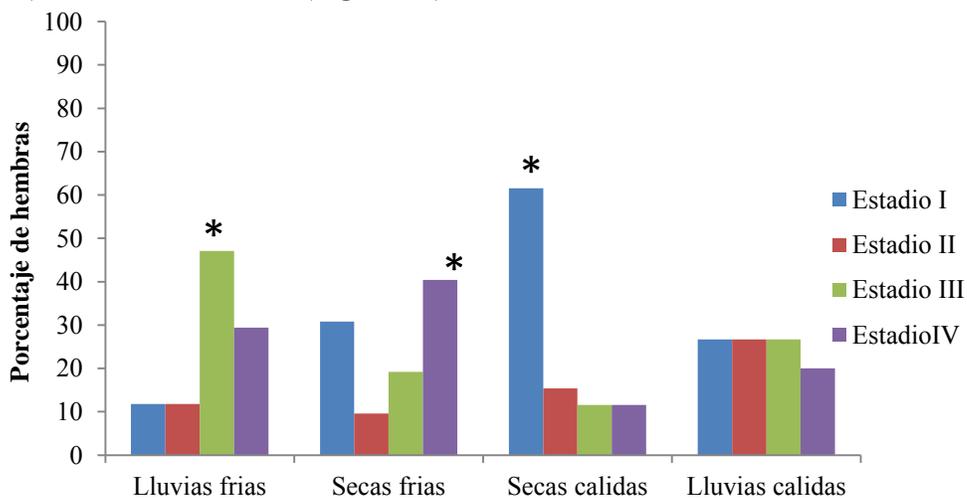


Figura 21. Ciclo de maduración anual en las hembras *C. carpio* en el canal de Cuemanco. Los * indican el estadio predominante por temporada.

Resumen de la variación del Índice Gonadosomático (IGS) en hembras en un ciclo anual

Las hembras presentaron un IGS que cambió a lo largo del ciclo anual. En Apatlaco se observó un ciclo reproductivo anual bien marcado, en el cual las gónadas comienzan a ganar peso durante lluvias frías (septiembre a noviembre); a finales de secas frías (Febrero) alcanza su máximo y rebasando al Índice gonadosomático correspondiente a la talla de primera madurez (Figura 22, líneas punteadas), indicando de esta forma la temporada reproductiva. En Cuemanco el IGS se observó con una tendencia a dos picos reproductivos, los cuales rebasaron al Índice gonadosomático correspondiente a la talla de primera madurez, el primero en secas frías y el segundo en lluvias cálidas, sin ser estos tan evidentes como el de Apatlaco (Figura 22).

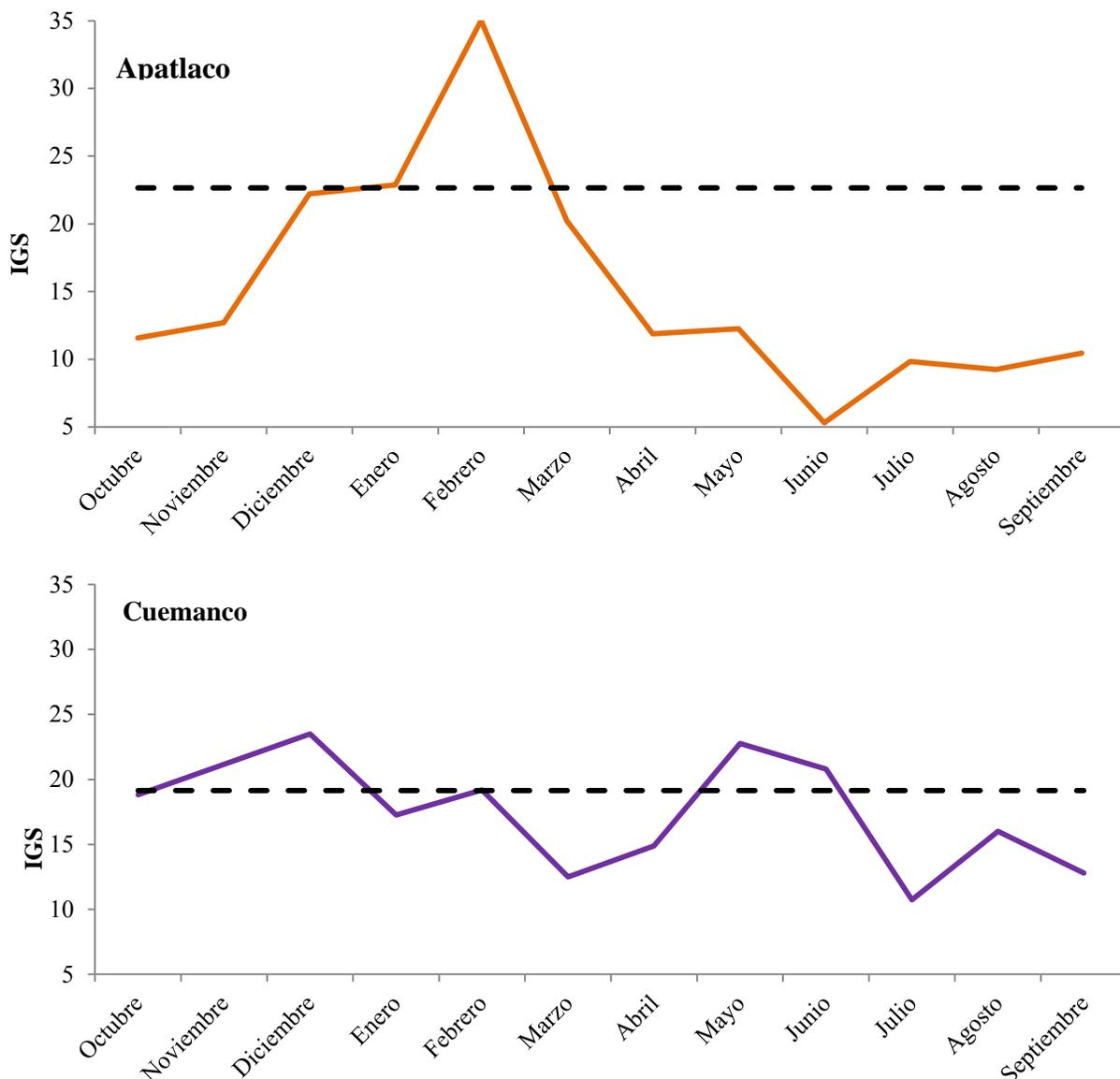


Figura 22. Índice gonadosomático de las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco; la línea punteada indica el índice gonadosomático correspondiente a la talla de primera madurez. (Talla de primera madurez en hembras de Cuemanco =14.67 cm, índice gonadosomático correspondiente = 15.734; Talla de primera madurez en machos =13.32 cm, índice gonadosomático correspondiente = 12).

Machos

El testículo de *C. carpio* es de tipo tubular anastomosados, de la parte externa hacia el interior muestra una pared testicular delgada con músculo liso, tejido conjuntivo laxo forma la mayor parte de los túbulos, y hacia la parte más interna un epitelio germinal es sostenido por una membrana basal. El testículo presenta un desarrollo no restringido de las espermatogonias. En el epitelio germinal se observan a las células de Leydig rodeando a las espermatogonias, entre el estroma subyacente se observan quistes con espermatozoides y espermatidas (Figura 23).

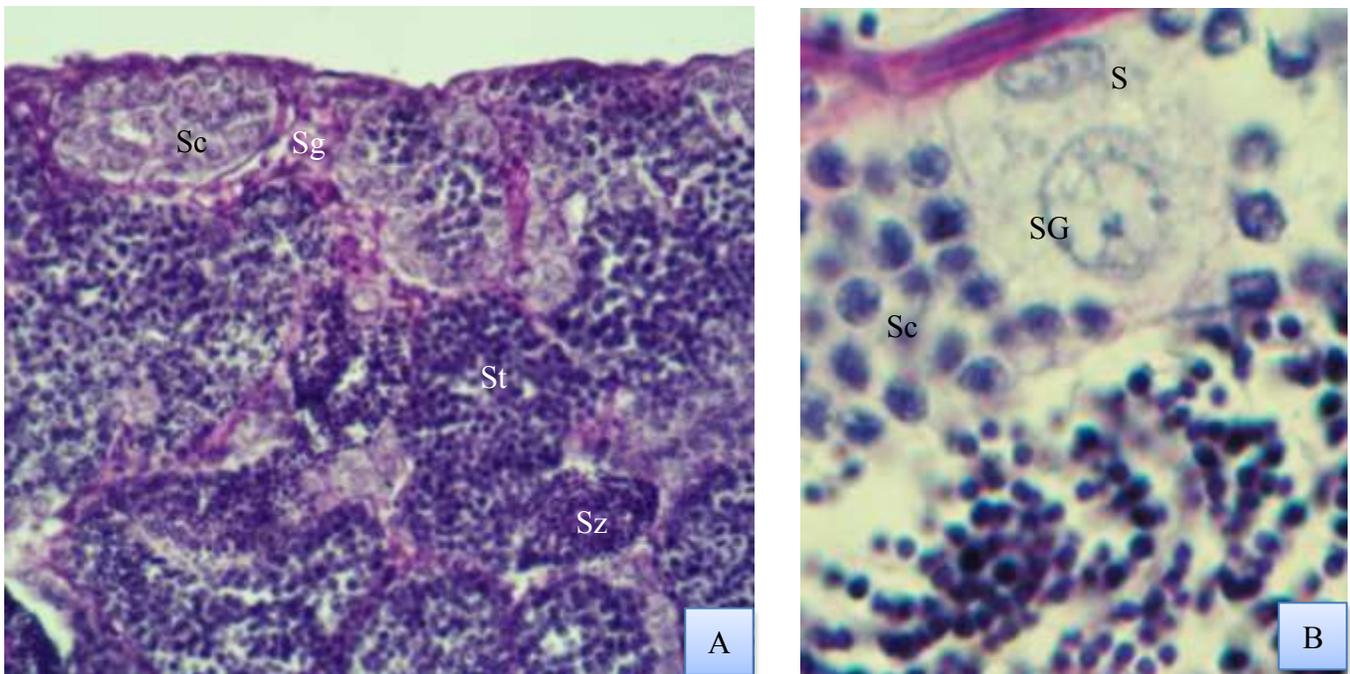


Figura 23. Estructura microscópica del testículo. A) Vista panorámica del testículo, presenta quistes de espermatogonias (Sg) y espermatocitos (Sc) hacia la periferia del testículo, más hacia la luz se observan espermatidas (St) y espermatozoides (Sz). B) Espermatogonia (Sg) con célula de Sertoli (S).

La maduración del testículo es menos evidente macroscópicamente, sin embargo microscópicamente es posible seguir el desarrollo del mismo (Figura 24). La maduración es similar en tiempos a la del ovario.

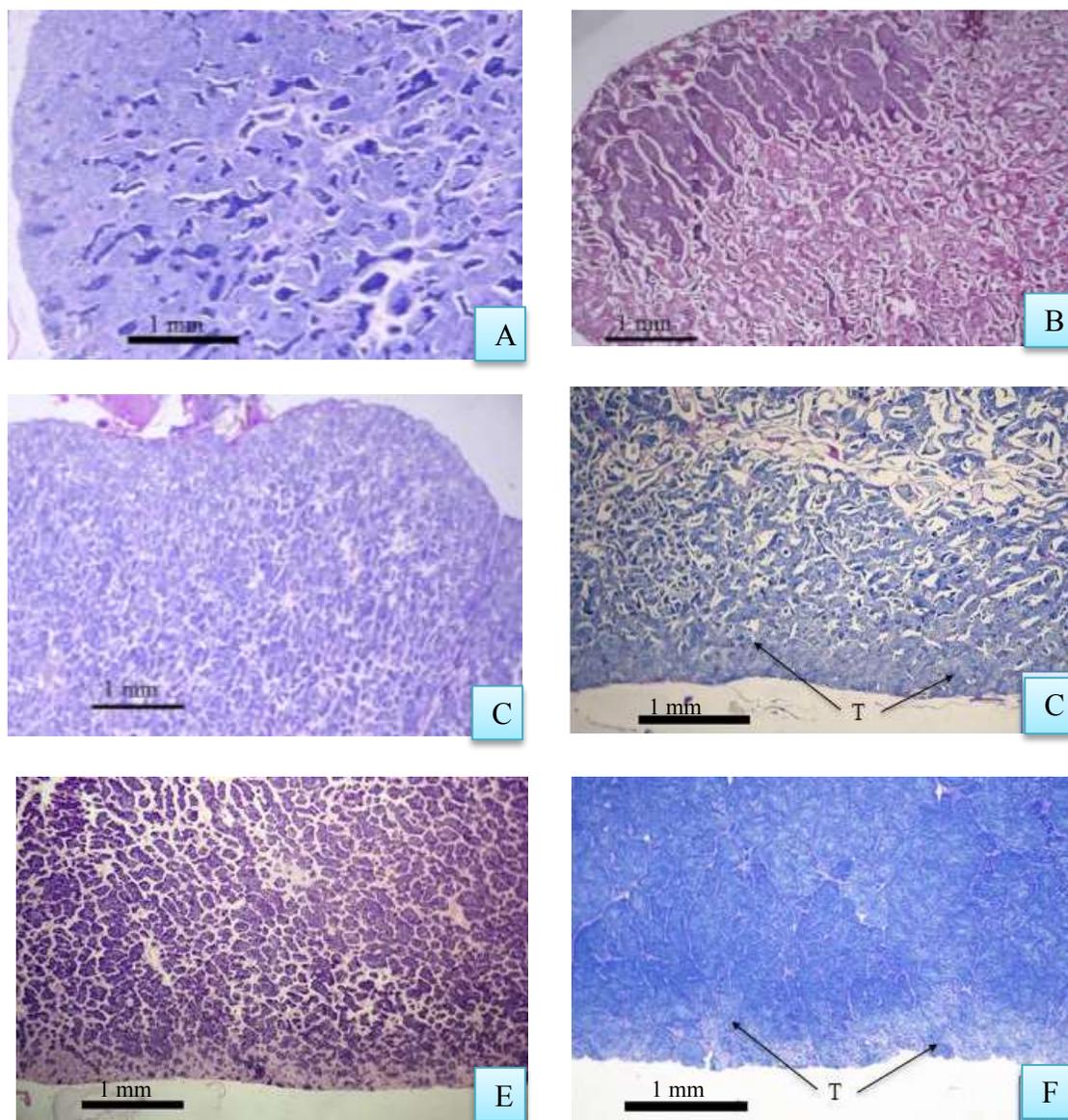


Figura 24. Maduración del testículo A) Inmaduro, B) C) detención. D), E) Maduración. F) reproducción

Secas cálidas (Primavera, Marzo a Mayo)

Los testículos de *C. carpio* son del tipo tubular anastomosado y durante esta temporada, y dentro de los túbulos se encontraron una alta proporción de quistes con espermatogonias no restringidas (Figura 25 B); aunque también se observaron quistes con espermatocitos primarios, espermatidas y en la luz de algunos túbulos se observaron espermatozoides (Figura 25 C, D).

