



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**Influencia de la época del año y calidad del agua en la dinámica poblacional del charal *Chirostoma jordani* de Xochimilco, Cd. México. Comparación de ciclos anuales 2014 y 2017.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

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

**EUNICE CELICE JARDINEZ MENDEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Doctor José Román Latournerié Cervera**

**2019**

**Ciudad Universitaria, CDMX.**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## Hoja de Datos del Jurado

### 1. Datos del alumno

Jardinez  
Mendez  
Eunice Celice  
76 92 53 36  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
311174964

### 2. Datos del tutor

Dr  
José Román  
Latournerié  
Cervera

### 3. Datos del sinodal 1

Dr  
Abraham  
Kobelkowsky  
Díaz

### 4. Datos del sinodal 2

Dra  
Rebeca María  
López  
Rivas

### 5. Datos del sinodal 3

Dra  
Claudia Patricia  
Ornelas  
García

### 6. Datos del sinodal 4

M en C  
Héctor Salvador  
Espinosa  
Pérez

### 7. Datos del trabajo escrito

Influencia de la época del año y calidad del agua en la dinámica poblacional del charal *Chirostoma jordani* de Xochimilco, Cd. México. Comparación de ciclos anuales 2014 y 2017.  
48 pp.  
2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Todo mi agradecimiento a las personas que me apoyaron durante la realización de este trabajo. En primer lugar, a la UNAM y a la Facultad de Ciencias por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta gran casa de estudios.

Al Dr. José Roman Latournerié Cervera por su paciencia, su disposición, su criterio y por siempre compartir sus conocimientos.

A la bióloga Dafne Bonilla Cerquedo que ha sido una de las profesoras que más he apreciado en la carrera. Gracias por su motivación, su dedicación, su gran apoyo y su amistad sincera.

A todo el equipo de trabajo del laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática: Diana Breton, Estefanía Barrios, Mariana Vega, Félix Lozano, Alfredo Tierrablanca y José Torres, gracias por su ayuda en los muestreos, las biometrías y todo su apoyo. Por su gran amistad y los buenos momentos. Agradezco especialmente a Diana Breton por ser mi más grande amiga en la carrera.

A los miembros del jurado agradezco sus comentarios, observaciones y críticas: Dr. Abraham Kobelkowsky, Dra. Rebeca López, Dra. Patricia Ornelas y M. en C. Héctor Espinosa.

## **DEDICATORIA**

Le dedico este trabajo con regocijo y amor a todas las personas que son los pilares de mi vida, aquellos que han sido relevantes en mi formación tanto académica como personal.

A toda mi familia, que siempre se ha preocupado y velado por mí para que logre ir más allá.

A mis padres, por brindarme esta vida, su apoyo incondicional, su motivación constante y amor que fueron vitales para alcanzar mis metas y crecer como persona.

A mis hermanos, por lo que representan para mí, por su apoyo, su cariño y por ser una parte importante de una hermosa familia.

A mi novio, que me ha apoyado para ser mejor cada día, por sus palabras de aliento, y por los bellos momentos juntos.

A mí, por cumplir el reto de escribir este trabajo y alcanzar esta meta en mi vida.

## RESUMEN

El charal *Chirostoma jordani* tiene gran valor desde el punto de vista ecológico, económico y cultural, ya que es una especie endémica de la meseta central de México y puede encontrarse en diversos hábitats acuáticos donde forma parte de la pesquería artesanal. *C. jordani* ha disminuido su abundancia a través del tiempo en todos los cuerpos de agua donde se encuentra, debido tanto a las actividades antropogénicas como por causas naturales. Los objetivos del presente trabajo se enfocaron en comparar la dinámica poblacional de *C. jordani* durante los ciclos anuales del 2014 - 2015 y 2017 - 2018 en relación a la variabilidad ambiental de indicadores físicos y químicos de la calidad del agua en el área de canales de Xochimilco durante estos años. Los muestreos se realizaron en el canal de Cuemanco, Xochimilco donde se recolectaron muestras de la población, así como del agua en los estratos superior de la columna de agua y del estrato bentónico. Estos ciclos fueron separados en épocas contrastantes: fría (febrero-marzo) y cálida (abril-diciembre), con la finalidad de evaluar la temporalidad de los factores que modulan la población. Las variables de calidad del agua con mayor significancia fueron pH, sólidos totales,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ . Se obtuvo una tasa de crecimiento en el ciclo 2014 de 0.125 mm/día en primavera-verano, 0.325 mm/día en verano-otoño y 0.203 mm/día en otoño-invierno. Para el ciclo 2017 la tasa de crecimiento para primavera-verano fue de 0.198 mm/día, en verano-otoño fue de 0.102 mm/día y en otoño-invierno de 0.09 mm/día. Las condiciones de calidad del agua fueron diferentes entre ciclos y entre los estratos. Por su parte, las condiciones de calidad del agua mostraron que el estrato superior de la columna de agua es más adecuado para las poblaciones de *Chirostoma jordani* en ambos ciclos. Además, se encontraron estresores ambientales que pueden ser perjudiciales para la población de Charal de Xochimilco, estos son las concentraciones de fosfatos y de amonio que alcanzaron niveles tóxicos para la vida acuática. Con base en estos resultados se obtiene información de línea base que tiene incidencia directa en los planes manejo de la especie en su hábitat natural, así como en condiciones controladas. Esta información es relevante para actualizar el estado de conservación de esta especie en el área de estudio y proveer información valiosa para el Área Natural Protegida de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