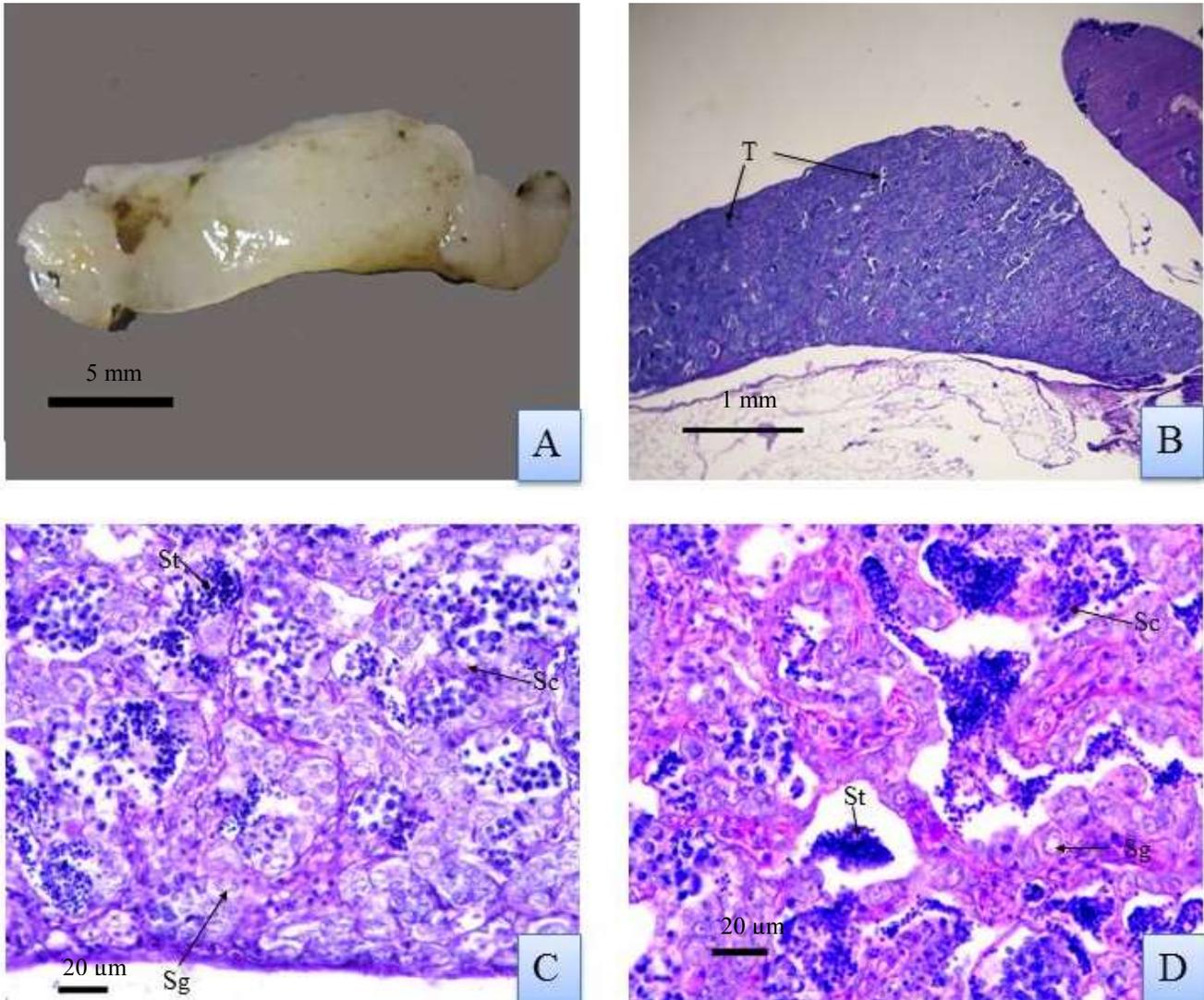


Figura 25. Testículo en estadio I, Secas cálidas (marzo a mayo). A) Testículo recién disecado, barra = 5 mm. B) Vista Panorámica del testículo con túbulos visibles (T), barra = 1 mm, tinción PAS. C) Túbulos con quistes de espermatogonias (Sg), espermatocitos primarios (Sc) y espermatidas (St), barra = 20 µm. D) Túbulos del testículo con abundantes espermatogonias (Sg) y espermatocitos (Sc); en su luz espermatidas (St), barra = 20 µm. B, C y D Tinción de Ácido peryódico (PAS).

Este grado de maduración corresponde con el estadio I de Nikolsky (1963) en el los testículos son pequeños y a simple vista no es posible distinguirlos de los ovarios, son completamente lisos, de forma arriñonada y transparentes (Figura 25 A).

En Xochimilco fue el segundo estadio más abundante, alcanzando su máximo durante los meses de marzo a junio en el canal de Cuemanco y en abril en el canal de Apatlaco, siendo en este último donde alcanzó una proporción mayor al 80% (Figura 26).

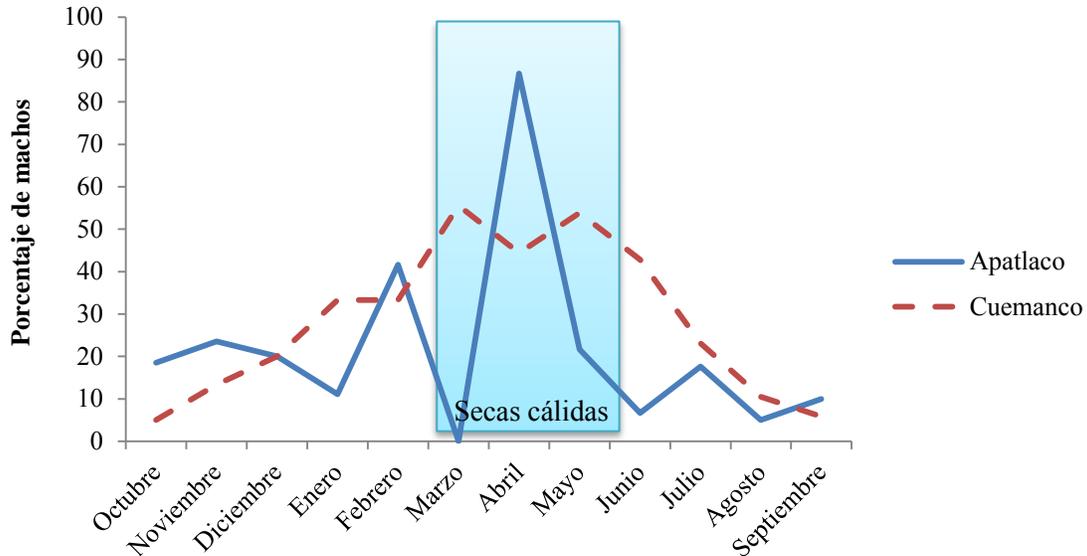


Figura 26. Proporción de machos de *C. carpio* en el estadio I en los canales de Cuemanco y Apatlaco.

Durante esta temporada los machos en Apatlaco presentaron un IGS promedio de 11.19 mientras que Cuemanco presento un promedio IGS promedio de 12.95 la diferencia entre ambas no resulto significativamente diferente ($t = -0.662$, $P = 0.483$) (Figura 27).

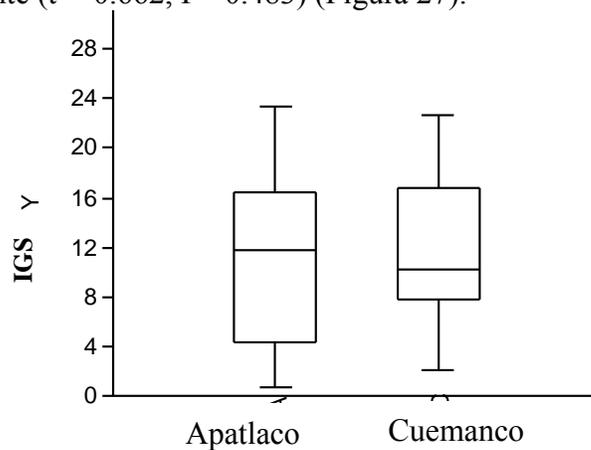


Figura 27. Índice Gonadosomático en las machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco durante la secas cálidas.

Lluvias cálidas (otoño, septiembre a noviembre)

Durante lluvias cálidas predominaron los machos que manifestaron testículos con espermatogonias en el epitelio germinal así como una alta proporción de quistes con espermatocitos primarios (Figura 28 C). También, en este estadio fue posible observar espermatidas y espermatozoides en la luz de los túbulos, pero en menor proporción que los quistes de espermatocitos (Figura 28 D).

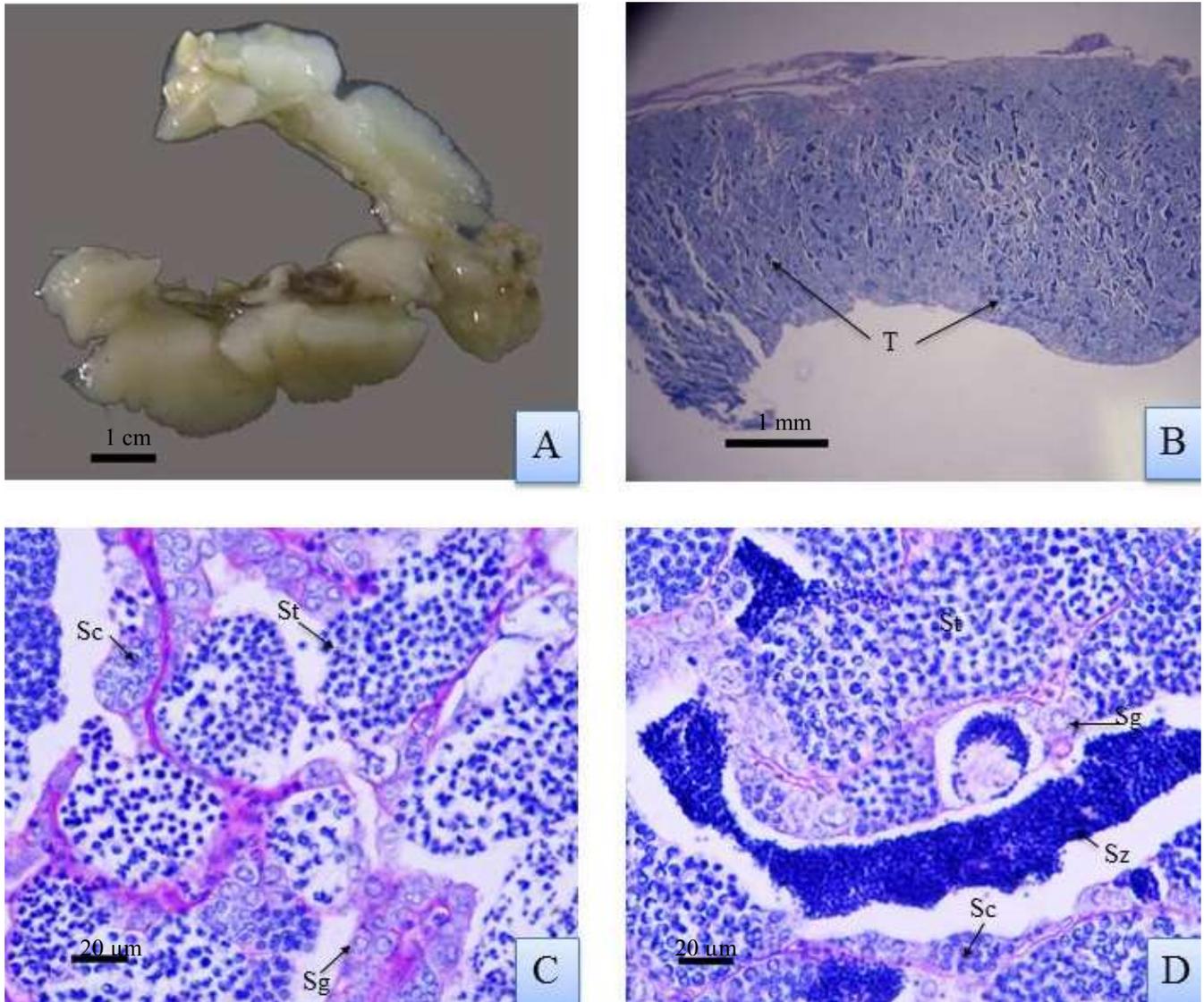


Figura 28. Testículo en estadio II, lluvias cálidas (junio a agosto). A) Testículo recién disecado. B) Panorámica del testículo con túbulos visibles (T), barra 1 mm, tinción PAS. C) Quistes con espermatogonias (Sg) lóbulos con quistes de espermatidas (St) y espermatocitos primarios (Sc). D) pocos quistes con espermatogonias (Sg) y espermatocitos (Sc), lóbulos con espermatidas (St) y espermatozoides (Sz).

Este estadio de madurez corresponde con el estadio II de Nikolsky (detención), en este estadio los testículos fueron más grandes, siguieron presentando una coloración transparente, pero se comenzaba a observar un ligero tono blancuzco al interior (Figura 28 A).

En Xochimilco este estadio fue más abundante en Cuemanco que en Apatlaco. En Cuemanco alcanzó su máximo durante septiembre, mientras que en Apatlaco el máximo de este estadio se alcanzó durante el mes de junio (Figura 29).

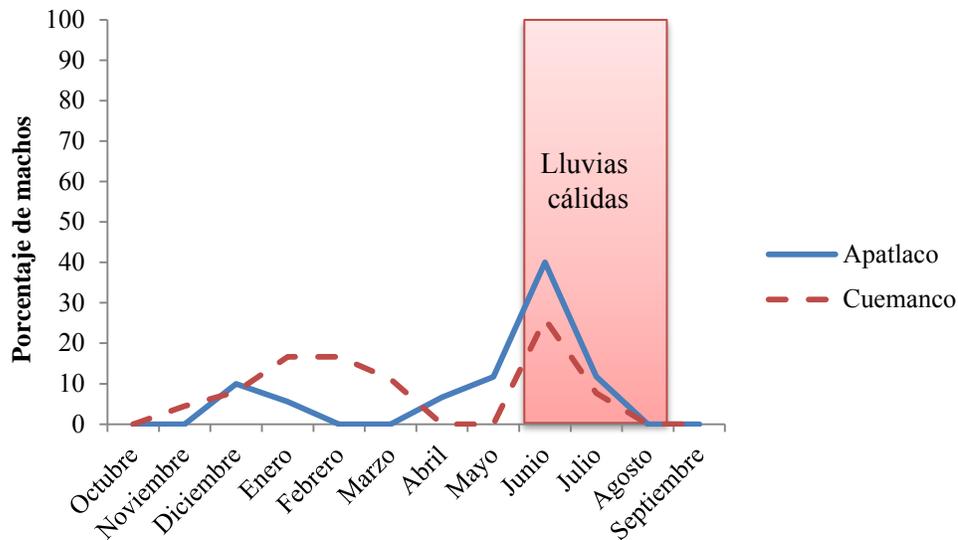


Figura 29. Proporción de machos de *C. carpio* en el estadio II en los canales de Cuemanco y Apatlaco.

Durante esta temporada el IGS en Apatlaco obtuvo un promedio de 7.96 mientras que Cuemanco presentó un promedio IGS promedio de 10.22, la diferencia entre ambas no resultó significativamente diferente ($t = -1.72$, $P = 0.08$) (Figura 30).

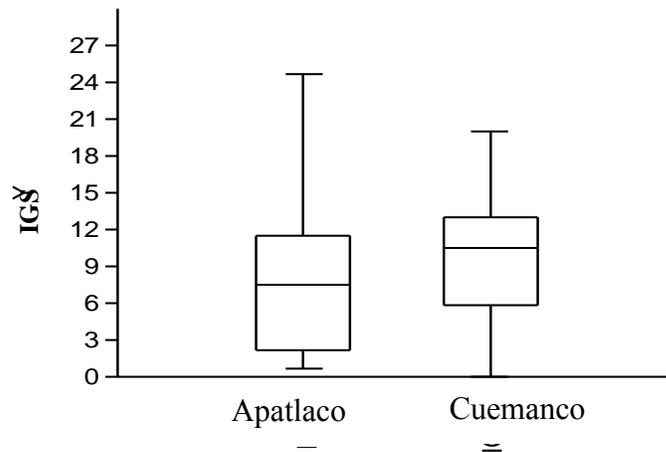


Figura 30. Índice Gonadosomático en los machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco en lluvias cálidas.

Lluvias frías (invierno, diciembre a febrero)

Durante esta temporada el segundo estadio de madurez más frecuente fue éste, en el que los machos presentaron testículos en donde en el epitelio germinal se siguen observando quistes de espermatogonias, y la proporción de quistes de espermatocitos primarios y secundarios va en aumento (Figura 31 B, C). Los espermatozoides maduros empiezan a llenar la luz de los túbulos (Figura 31 D).

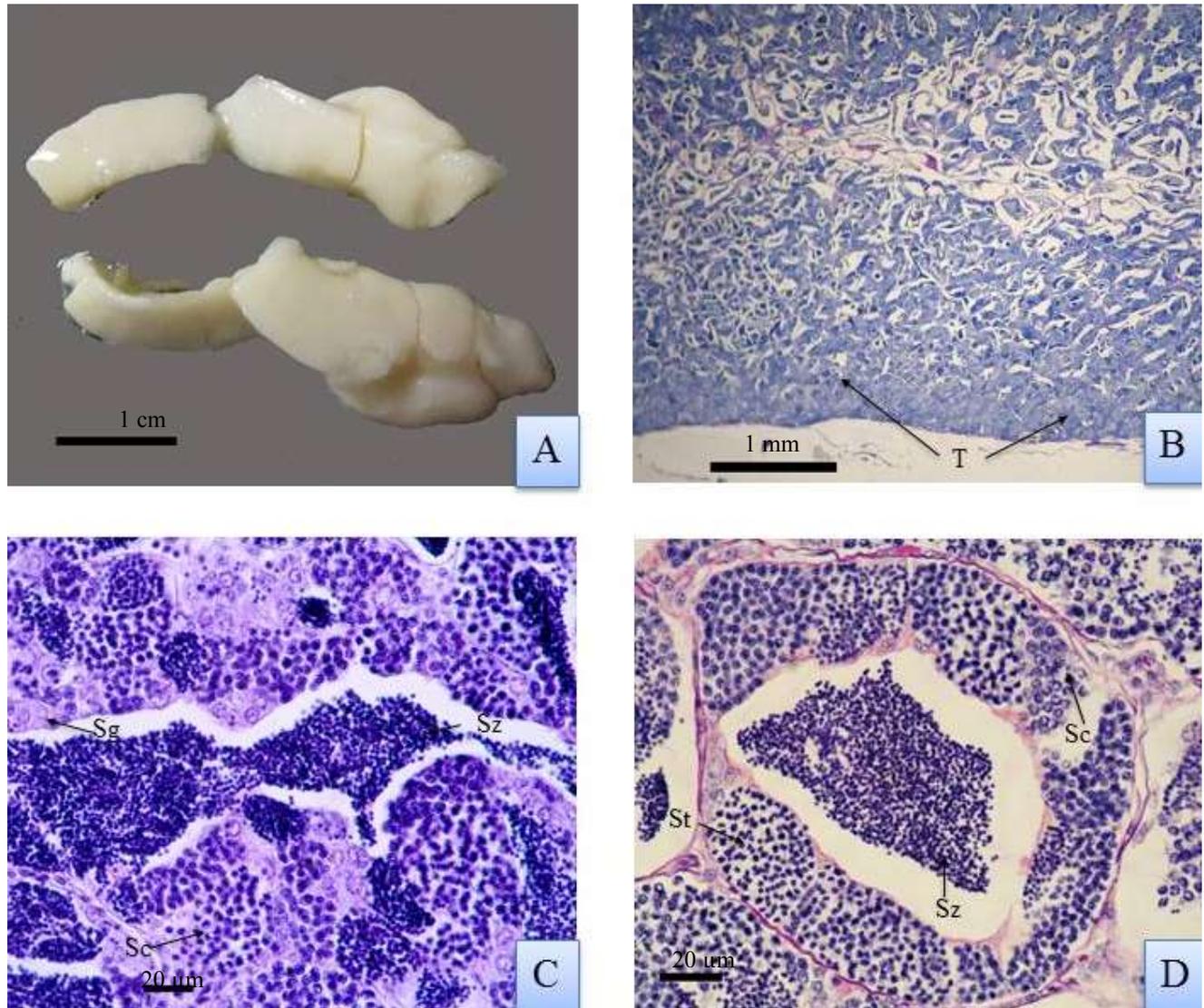


Figura 31. Testículo en estadio III, lluvias frías (septiembre a noviembre). A) Testículo disectado. B) Panorámica del testículo con túbulos visibles (T), tinción PAS. C) Pocos quistes con espermatogonias (Sg) lóbulos con espermatocitos (Sc) y espermatozoides (Sz). D) lóbulo con espermatocitos (Sc) espermatidas (St) y espermatozoides (Sz).

En esta temporada los testículos se caracterizaron por presentar un mayor tamaño en comparación con los estadios anteriores, mantiene la forma arrañada y una coloración pasa de turbia a rosa pálido (Figura 31 A).

En Xochimilco en los canales de Cuemanco y Apatlaco los machos en este estadio de madurez se encontraron durante casi todo el año, predominado en ambos canales durante la temporada de lluvias frías (Figura 32).

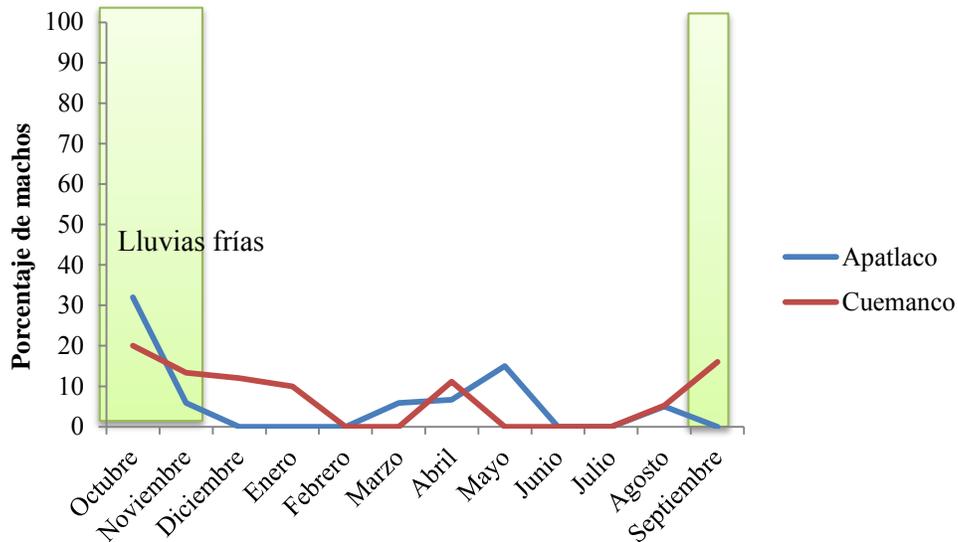


Figura 32. Proporción de machos de *C. carpio* en el estadio III en los canales de Cuemanco y Apatlaco en un ciclo anual.

Durante esta temporada el IGS en Apatlaco obtuvo un promedio de 12.311 mientras que Cuemanco presento un promedio IGS promedio de 12.312, la diferencia entre ambas no resulto significativamente diferente ($t < 0.001$, $P = 0.999$) (Figura 33).

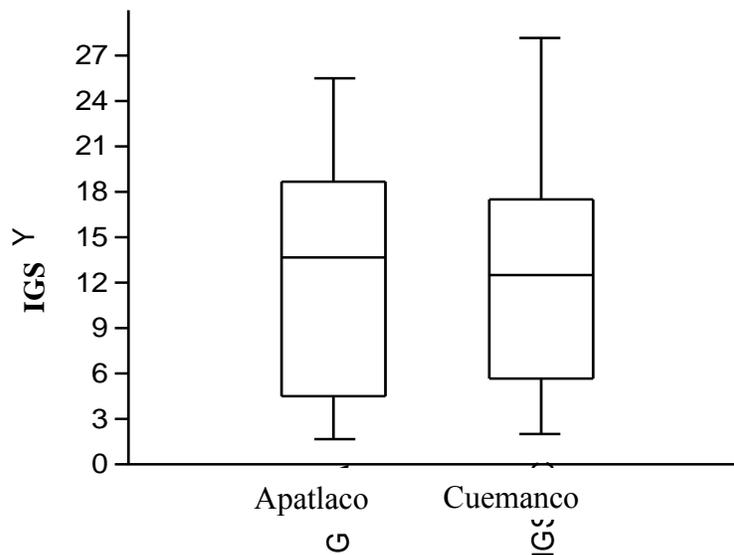


Figura 33. Índice Gonadosomático en las machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco durante el lluvias frías.

Secas frías (Invierno, Diciembre a Febrero)

Durante esta temporada predominaron los machos con testículos donde se observaban los túbulos completamente llenos de espermatozoides (Figura 34 B, C, D).

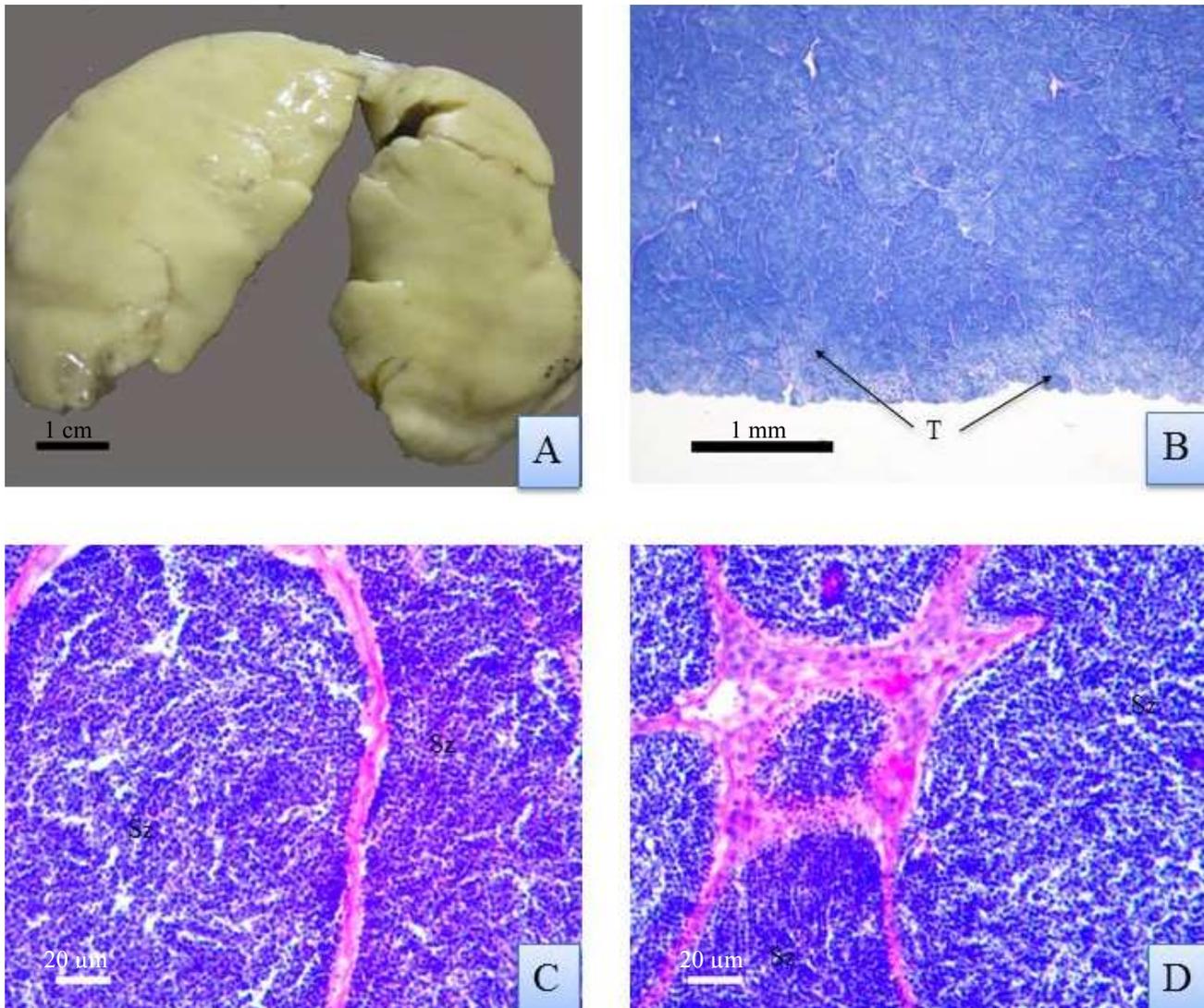


Figura 34. Testículo en estadio IV, secas frías (diciembre a febrero). A) Testículo disectado, barra 1cm. B) Panorámica del testículo con túbulos llenos de espermatozoides (T), tinción PAS. C) y D) lóbulos llenos de espermatozoides (Sz), tinción PAS.

Este estadio de maduración corresponde con el estadio IV (reproducción), en el los machos presentas testículos grande que abarcaron una gran porción de la cavidad abdominal. Son de color blanco lechoso, con forma arriñonada. Se encuentran listos para la liberación de los espermatozoides (Figura 34) A).

En Xochimilco en ambos canales este estadio predomino durante todo el año, En Cuemanco se presentaron dos picos con una proporción mayor al 50 % de machos en este estadio en enero y agosto, de la misma forma en Apatlaco se observaron dos picos, el primero en febrero y el segundo en agosto, durante el mes abril se observó una ausencia de machos en este estadio (Figura 35).

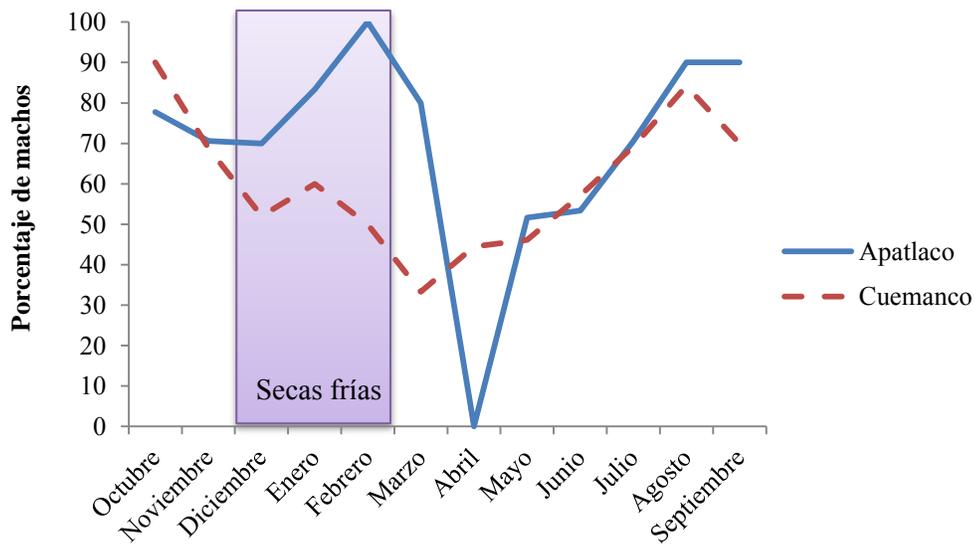


Figura 35. Proporción de machos de *C. carpio* en el estadio IV en los canales de Cuemanco y Apatlaco

Durante en Apatlaco el IGS promedio fue de 14.16 y en Cuemanco de 15.802, los cuales no fueron significativamente diferentes ($t = -0.59$, $p = 0.552$) (Figura 36).

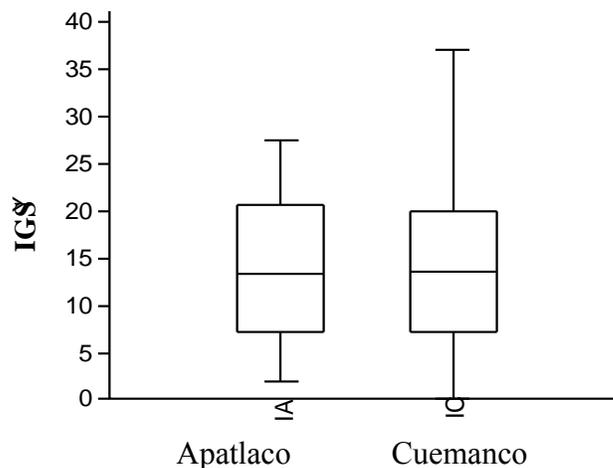


Figura 36. IGS de las machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco durante secas frías.