## **ABSTRACT**

The *Chirostoma jordani* silverside (charal) has great value from an ecological, economic and cultural point of view, since it is an endemic specie of Central Plateau of Mexico and it can be found in various aquatic habitats where charal form part of the artisanal fishery. *C. jordani* has diminished its abundance over the time in all aquatic environments where it is found, due to both anthropogenic activities and natural causes. Therefore this research focused in comparing the population dynamics of *C. jordani* during the annual cycles of 2014 – 2015 and 2017 – 2018 in relation to the environmental variability of the physical and chemical indicators of water quality in the Xochimilco's channel area during these years. Monthly samples of the charal population were collected in Cuemanco channel, as well as water samples in the upper of the water column and the bentonic strata. Sampling cycles were separated in contrasting times: cold season (February - March) and warm season (April - December) in order to evaluate the temporality of the factors that modulate the fish population. The water quality variables with greater significance were: pH, total solids, NO<sub>2</sub> and NO<sub>3</sub>. A growth rate in 2014 cycle of 0.125 mm/day was obtained in spring - summer, 0.325 mm/day in summer - autumn and 0.203 mm/day in autumn – winter. For 2017 cycle the growth rate for spring-summer was 0.198 mm/day, in summer – autumn was 0.102 mm/day and in autumn – winter was 0.09 mm/day. The water quality conditions were different between cycles and between strata. In addition, environmental stressors like phosphate and ammonium concentrations that reached toxic levels were found to be detrimental to the *C. jordani* population. On the other hand, water quality conditions showed that the surface stratum is more suitable for *Chirostoma jordani* populations in both cycles. Based on these results, baseline information is obtained that has a direct impact on the management plans of the species in its natural habitat, as well as under controlled conditions. This information is also relevant for the update of the status of charal population in the study area and it feedback the management plan of the ANP “Ejidos de Xochimilco and San Gregorio Atlapulco”.

**Contribución No. 204. Laboratorio interdisciplinario de Acuicultura y Recursos Naturales. Departamento de Biología Comparada. Facultad de Ciencias, UNAM.**

## ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Dinámica poblacional peces	3
2.2 Taxonomía	3
2.3 Descripción de la especie	4
2.4 Distribución	5
2.5 Hábitos alimenticios	5
2.6 Reproducción	6
3. ANTECEDENTES	6
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. HIPÓTESIS	10
6. OBJETIVOS	10
6.1 Objetivos generales	10
6.2 Objetivos específicos	10
7. MÉTODO	11
7.1 Área de estudio: Xochimilco	11
7.2 Trabajo de campo	12
7.2.1 Colecta	12
7.3 Trabajo de laboratorio	13
7.3.1 Análisis fisicoquímico	13
7.3.2 Dinámica población	14
7.3.2.1 Crecimiento alométrico	14
7.3.2.2 Tasa de crecimiento	14
7.4 Análisis estadístico	15
8. RESULTADOS	16
8.1 Caracterización del hábitat	16
8.1.1 Estadísticos descriptivos	16
8.1.2 Análisis discriminante	18
8.2 Aspectos de dinámica poblacional	19
8.2.1 Descripción del ciclo 2014- 2015	19
8.2.1.1 Estadísticos descriptivos	19
8.2.1.2 Tasa de crecimiento	20



8.2.1.3 Relación PH-LT	22
8.2.2 Descripción del ciclo 2017- 2018	23
8.2.2.1 Estadísticos descriptivos	23
8.2.2.2 Tasa de crecimiento	24
8.2.2.3 Relación PH-LT	26
9. DISCUSIÓN	29
9.1. Caracterización del hábitat	29
9.2 Comparación de la dinámica poblacional en ambos ciclos	35
9.2.1 Tasa de crecimiento	37
9.2.2 Relación PH-LT	38
10. CONCLUSIONES	40
11. RECOMENDACIONES	41
12. LITERATURA CITADA	42