Resumen de maduración gonadal en machos en un ciclo anual

En el canal de Cuemanco el estadio de madurez gonadal que predominó durante las cuatro estaciones fue el reproductivo (estadio IV), seguido por el inmaduro (estadio I) que prevaleció durante la temporada de secas cálidas (marzo a mayo). Los estadios de descanso (II) y maduración (III) fueron menores al 20% durante todo el año, alcanzando su mayor porcentaje durante la temporada de secas frías (diciembre a febrero) (Figura 37).

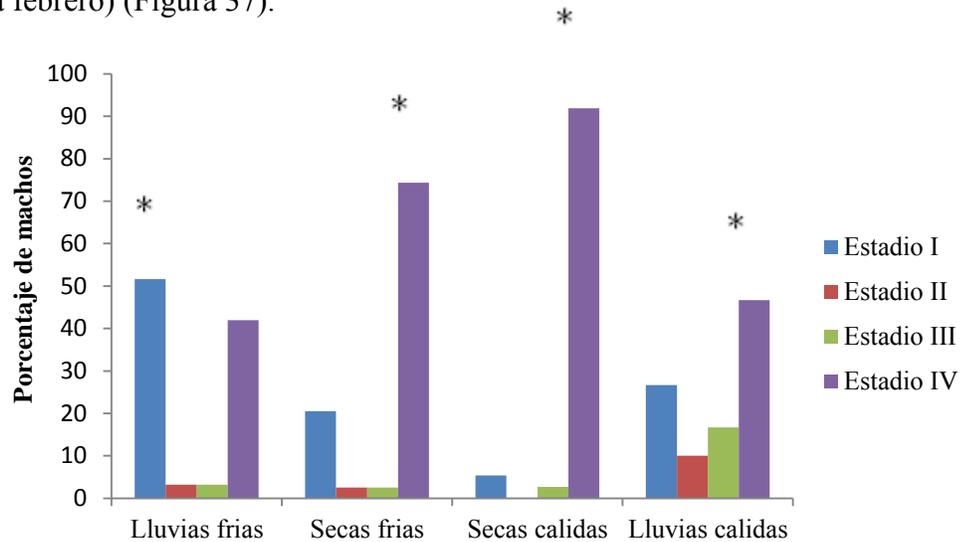


Figura 37. Porcentaje de estadios de maduración de Machos *C. carpio* en el canal de Cuemanco durante un ciclo anual. Los * indican el estadio predominante por temporada

En el canal de Apatlaco, el estadio reproductivo (IV) fue mayor al 50% en el ciclo anual, Los estadios Inmaduro (I), descanso (II) y maduración (III) también estuvieron presentes durante todo el año, pero en porcentajes menores al 30%. El estadio de inmaduro (I) fue el segundo más frecuente, teniendo su máximo en la temporada de secas cálidas (marzo a mayo); así mismo se ve una tendencia del estadio de detención (II) a incrementar en la temporada de lluvias cálidas (junio a agosto) (Figura 38).

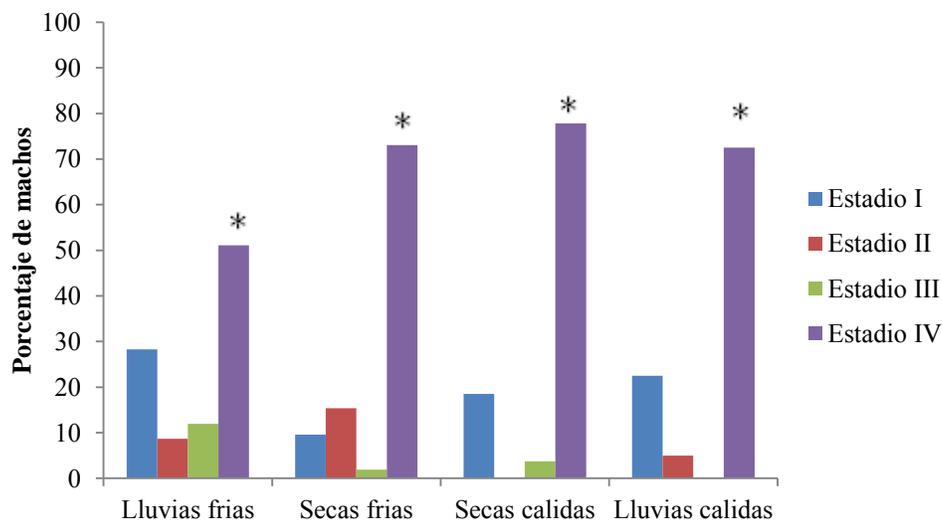


Figura 38. Porcentaje de estadios de maduración de machos *C. carpio* en el canal de Apatlaco durante un ciclo anual. Los * indican el estadio predominante por temporada

Resumen de la variación en el IGS en machos durante un ciclo anual

Los machos alcanzaron un IGS menor al que presentaron las hembras, sin embargo parecen seguir el mismo patrón que ellas en cada canal, ya que en Apatlaco los machos alcanzan un IGS máximo durante el mes de febrero, superando al Índice gonadosomático correspondiente a la talla de primera madurez, mientras que el resto del año se mantiene por debajo de este límite (Figura 39). En Cuemanco presenta poca fluctuación, y la mayoría de los meses el IGS de los machos se encuentra por encima del IGS de primera madurez lo que indica que la mayor parte del ciclo anual están sexualmente maduras (Figura 39).

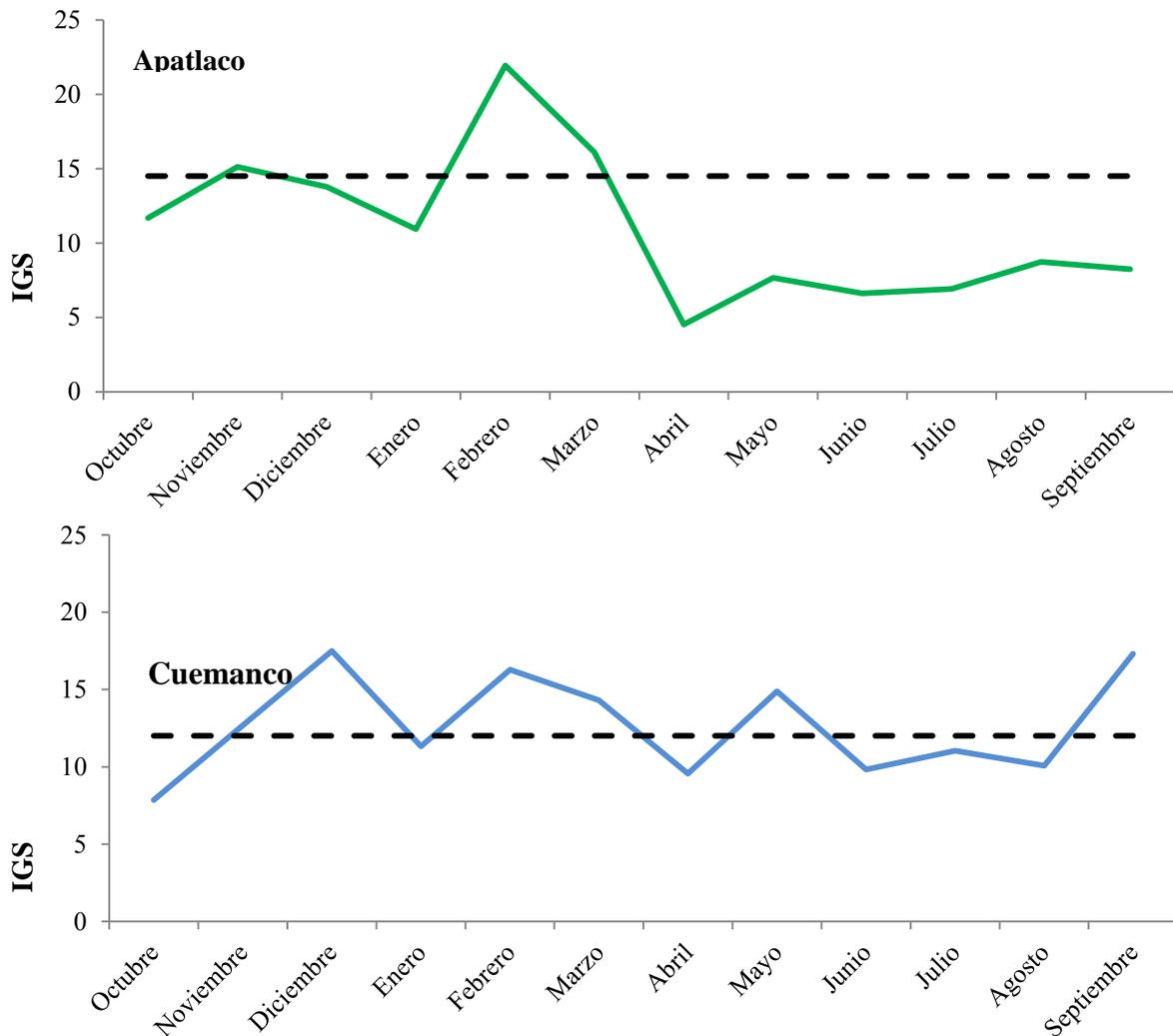


Figura 39. Índice gonadosomático de los machos de *C. carpio* en los canales de Apatlaco y Cuemanco; la línea punteada indica el índice gonadosomático correspondiente a la talla de primera madurez. (Talla de primera madurez en los machos de Apatlaco 14.32 cm, índice Gonadosomático correspondiente = 14.51; Talla de primera madurez en machos de Cuemanco =13.32 cm, índice gonadosomático correspondiente = 12).

Potencial reproductor de *C. carpio*

Fecundidad

Se encontraron hembras maduras en ambos canales durante todo el año, excepto en abril (Figura 40). Presentaron una fecundidad promedio de 15,200 ovocitos por hembra madura. La máxima fecundidad reportada fue de 41,300 ovocitos durante el mes de enero. La fecundidad no presenta diferencias significativas entre los canales de Apatlaco y Cuemanco ($t(91) = 0.673$, $P = 0.473$), ni entre las temporadas de lluvias y secas ($t(91) = 1.133$, $P = 0.262$).

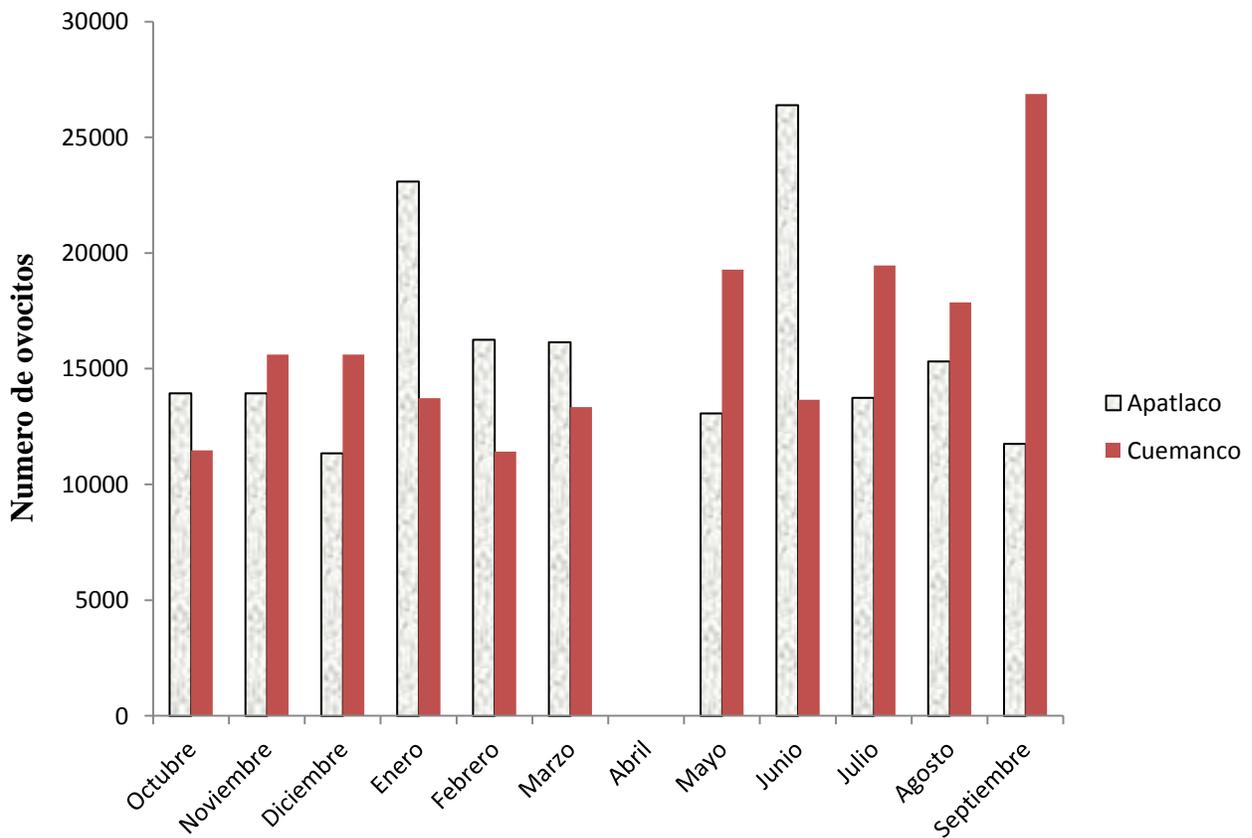


Figura 40. Fecundidad promedio de *Cyprinus carpio* en los canales de Cuemanco y Apatlaco.

Análisis del crecimiento

Talla y Peso

Las hembras presentaron un peso promedio de 101.05 g con un máximo de 310 g en el canal de Cuemanco (Figura 41). La longitud patrón promedio fue de 15.39 cm con un máximo de 22.8 cm en el canal de Cuemanco (Figura 42). Las hembras no presentaron diferencias significativas entre los canales en la talla ($t(210) = -1.841, P = 0.066$) y peso ($t(210) = -1.909, P = 0.057$).

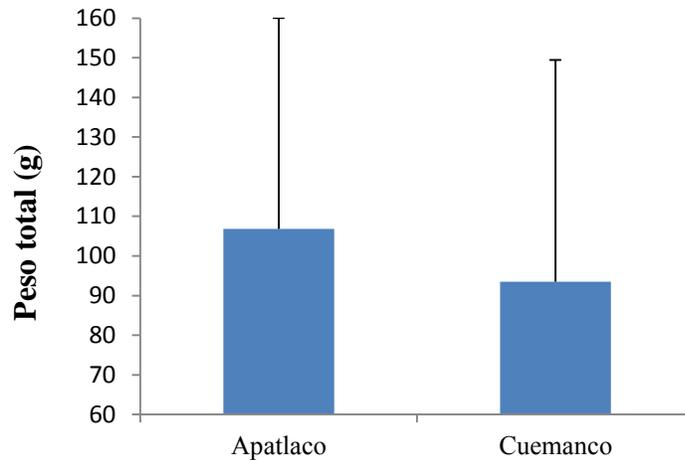


Figura 41. Peso total promedio de hembras en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

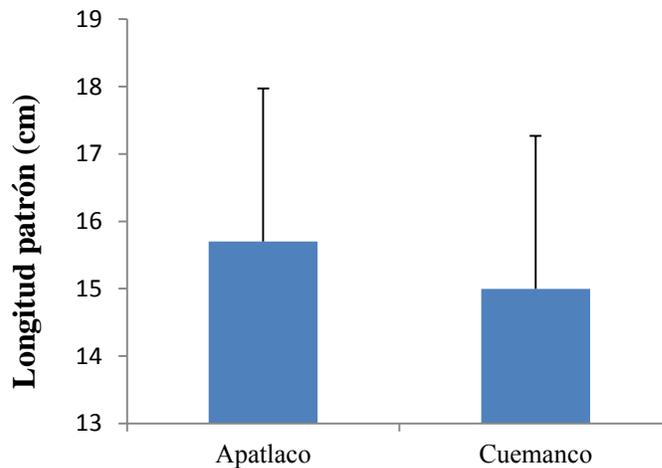


Figura 42. Longitud patrón promedio de hembras en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

Las machos de *C. carpio* presentaron un peso promedio en Cuemanco de 74.93 g con un máximo de 295 g mientras que en Apatlaco el peso promedio fue de 98.08 g con un máximo de 425 g (Figura 43). La longitud patrón promedio en Cuemanco fue de 14.23 cm con un máximo de 24.1 cm mientras en el canal de Apatlaco, la longitud patrón promedio fue de 15.22 cm con una longitud máxima de 24.2 cm (Figura 44). Los machos presentaron diferencias significativas entre los canales en la talla ($t(270) = -2.793$, $P = 0.0053$) y peso ($t(270) = -3.4906$, $P < 0.001$) (Figura 43 y 44).

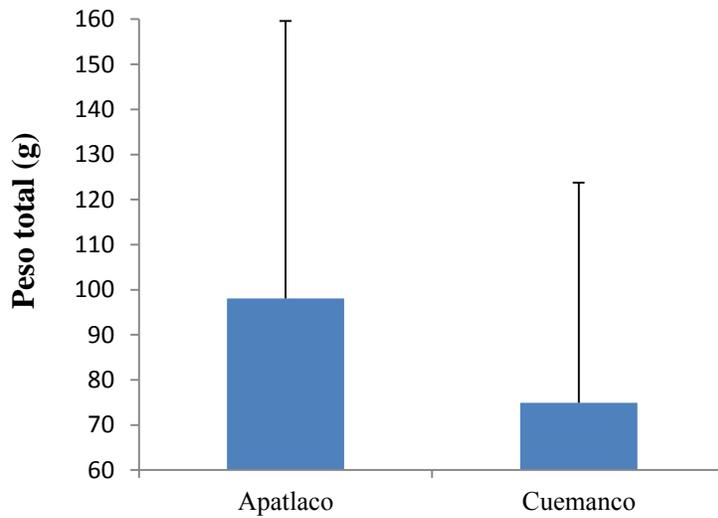


Figura 43. Peso total promedio de machos en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

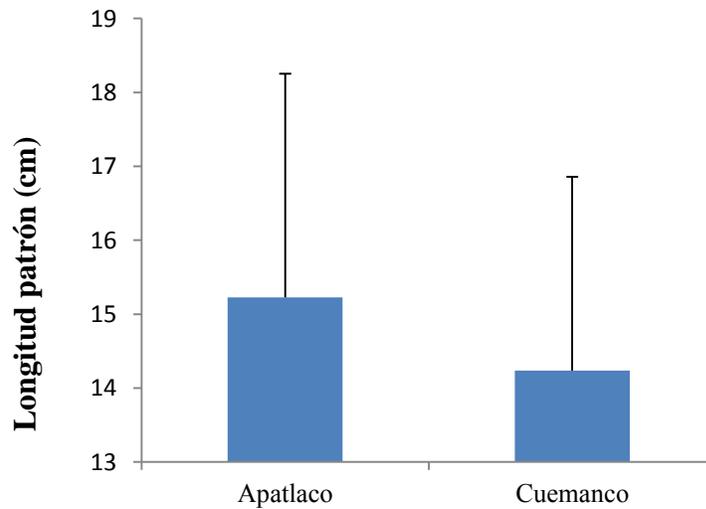


Figura 44. Longitud patrón promedio de machos en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

Las carpas de Apatlaco presentan tallas y pesos mayores que los organismos de Cuemanco (Figura 45 y 46). Asimismo, se encontró que las hembras son más grandes y pesadas que los machos, pero esta diferencia solo es significativa en el canal de Cuemanco (Talla Cuemanco: $t(221) = 2.092, P = 0.037$; peso Cuemanco: $t(221) = 2.624, P = 0.009$; Talla Apatlaco: $t(257) = 1.210, P = 0.227$; peso Apatlaco: $t(257) = 1.31, P = 0.190$) (Figura 45 y 46). No hubo diferencia significativa entre las temporadas, ni en hembras ni en machos.

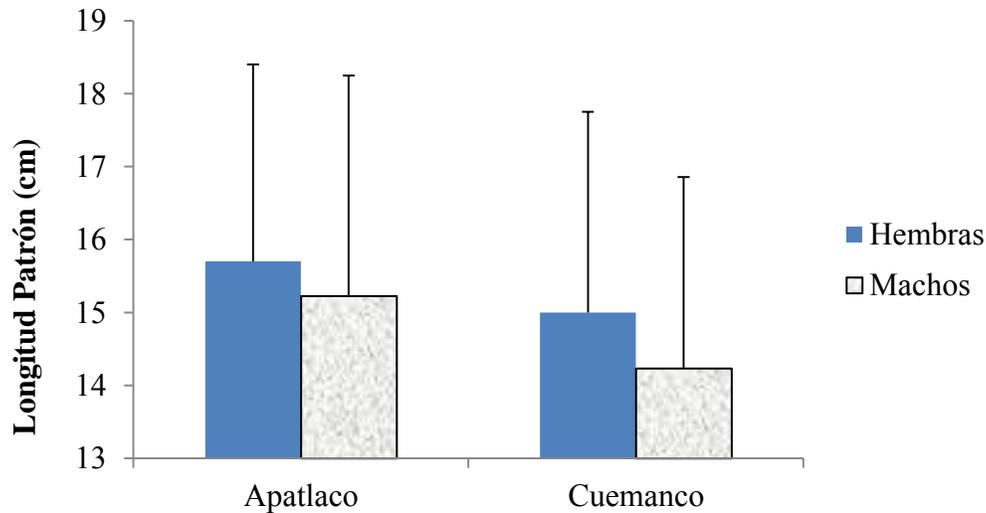


Figura 45. Longitud patrón promedio de hembras y machos en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

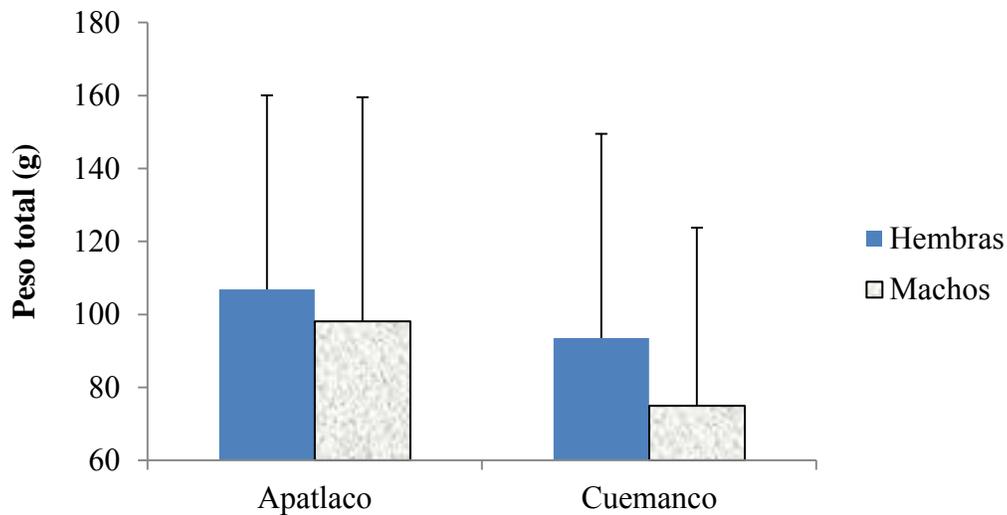


Figura 46. Peso total promedio de hembras y machos en los canales de Cuemanco y Apatlaco. Desviación estándar indicada por las barras de error.

Crecimiento

El crecimiento de hembras y machos resulto ser significativamente diferente en ambos canales ($F(1,632)=39.303$, $p < 0.01$). Las hembras de ambos canales presentan un crecimiento con tendencia a la alometría positiva (Cuemanco, $b = 3.19$; Apatlaco, $b = 3.34$), y no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento ($F(1,208) = 0.514$, $p < 0.474$) (Figura 47 A).

En cuanto al crecimiento en machos no se encontraron diferencias significativas entre los canales ($F(1,268) = 0.295$, $P = 0.587$). En general las machos de ambos canales presentan un crecimiento con tendencia a la isometría (Cuemanco $b = 3.012$; Apatlaco $b = 3.037$) (Figura 47 B).

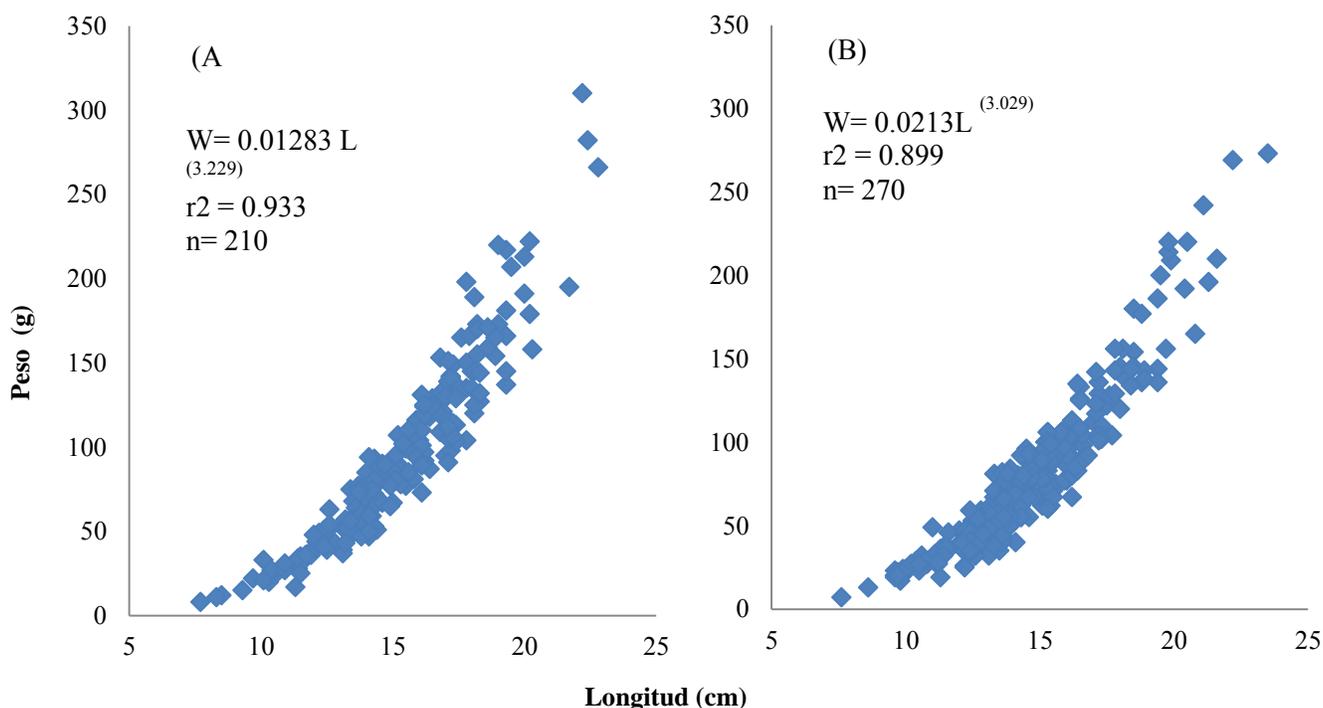


Figura 47. Curva de crecimiento, relación Peso total- longitud en las hembras (A) y machos (B) de *C. carpio*.

El crecimiento fue significativamente diferente entre ambos canales ($F(1,634) = 42.262$, $p < 0.01$). Ambos canales presentaron un crecimiento alométrico positivo (Cuemanco $b = 3.374$; Apatlaco $b = 3.333$) (Figura 48).

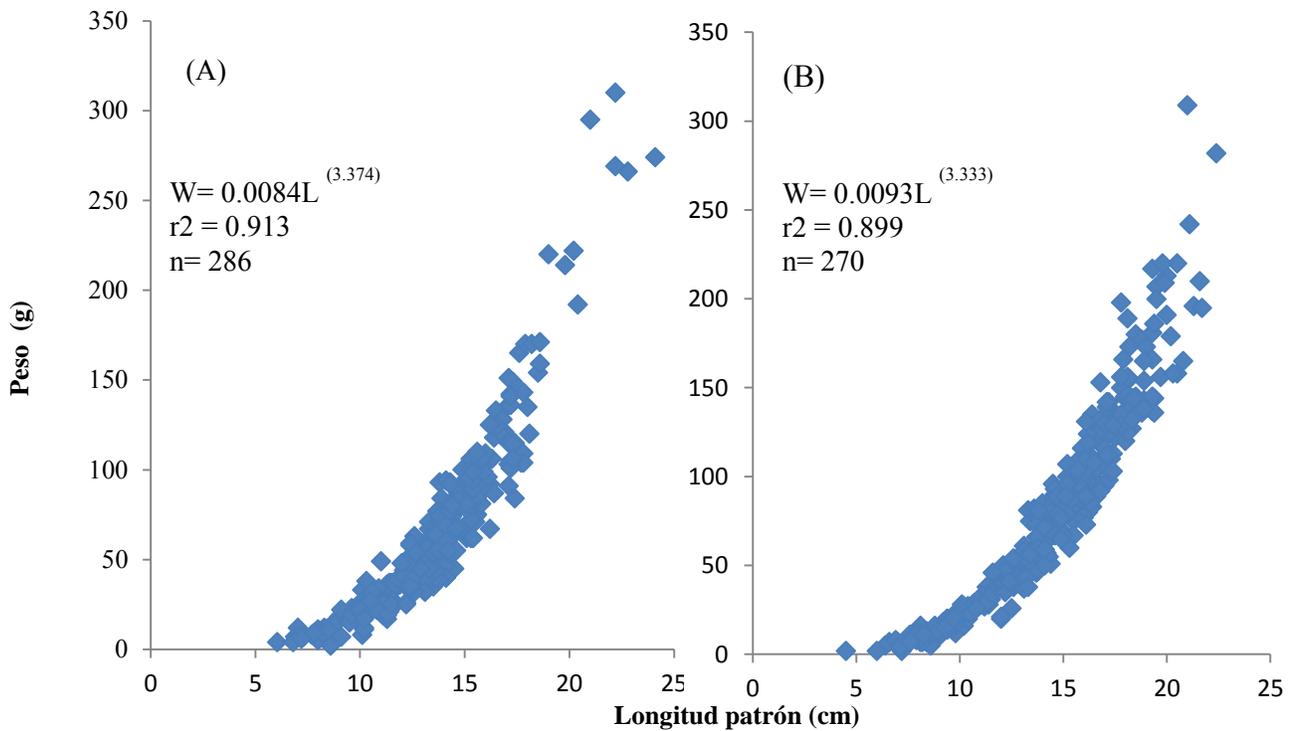


Figura 48. Curvas de crecimiento, relación Peso total- longitud patrón en las organismos de *C. carpio* en los canales de A) Cuemanco y B) Apatlaco.

Para hembras y machos, A lo largo del año el tipo de crecimiento varió en ambos canales, en Apatlaco la tendencia es a la alometría positiva con un coeficiente de isometría excepcional de 4 durante el mes de febrero, donde ganan mucho más peso que longitud mientras que en Cuemanco tiende más a la isometría. Asimismo, se observó que el coeficiente de isometría tiende a disminuir después de la temporada de secas frías (Figura 49).

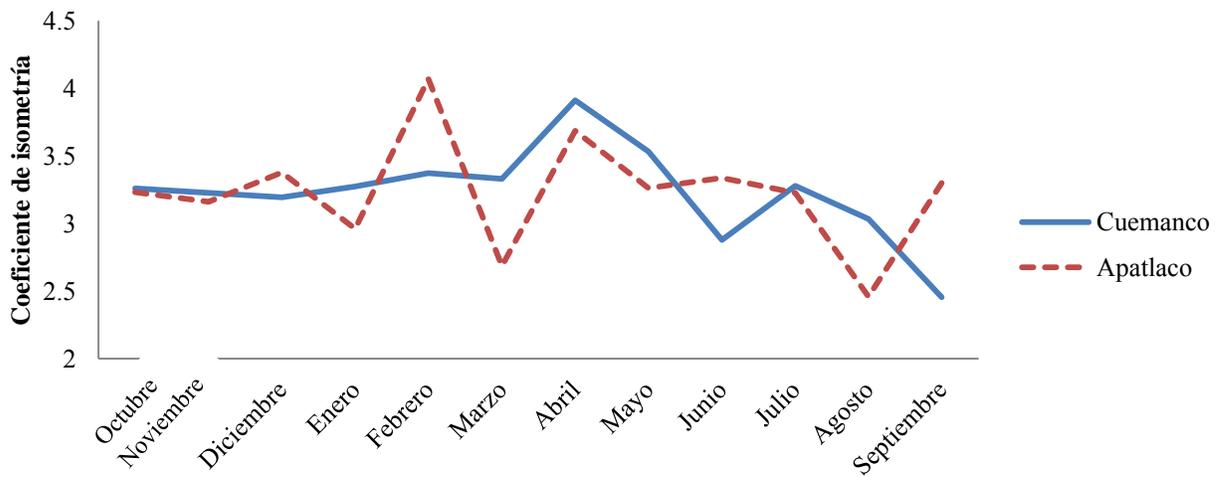


Figura 49. Tasa anual del crecimiento (b) de *Cyprinus carpio* en los canales de Apatlaco y Cuemanco.

En la temporada de lluvias (junio a noviembre) las hembras de Apatlaco presentan un crecimiento que tiende a la isometría (Figura 50 A), mientras que en secas (diciembre a mayo) presenta un crecimiento que tiende a la alometría negativa (Figura 50 B). Solo se encontraron diferencias significativas en el crecimiento por temporadas para las hembras del canal de Apatlaco ($F(1,115)=4.613, P=0.03$).

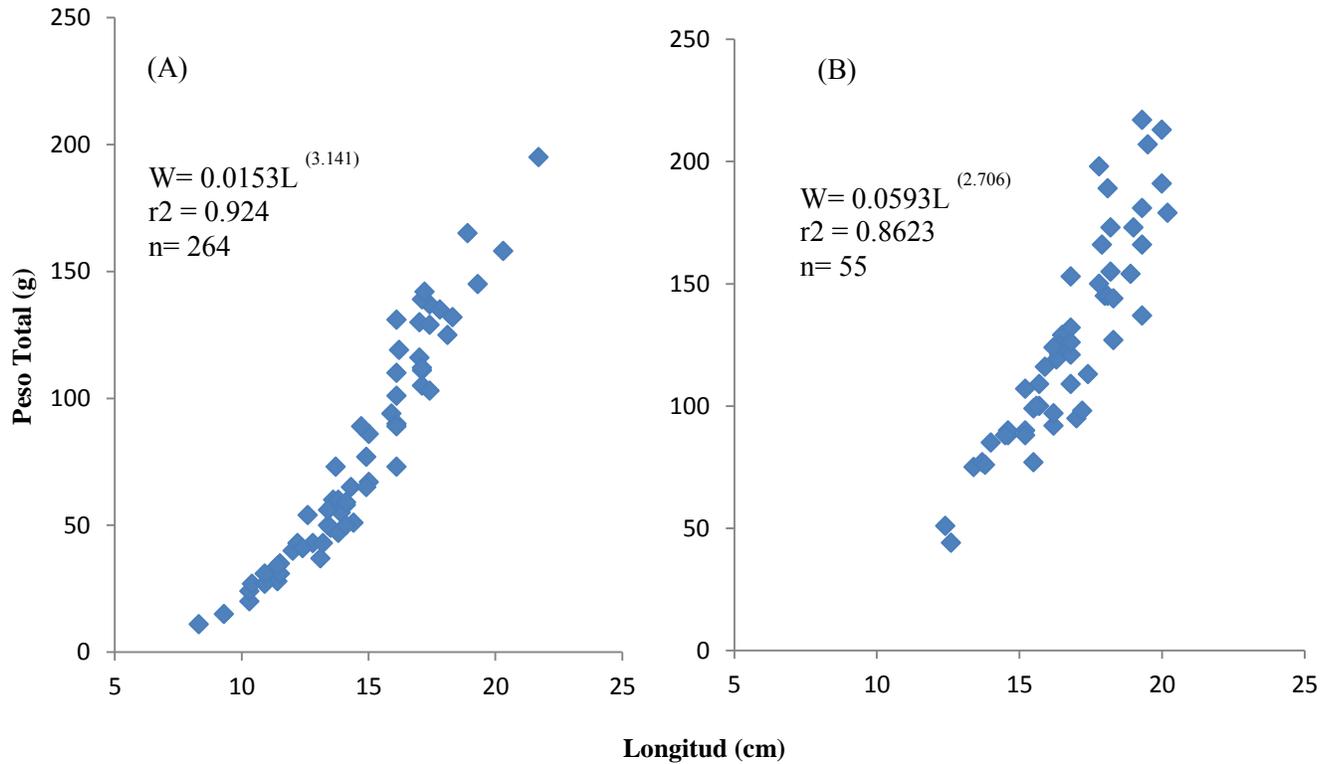


Figura 50. Curvas de crecimiento, relación peso total- longitud patrón en las hembra de *C. carpio* del canal de Apatlaco en la temporada de lluvias(A) y secas (B).

Talla de primera madurez

Las hembras de Cuemanco presentan una talla de primera madurez de 14.67 cm mientras que en Apatlaco resultó ser de 15.78 cm. Estadísticamente la talla de primera madures fue significativamente diferente en ambos canales ($t(210)=2.0145, P=0.045$) (Figura 51; Tabla 4).

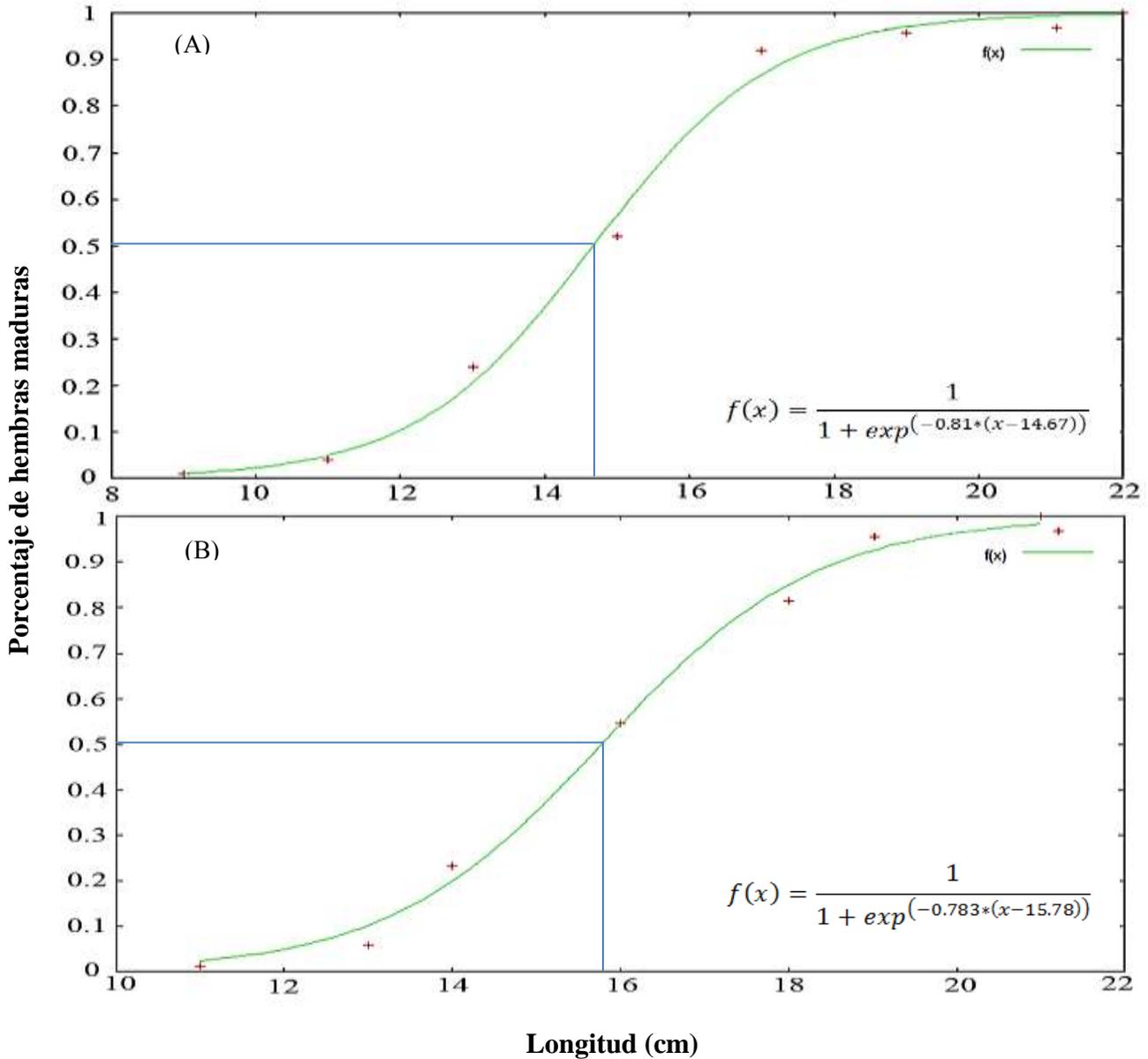


Figura 51. Talla de primera madurez de las hembras de *C. carpio* en los canales de Cuemanco (A) y Apatlaco (B). Línea verde es el modelo logístico proveniente de la ecuación $f(x)$ correspondiente para cada canal. Cruces rojas datos muestreados.

Tabla 4. Talla promedio y de primera madurez de *C. carpio* en hembras en

	Talla promedio (mm)	Talla de primera madurez (mm)
Apatlaco	157	157
Cuemanco	142	146

Los machos de Cuemanco presentan una talla de primera madurez de 13.38 cm mientras que la talla de primera madurez que presentan las de Apatlaco que fue d 14.32 cm. Estas tallas fueron estadísticamente diferentes ($t(222)=3.057, P=0.002$) a (Figura 52; Tabla5).

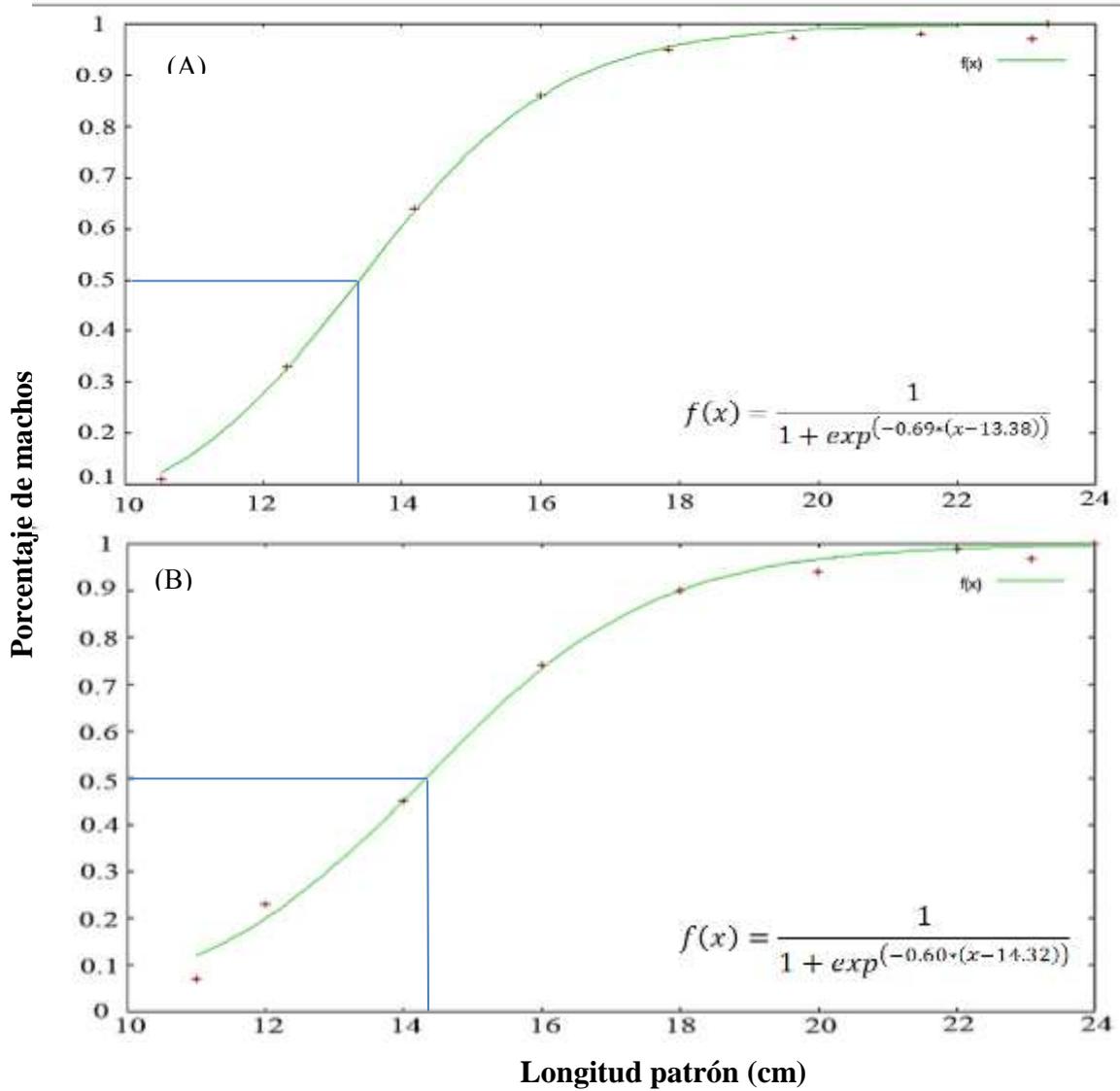


Figura 52. Talla de primera madurez de los machos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco (A) y Apatlaco (B). Línea verde es el modelo logístico proveniente de la ecuación $f(x)$ correspondiente para cada canal. Cruces rojas datos muestreados.

Tabla 5. Talla promedio y de primera madurez de *C. carpio* en machos.

	Talla promedio (mm)	Talla de primera madurez (mm)
Apatlaco	152	143
Cuemanco	149	133

DISCUSIÓN

El ciclo reproductivo de *C. carpio* ha sido estudiado principalmente en los sitios donde ha sido introducido, encontrándose diferencias tanto en la temporada de apareamiento como en la duración de la misma. Los resultados de este trabajo sugieren que la población de *C. carpio* presenta un ciclo reproductivo anual con picos en la temporada de secas frías (Invierno). Sin embargo, la diferencia en el número de picos reproductivos por canal, así como la duración de los mismos sugiere que las propiedades físicas de estos favorece más la reproducción en algunos canales.

La reproducción de *C. carpio* se encuentra regulada por factores del medio externo que influyen directamente en el eje hipotálamo- hipófisis- gónada, el cual también regula el crecimiento, el inicio del desarrollo gonadal y la duración de la temporada de apareamiento (Glasser et al., 2004). La ubicación geográfica de Xochimilco le confiere un clima templado con una temperatura del agua dentro del rango ideal para la reproducción de *C. carpio* (15 a 23 °C), así como un cambio marcado en el fotoperiodo a lo largo del año. Estos dos factores favorecen la maduración gonadal en los meses de secas frías por medio de este eje durante la mayor parte el año. A pesar de la cercanía de los canales las carpas presentaron patrones diferentes de reproducción, lo cual se puede atribuir a la heterogeneidad ambiental de los canales de Xochimilco (Fernández- Delgado, 1990; Degani et al., 1998; Glasser et al., 2004).

En épocas de escasas de alimento la reproducción se limita, mientras que cuando hay abundancia la energía se destina a un crecimiento rápido y a la maduración gonadal (Wootton, 1991; Schofield et al., 2005). En los sitios con abundancia de alimento (larvas de insecto, crustáceos y otros invertebrados) como el canal de Cuemanco, el crecimiento en *C. carpio* es rápido, el inicio de la maduración gonadal se da a tallas pequeñas y la época reproductiva se prolonga por varios meses; mientras que en sitios con alimento más limitado, el gasto de energía se prioriza al crecimiento, y una vez obtenido una talla adecuada se inicia el desarrollo gonadal y la época reproductiva se limita a periodos más cortos de tiempo (Nikolsky, 1963; Wootton, 1991; Merlo, 2010).

El desarrollo de las células germinales a lo largo del año indica que la maduración gonadal es progresiva y presenta un pico de reproducción anual, el cual se encuentra asociado a la temporada de secas frías en la que se reportan las temperaturas más bajas durante el año. Este patrón reproductivo se ha registrado en poblaciones de *C. carpio* en sitios templados, donde igualmente se asocia el descenso de la temperatura con la temporada reproductiva (Billard et al., 1978; Glasser et al., 2004).

La descripción histológica de la maduración testicular para *C. carpio* no había sido descrita en México. Es importante resaltar que al realizar la histología de éstos, permitió diferenciar mejor el estadio II y III que macroscópicamente resultan muy similares. Las observaciones microscópicas permitieron determinar que durante el estadio II había una predominancia de espermatoцитos, mientras que en el estadio III se observa la predominancia de espermátidas y algunos espermatozoides en la luz del túbulo. El estadio IV, presentó espermatozoides maduros a la luz del túbulo, y fue el predominante durante todo el año, indicando que son las hembras las que determinan la temporada de apareamiento (Yamamoto & Yamazaky, 1961; Nikolsky, 1963; Grier & Uribe, 2009).

La presencia de al menos dos estadios de maduración de las células germinales femeninas permitieron clasificar el ovario con desarrollo sincrónico por grupos, al igual que otros miembros de la familia Cyprinidae (Grier et al., 2009). Asimismo, la predominancia de algún estadio de maduración de los ovocitos permite precisar el estadio de madurez gonadal en el que se encuentran las hembras, correspondiendo las ovogónias y los ovocitos con crecimiento primario en el estadio I, los ovocitos con crecimiento primario en perinucleolo y en alveolos corticales en el estadio II, mientras que los ovocitos en crecimiento secundario corresponden al estadio III y los ovocitos secundarios tardío y maduros (OMgvm) al estadio IV; similar a los estudios realizados en Australia e Irán (Nikolsky, 1963; Kathiravelu et al., 2003; Solmaz et al., 2012).

La predominancia de los ovocitos maduros (OMgvm) en los ovarios durante la temporada de secas frías, principalmente durante el mes de febrero para el caso de Apatlaco así como enero y junio para el canal de Cuemanco, indica que durante estos meses se presenta la temporada de apareamiento; época que coincide con el descenso de la temperatura del agua que se ha ligado al desove de esta especie en sitios templados (Pitt, 1958; Lirski & Opuszynski, 1988; Glasser et al., 2004). La diferencia en la duración de la predominancia de ovarios con ovocitos maduros sugiere que la temporada de apareamiento en ambos canales es diferente (Fernández-Delgado, 1990; Brown et al., 2005).

La presencia de machos con espermatozoides maduros y hembras con ovocitos vitelogénicos durante todo el año parece sugerir que la reproducción se puede llevar a cabo en todo momento. Sin embargo, al examinar los ovarios histológicamente se encontró que durante la mayor parte del año los ovocitos presentaban un crecimiento secundario, sin llegar a presentar las características de los ovocitos maduros (OMgvm), pero en los meses de enero y febrero (secas frías) los ovocitos se encontraron maduros con la vesícula germinal migrada, lo cual quiere decir que ya se encontraban cerca de la

ovulación, y por lo tanto se pueden asociar estos meses con la época reproductiva. (Fernández-Delgado, 1990; PESTSMART, 2014).

En Apatlaco, la alta proporción de hembras con ovocitos maduros (OMgvm) y machos con espermatozoides durante el mes de febrero, y la relación inversa entre la temperatura y la maduración gonadal en esta especie, sugiere que el ciclo reproductor es anual. Asimismo, se propone que el ciclo reproductor se vio influido directamente por la baja temperatura (15°C) y el corto fotoperiodo, por lo cual la temporada reproductora se encuentra limitada a los meses de enero y febrero (secas frías) (Campos 1985; Fernández-Delgado 1990; Tempero et al. 2006). De la misma manera la ausencia de organismos con gametos maduros en el mes de abril (secas cálidas) sugiere que la reproducción se llevó a cabo pocas semanas atrás. Este ciclo reproductor anual bien marcado con una temporada corta de apareamiento también se observó en el lago Mead, Las Vegas donde se observa una alta concentración de contaminantes y en Rusia donde se presenta una limitante de alimento y temperatura (Nikolsky, 1963; Snyder et al., 2004).

Por otro lado en Cuemanco el encontrar dos meses (febrero y junio) con hembras con ovocitos vitelogénicos parece sugerir que en este canal hay dos temporadas de apareamiento, sin embargo al compararlos con el que se presentó en Apatlaco se encontró que estos picos fueron de una proporción bastante menor, lo cual sugiere que aunque pueda llegar a darse la reproducción en estos meses, no necesariamente se ve favorecida; ya que este canal podría más bien tratarse de un sitio de alimentación y crecimiento debido a las características del sitio como alta abundancia y riqueza de invertebrados, así como alta cobertura vegetal. Lo cual se ha visto que sucede en sitios grandes, humedales o ríos ramificados donde se ha observado que las carpas tienen selección de sitios para el desove, desarrollo, alimentación y apareamiento, ya que presentan pequeñas migraciones dentro de estos sitios, por lo que se puede pensar que las carpas de Xochimilco de hecho se mueven libremente entre los canales y tienen seleccionado un sitio para cada etapa de su vida, sugiriendo a Cuemanco como un sitio de crecimiento y Apatlaco uno de apareamiento (Fourche, 1985; Cailliet, 1986; PESTSMART, 2010).

Otra herramienta que permite identificar la temporada de apareamiento es el Índice gonadosomático (IGS), el cual presento valores altos en los canales de Cuemanco y Apatlaco durante todo el año. Esto sugiere que en estos sitios los individuos de *C. carpio* se encuentran priorizando la reproducción, debido a que al compararlo con otras poblaciones el IGS en hembras resulto ser más del doble y en machos se encontró por encima del promedio reportado (Nikolsky, 1963; Matsu, 1957; Parameswaran, 1972; Fernández-Delgado, 1990; Tempero et al., 2006).

La variación del IGS de *C. carpio* en el canal de Apatlaco sostiene que la reproducción en este canal es anual con un único pico durante el mes de febrero. Este patrón de reproducción anual coincide con los patrones reportados para otras poblaciones como el estuario de Guadalquivir, España; el lago Waikare en Nueva Zelanda; el lago Moira en Australia, entre otros, donde la temporada de apareamiento fue muy corta y se encontró una relación inversa entre la temperatura y el IGS, cuando al disminuir la temperatura el IGS aumenta (Nikolsky, Campos 1985, Fernández-Delgado, 1990; Jones, 2002; Brown et al., 2005; Tempero et al., 2006). En Apatlaco, febrero fue el único mes que presentó un IGS mayor al correspondiente a la talla de primera madurez, lo cual junto con los resultados del estudio histológico, la proporción de hembras con ovocitos maduros y el índice de isometría, sostienen que la temporada reproductiva en Apatlaco ocurre durante el mes de febrero.

Por otro lado, en Cuemanco el IGS sugiere dos picos reproductivos de noviembre a enero (temporada de secas frías) y de mayo a julio (inicio de la temporada de lluvias). En las hembras al ser estos dos picos los periodos donde el IGS rebasa al correspondiente a la talla de primera madurez, sugiere que durante estos meses las carpas presentan una mayor probabilidad de presentar gametos maduros (Campos 1985; Fernández-Delgado 1990; Tempero et al., 2006); Asimismo, los picos en el IGS de Cuemanco corresponden con los picos de mayor proporción de machos y hembras con gametos maduros, lo que propone que en estos meses se puede llevar a cabo la reproducción, pero a una escala bastante inferior a la que se da en Apatlaco durante el mes de febrero. Estos meses destacan del resto porque en ellas desciende más la temperatura, acercando la temperatura del agua al óptimo para que se lleve a cabo la reproducción (16 °C). Este mismo patrón reproductivo se reportó en África, donde la llegada del invierno y la temporada de lluvias se relacionan con la temporada de apareamiento (Fourche, 1985; Welykochatko, 1976; Brown et al., 2005).

El éxito de *C. carpio* en el sistema lacustre de Xochimilco se atribuye también a su potencial reproductor, séase su capacidad para desovar al medio una gran cantidad de ovocitos, muchas veces por arriba de 200, 000 (Fernández-Delgado, 1990). Sin embargo, en los canales de Cuemanco y Apatlaco se reportaron fecundidades muy bajas para las hembras de la especie. Esta baja fecundidad se puede atribuir a la talla pequeña y al alcance de la primera madurez sexual en tiempos cortos, puesto que se tiene reportado que en esta especie existe una relación entre el número de ovocitos que produce una hembra y la talla del individuo. Entre más grande sea una hembra esta tendrá más espacio en la cavidad abdominal para almacenar los ovocitos maduros dentro del ovario (Parmeswaran et al., 1972; Tempero et al., 2006). A pesar de que se encontró que tienen un potencial reproductor inferior al de otras

poblaciones, este es lo suficientemente bueno para que la población siga creciendo y sea una plaga en Xochimilco (Zambrano et. al, 2012)

La morfología y fisiología de las gónadas de *C. carpio* (ovarios con desarrollo sincrónico por grupos) le permiten desovar varias veces durante una temporada reproductiva, lo cual dificulta la estimación de la fecundidad neta de los organismos, ya que una hembra a la que se le haga un conteo de los ovocitos maduros podría ya haber desovado en algún momento, por lo que la fecundidad tomada sería menor a la real (Tomita et al., 1980; Fernández-Delgado, 1990).

Por otra parte, en el presente estudio se encontró que los organismos muestreados en los canales de Cuemanco y Apatlaco presentaron tallas y pesos relativamente pequeños que van de los 140 a 200 mm de longitud patrón (LP), y de los 101 a 320 g de peso, en comparación con otras poblaciones del mundo donde presentaron tallas y pesos promedio mayores (> 300 mm de LP y pesos > 560 g) (Fernández-Delgado, 1990; Brown et al., 2005). Estas tallas y pesos pequeños no son indicadores de que los individuos sean necesariamente jóvenes, por el contrario, este es un indicador de que los organismos no están alcanzando grandes tallas, ya sea por la contaminación o la sobrepoblación que presenta el sitio, lo cual dificulta la estimación de la edad de los organismo. (Fernández-Delgado, 1990; Kathiravelu et al., 2003; Brown et al., 2005; Tempero et al., 2006; Zambrano, et al., 2012).

La carpa común, es una especie grande por lo que las diferencias de talla y peso entre los sexos no suelen ser perceptibles (10 mm y 20 g respectivamente). La similitud en las tallas y pesos entre machos y hembra en los canales de Xochimilco concuerda con la mayoría de los estudios en sitios templados donde no se reportan diferencias significativas en estos parámetros (Fernández-Delgado, 1990; Tempero et al., 2006). Asimismo la diferencia que existe en estos parámetros entre los canales es muy pequeña, por lo que debe tenerse cuidado al ser considerada (Fouché, 1985; Brown et al., 2005).

El crecimiento alométrico de las hembras en ambos canales sugiere que no se encuentran limitadas por la disponibilidad de alimento. Sin embargo, el desarrollo gonadal si representa una restricción en el crecimiento, ya que implica que la mayor parte de la energía se destina al desarrollo de los ovarios en lugar del crecimiento en longitud (Cailliet, 1986; Wootton, 1991; Schofield et al., 2005). Por otra parte, el crecimiento isométrico que presentaron los machos sugiere que no hay escases de alimento y que no se ve restringido por el inicio del desarrollo gonadal, ya que su compromiso con la reproducción es de menor magnitud que el de las hembras (Wootton, 1991).

En términos de reproducción en teleósteos, el presentar un crecimiento isométrico es un indicador de que la energía se está destinando casi exclusivamente al crecimiento, mientras que el crecimiento alométrico positivo es un indicador de que las gónadas están madurando, ya que se está ganando más peso que longitud (Wootton, 1991). Con base en esto se puede decir que la variación del tipo de crecimiento (índice de isometría) en las hembras de Apatlaco y Cuemanco durante el ciclo anual permite identificar la temporada reproductiva en los meses de secas frías (diciembre- febrero), ya que fue en estos meses donde se reportó un incremento considerable en el índice de isometría (Cailliet, 1986; Wootton, 1991).

Por su parte, la talla de primera madurez sexual (TPM) que presentaron los individuos de *C. carpio* en los canales de Cuemanco (machos 133 mm y hembras 146 mm) y Apatlaco (machos 143 mm y hembras 157 mm) fue menor a la de otras poblaciones, como en Canadá y Australia (TPM entre 328 y 350 mm) (McCrimmon, 1968; Kathiravelu et al., 2003), pero similar al de poblaciones encontradas en Brasil y Nueva Zelanda (TPM entre 90 y 140 mm) (Welykochatko, 1976; Tempero et al., 2006). Esto sugiere que los organismos en los canales de Cuemanco y Apatlaco comienzan su reproducción a tallas pequeñas, por una parte debido a que las temperaturas de los canales (16 a 23°C) y la abundancia de alimento permiten que se inicie la maduración sexual en organismos pequeños. Por otro lado, la ausencia de individuos grandes disminuye la competencia intrasexual permitiéndoles reproducirse exitosamente a estas tallas (Glasser et al., 2004; Schofield et al., 2005; Brown et al., 2005; Tempero et al., 2006).

En resumen se puede decir que existe diversidad de microhabitats en el sistema lacustre de Xochimilco, por lo que es de esperarse que los organismos se movilicen entre los canales dependiendo de sus necesidades biológicas. Por tal, los organismos estudiados en Apatlaco que presentaron un ciclo reproductor anual bien marcado y los organismos de Cuemanco que presentaron un ciclo menos marcado y tallas más pequeñas, sugiere que las características de cada sitio favorecen una etapa diferente. Asimismo, se encontró que las carpas en ambos sitios se están empezando a reproducir a tallas pequeñas y a pesar de su pequeño potencial reproductor, estas se están reproduciendo exitosamente en los canales lo cual hace inminente la necesidad de tomar acciones para reducir la población del sistema

CONCLUSIONES

Cyprinus carpio presenta una etapa reproductiva estacional (secas frías) en los canales de Cuemanco y Apatlaco, Sin embargo, existen diferencias en el mes y la duración de la misma. En el canal de Apatlaco presentaron el pico reproductor durante el mes de febrero (final de secas frías), mientras que las carpas de Cuemanco presentaron una etapa reproductiva con dos picos, en enero y junio.

El potencial reproductor de *C. carpio* fue menor al de otros sitios al presentar una fecundidad promedio de 15, 200 ovocitos. Por su parte, el crecimiento de esta especie en los canales de Apatlaco y Cuemanco fue diferente entre machos y hembras. Los machos presentaron un crecimiento isométrico mientras que las hembras alométrico positivo. La talla de primera madurez registrada para las hembras de los canales de Apatlaco y Cuemanco fue de 157 mm y 142 mm respectivamente. Mientras que para los machos fue de 152 mm y 149 mm en Apatlaco y Cuemanco respectivamente.

La presente tesis permitió entender que el éxito reproductivo de la carpa en el sistema lacustre de Xochimilco se encuentra estrechamente ligada a su morfofisiología y las condiciones ambientales locales. Asimismo, permitió identificar una marcada estacionalidad en su reproducción; lo cual representa una oportunidad para buscar una solución a la problemática imperante, ya que, este conocimiento permitirá tomar acciones tendientes a la creación de planes y programas de manejo, congruentes con su ciclo reproductor y de esta manera lograr reducir de forma exitosa la población de esta especie, con la consecuente optimización de los recursos destinados para esta tarea y la contribución a la conservación de las especies nativas del sistema lacustre de Xochimilco, como el ajolote y mexcalpique.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Morales, M., Coutiño, B.B & S. P. Rosales. 1996. Manual general de técnicas histológicas y citoquímicas. México, D. F. Fac. Ciencias, UNAM, 39-59.
- Aguilar, M. M. 2007. Detección de factores de virulencia de *Escherichia coli*, *Shigella* y *Salmonella* en agua superficial y subterránea de Xochimilco. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., Pág. 33.
- Aranda, M. 2004. Zona Lacustre “Ejidos de San Gregorio Atlapulco” Ficha informativa de los humedales Ramsar (FIR). México. Pág.13.
- Ávila, R.B.E. 2000. Composición actual de la ictiofauna del lago de Xochimilco. Tesis de licenciatura. Biología. ENEP-Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., Pág.73.
- Bardach, J. E., J.H. Ryther & W.O. Mc Larney. 1972. Aquaculture. Wiley Interscience. U.S.A. 29 – 74.
- Berg, L.S.1964. Freshwater fishes in the U.S.S.R. and neighboring countries, Vol. 2 (4th Ed.). IPST Catalog n° 742. 496 Pp.
- Billard, R., B. Breton, A. Fostier, B. Jalabert, & C. Weil. 1978. Endocrine control of the teleost reproductive cycle and its relation to external factors: salmonid and cyprinid models. In: Gaillard, P.J., Boer, H.H. (Eds.), Comparative Endocrinology. Elsevier, Amsterdam, pp. 37–48.
- Birkeland, C. & P. K. Dayton. 2005. The importance in fishery management of leaving the big ones. Trends in Ecology and Evolution. Vol.20. N°7.
- Britton J. R, R. E. Golzlan & G.H. Coop. 2010. Managing non-native fish in the inviroment. Blakwell Publishing Ltd, Fish and Fisheries.
- Brown, P., P. K. Sivakumaran, D. Stoessel & A. Giles. 2005. Population biology of carp (*Cyprinus carpio* L.) in the mid-Murray river and Barmah Forest Wetlands, Australia. Marine and freshwater research. 56: 1151-1164.
- Cailliet, G. 1986. Fishes: a field and laboratory manuel on their structure, identification and natural history. Waveland Press, 194 Pp.
- Campos, P. O. 1985. The biology of the introduced carp *Cyprinus carpio*, in the River Cayumapu, Valdivia, Chile. Studies on Neotropical Fauna and Environment 20: 65–82.
- CONABIO. 2011. Sistema de Información sobre especies invasoras en México. <http://www.conabio.gob.mx/invasoras/index.php/portada>
- Crivelli, A.J., 1981. The biology of the common carp, *Cyprinus carpio* L. in the Camargue, Southern France. J. Fish Biol. 18: 271-290.

- De la Rosa, G. 1998. Cambios morfológicos estacionales del ovario del pez teleósteo *Carassius auratus* (Cyprinidae). Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Pág. 47.
- De la Rosa, J. B. 2006. La contaminación del lago de Xochimilco por aguas negras y su influencia en la agricultura local. Tesis de licenciatura. Facultad de filosofía y letras. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Pág.71.
- De Vlaming, V., Grossman & F. Chapman. 1982. On the use the gonosomatic index. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol 73A, 1:31-39.
- Degani, G., R. Boker & K. Jackson. 1998. Growth hormone, sexual maturity and steroids in male carp (*Cyprinus carpio*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 120: 433-440.
- Espinosa, A. C. & M. Mazari-Hiariat. 2006. Xochimilco, un proceso de gestión participativa. Capítulo 11. UNESCO, Gobierno del Distrito Federal (GDF). México DF.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. FishstatPlus. FAO, Roma. Consultado el 18 de noviembre del 2012 en http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Cyprinus_carpio/es
- Fernández- Delgado, C. 1990. Life history patterns of the common carp, *Cyprinus carpio*, in the estuary of the Guadalquivir River in south-west Spain. *Hydrobiología* 206: 19-28.
- Fletcher, A. R., A. k. Morison & D. J. Hume. 1985. Effects of Carp, *Cyprinus carpio* L., on Communities of Aquatic Vegetation and Turbidity of Waterbodies in the Lower Goulburn River Basin. *Aust. J. Mar. Freshwater Research.* 36:311-27
- Folmar, L.C., N.D. Denslow, V. Rao, M. Chow, D. A. Crain, J. Enblom, J. Marcino & L. Guillette, J.1994. *Health Perspect.* 104: 1096-1101.
- Fouche, C.H., J.F. Vermaak, J.H.J. van Vuren & H.J. Schoonbee. 1985. The female reproductive cycle of the European common carp, *Cyprinus carpio*, at a Transvaal fish farm: Gonadal morphometric development. *S. Afr. J. Zool.* 20: 172–176.
- Glasser, F., T. Mikolajczyk, B. Jalabert, J.-F. Baroiller, & B. Breton. 2004. Temperature effects along the reproductive axis during spawning induction of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *General and Comparative Endocrinology* 136: 171–179.
- Grier, H.J., M.C. Uribe & R. Patiño. 2009. The ovary, Folliculogenesis ND Oogenesis in teleosts. En: *Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans an Bony Fishes.* Edited by Barry G.M. J. Volume 8A: 25-84.

- Grier, H.J. & M.C. Uribe 2009. The testis and spermatogenesis in teleosts. En: Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes. Edited by Barry G.M. J. Volume 8A: 119- 142.
- Helfman, G. S., B.B. Collette, D.E. Facey & B.W. Bowen. 2009. The diversity of fishes: Biology, Evolution and Ecology. UK.
- Ibáñez, A. L. 2011. Datos recientes de la distribución de la siembra de especies exóticas como base de la producción pesquera en aguas interiores mexicanas. Revista Mexicana de Biodiversidad 82: 904-914.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).2010. Cuaderno estadístico delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Sistema nacional de Información Estadística y Geográfica. <http://www.inegi.org.mx>. Consultado en febrero del 2013.
- IGFA [International Game Fish Association], 2001, Database of IGFA angling records until 2001: Fort Lauderdale. Pp19.
- Jones, S.I. 2002. Ecology and management of common carp in the Barmah-Millewa Forest. Final report of the point source management of carp project to Agriculture Fisheries and Forestry Australia. Victoria, Arthur Rylah Institute. 214 p.
- Kathiravelu, P. S. P. Brownb, D. Stoessel & A. Giles. 2003. Maturation and reproductive biology of female wild carp, *Cyprinus carpio*, in Victoria, Australia. Environmental Biology of Fishes 68: 321–332, 2003.
- Kime, D.E. 1995. The effects of pollution on reproduction in fish. Reviews in Fish Biology and Fisheries 5: 52-96.
- King, M. 1995. Fisheries Biology, Assessment and Management. 2^a ed., Blackwell Publishing, Reino Unido.
- Kucharczyk, D., k. Targonska, P. Hliwa, P. Gomulka, M. kwiakowski, S. Krejszeff & J. Perkowski. 2008. Reproductive parameter of common carp (*Cyprinus carpio* L) spawners during natural season and out-of season spawning. Reproductive Biology 8:285-289.
- Lanza- Espino, G. & Arredondo –Figueroa J. L. 1990. Acuicultura en México, de los conceptos a la producción. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Pág. 286.
- Lirski, A., & K. Opuszyński. 1988. Lower lethal temperatures for carp [*Cyprinus carpio* L.] and the phytophagous fishes [*Ctenopharyngodon idella* Cal., *Hypophthalmichthys molitrix* Val., *Aristichthys nobilis* Rich.] in the first period of life: Roczniki Nauk Rolniczych, v. 101, p. 11-29. [In Polish with English summary.]

- Lozada, M.M. 2014. Evaluación del nitrógeno en sus diferentes formas y su relación con las bacterias nitrificantes en el lago de Xochimilco. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Pág. 45.
- Mann, R. H. K., C. A. Mills & D. T. Crisp. 1984. Geographical variation in the life-history tactics of some species of freshwater fish. In G. W. Potts & R. J. Wootton (eds), *Fish Reproduction*. Academic Press. London: 171-186.
- Marshall, J., G. Pullen & A. Jordan. 1993. Reproductive Biology and Sexual Maturity of Female Jack Mackerel, *Trachurus declivis* (Jenyns), in Eastern Tasmania Waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 44: 799–809.
- Matsui, I. 1957. The number of eggs discharged at its primary spawning in relation to number of ovarian eggs in carp. *J. Shimonoski College Fish.* 7: 147–150.
- Medina, J. 2004. Determinación de las propiedades físicas y químicas de suelos de chinampa del área de San Luis Tlaxiátemalco-Xochimilco utilizando sistemas de información geográfica. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. Pág.105p.
- Merlo, A. 2010. Variación espacial de la firma isotópica de quironomidos, MOP y sedimentos en los canales de Xochimilco, México: Implicaciones en la red trófica. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología. Benemerita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. Pág 46.
- McCrimmon, HR.1968. Carp in Canada. *Fisheries Research Board of Canada Bulletin* 165: 1–89.
- Nelson, J.S.2006. *Fishes of the world*. John wiley & sons, inc. Alberta, Canada. 622p.
- Nikolsky, G. V. 1963. *The Ecology of fishes*. Academic Press. NY,E.U.A.
- Ortiz-Ramos, J.B. & Ruvalcaba-Garcia, A. 2005. Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, Mex. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. D. F.
- Oyugi, D. O., J. Cucherousset, M.J. Ntiba, S.M. Kisia & D. M. Harper. 2011. Live history traits of an equatorial common carp *Cyprinus carpio* population in relation to thermal influences on invasive populations. *Fisheries Research* 110: 92-97.
- Parneswaran, S, K.H. Alikunhi & K.K .Sukumaran. 1972. Observations on the maturation, fecundity and breeding of common carp, *Cyprinus carpio*. *Indian Journal of Fisheries* 19: 110–124.
- Panek, F.M., 1987, *Biology and ecology of carp*, in Cooper E.L., ed., *Carp in North America*: Bethesda, Md., American Fisheries Society, p. 1-15.
- PESTSMART. 2014. *Carp weakness and vulneravilities*. CPFS10.

- Ramsar. 2004. Ficha informativa de los humedales Zona Lacustre “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Convención sobre los Humedales.
- Ricker, W. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Board Can., p 395.
- SAGARPA. 2012. Carta Nacional Acuícola. Diario Oficial, segunda sección. <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/2011/06062012%20SAGARPA.pdf>
- Salafranca, L., V. Sierra, M. Nuñez, A. Solanas & D. Leiva. 2005. Analisis estadístico mediante aplicaciones informáticas SPSS, STATGRAPHICAS, MINITAB y EXCEL. Textos docentes, Universidad de Barcelona, España.
- Schofield, P.J., J.D. Williams, L.G. Nico, P. Fuller & M.R. Thomas 2005. Foreign Nonindigenous Carps and Minnows (Cyprinidae) in the United States – A Guide to their Identification, Distribution, and Biology. Scientific Investigations Report 2005-5041.
- Simberloff, D. 2003. How Much information on population biology is need to manage introduced species?. *Conservation Biology*, Volume 17°, N° 1. Pp. 83 – 92.
- Simberloff, D. 2011. How common are invasión-induced ecosystem impacts?. *Biol Invasions*, 13:1255-1268.
- Snyder, E., S. Snyder, S. Villalobos & J. Giesy. .2004. Reproductive Responses of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Exposed in Cages to Influent of the Las Vegas Wash in Lake Mead, Nevada, from Late Winter to Early Spring. *Environmental Science & Technology* Vol. 38,N° 23.
- Stacey, N.E., 1984. Control of the timing of ovulation by exogenous and endogenous factors. In: *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*. Academic Press, London, pp. 207–222.
- Solmaz, S., E. Naeem, M. Mehrzad & R. Masoud. 2012. Histological Studies of Common Carp Ovarian Development During Breeding Season in Khouzestan Province, Iran. . *World Journal of Fish and Marine Sciences* 4 (2): 159-164.
- Tempero, G. W, N. Ling, B. J. Hicks & M. W. Osborne. 2006. Age composition, growth, and reproduction of koi carp (*Cyprinus carpio*) in the lower Waikato region, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2006, Vol. 40: 571–583.
- Tomita, M., M. Iwahashi & R. Suzuki, 1980. Number of spawned eggs and ovarian eggs and egg diameter and percent eyed eggs with reference to the size of the female carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 46: 1077-1081.

- Torales, E. A. 1994. La piscicultura en México: un análisis de la problemática ecológica por la introducción de especies. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma De México. D.F. Pág. 54.
- Valiente, E. 2006. Efecto de las especies introducidas en Xochimilco para la rehabilitación del hábitat del ajolote (*Ambystoma mexicanum*), Maestría en Restauración. Posgrado en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Wang, JQ, H.L. Lui, H.Y. Po & L. N. Fan. 1997. Influence of salinity on food consumption, growth and energy conversion efficiency of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Aquaculture* 148: 115–124.
- Welykochatko, T.D. 1976. Biology of the Carp in Brazil. *Ann. Zool.*, Agra 12: 53–65.
- West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes: A review. *Australian J. Mar. Freshw. Res.* 41: 199–222.
- Wootton, R.J. 1991. Ecology of teleost fishes. Chapman & Hall, Londres, Inglaterra.
- Yamamoto, K & F. Yamazaky. 1961. Rhythm of development in the oocyte of the goldfish, *Carassius auratus*. *Bull. Fac. Fish., Hkkaido Univ.* XII. 2:93-110.
- Zambrano, L, Scheffer M & M. Martinez-Ramos . 2001. Catastrophic response of lakes to response to benthivorous fish introduction. *Oikos* 94:344–350.
- Zambrano, L., E. Martínez-Mayer, N. Meneses & P.A. Townsend. 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Can J Fish Aquat Sci* 63:1903–1910.
- Zambrano, L, E. Valiente 2008. Mitigación del impacto de las especies introducidas en la zona lacustre de Xochimilco. Gobierno del Distrito Federal, Instituto de Biología de la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, México DF
- Zambrano, L., V. Contreras, M. Mazari-Hiriart & A. Zarco-Arista .2009. Spatial heterogeneity of water quality in a highly degraded tropical freshwater ecosystem. *Environ Manage* 43:249–263.
- Zambrano, L., E. Valiente, & J. Vander. 2011. Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City.
- Zambrano, L., E. valiente, K. Levy, F.Córdova, A. Tovar, L. Sastré, M. rubio, J. Gimenez, M. Almazán, C. Sumano, M. Alvarado, S. Lopez, C. Gonzales, M. Mazari. G. Pérez, A. Aguilar, M. Contreras & V. Mondragón. 2012. Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote. Informe Final. Instituto de Ecología (Universidad

Nacional Autónoma De México), Instituto de Biología (Universidad Nacional Autónoma De México), laboratorio de Restauración Ecológica (Universidad Nacional Autónoma De México).