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro	Página
1. Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de los variables fisicoquímicos de la calidad del agua en el canal de Cuemanco para el ciclo 2014 - 2015	16
2. Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de los variables fisicoquímicos de la calidad del agua en el canal de Cuemanco para el ciclo 2017 - 2018	17
3. Cuadro 3. Resumen de los análisis discriminantes de las variables de calidad del agua medidas en el canal de Cuemanco, Xochimilco considerando los años de muestreo y los meses agrupados en épocas	18
4. Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las variables biométricas medidas en <i>C. jordani</i> por época para el ciclo 2014 – 2015	19
5. Cuadro 5. Tasa de crecimiento de <i>C. jordani</i> de 2015	21
6. Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de las variables biométricas medidas en <i>C. jordani</i> por época para el ciclo 2017 – 2018	24
7. Cuadro 7. Tasa de crecimiento de <i>C. jordani</i> de 2017	25
8. Cuadro 8. Interacción de factores de la calidad del agua que modulan la dinámica poblacional de <i>C. jordani</i> en la zona del canal de Cuemanco, Xochimilco. Comparación de ciclos anuales 2014 -2015 y 2017 – 2018	28
Figuras	Página
1. Figura 1. <i>Chirostoma jordani</i> (Woolman 1894), Imagen modificada (recorte) de Olvera-Blanco (2004)	5
2. Figura 2. Mapa del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Modificado de Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006	11
3. Figura 3. Mapa con el polígono del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” y ampliación al canal de Cuemanco. Modificado de GPPA, 2015 y Google maps, 2019	12
4. Figura 4. Medidas biométricas de <i>C. jordani</i>	13
5. Figura 5. Diagramas de caja de la longitud total (LT) y peso húmedo (PH) de <i>C. jordani</i> para el ciclo 2014-2015	20
6. Figura 6. Histograma de $\Delta$ longitud total ( $\Delta$ LT) de <i>C. jordani</i> para las diferentes épocas del ciclo 2014 – 2015	21
7. Figura 7. Histogramas de $\Delta$ peso húmedo ( $\Delta$ PH) de <i>C. jordani</i> para las diferentes épocas del ciclo 2014 – 2015	22

8. Figura 8. Relación peso húmedo – longitud total (W-LT) de <i>C. jordani</i> para el ciclo 2014 - 2015	23
9. Figura 9. Diagramas de caja de la longitud total (LT) y peso húmedo (PH) de <i>C. jordani</i> para el ciclo 2017 - 2018	24
10. Figura 10. Histogramas de $\Delta$ longitud total ( $\Delta$ LT) para las diferentes épocas del ciclo 2017 - 2018	25
11. Figura 11 Histogramas de $\Delta$ peso húmedo ( $\Delta$ PH) para las diferentes épocas del ciclo 2017 - 2018	26
12. Figura 12. Relación peso – longitud total (W-LT) para el ciclo 2017	27

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es el componente mayoritario de la superficie terrestre, ya que constituye alrededor del 75% de la misma (Mazari, 2003). Esta se distribuye en océanos, la atmósfera, aguas subterráneas, ríos, lagos, lagunas, etc., y se encuentra en constante dinamismo y circulación. Por su parte, el agua dulce constituye únicamente el 2.5% del agua total del planeta (SEMARNAT, 2013). En la cuenca del Valle de México encontramos a Xochimilco que es un ecosistema dulceacuícola considerado nacionalmente como ANP (área natural protegida). En su mayoría es zona chinampera de producción agrícola donde se producen gran variedad de hortalizas y flores. En esta ANP se ubican 11 especies de fauna enlistadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), las cuales se encuentran bajo algún tipo de protección, e internacionalmente Xochimilco tiene el status de sitio RAMSAR desde el 2 de febrero de 2004 y es considerado patrimonio mundial de la humanidad (SMA-GDF, 2012).

En este sitio se han reportado especies endémicas como *Chirostoma humboldtianum*, *Algansea tincella*, *Rana tlaloci*, *Ambystoma mexicanum* (que está por extinguirse) y *Rana montezumae*. Entre las especies nativas se encuentra *Chirostoma jordani* perteneciente a la familia Atherinopsidae (Dyer y Chernoff, 1996), esta especie suele distribuirse en cuerpos de agua tanto lénticos como lóticos del altiplano, en los estados de Hidalgo, Nayarit, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, estado de México y ciudad de México (Rodríguez-Romero *et al.*, 2014). Los integrantes de *Chirostoma* se conforman por 18 especies y 6 subespecies, algunas de ellas dentro de la lista de especies amenazadas (Barbour, 1973; Alarcón-Durán *et al.*, 2017; DOF,2010).

La cuenca donde habita naturalmente el género *Chirostoma* es la de los ríos Lerma-Chapala-Santiago. Existe la propuesta de que antiguamente *C. jordani* llegó a esta cuenca donde habita hoy día introduciéndose a través de los ríos Lerma, posteriormente al río Santiago y el lago de Chapala donde se distribuyen hoy en día (De Buen, 1945 en Olvera-Blanco, 2004). La región está caracterizada por presentar problemas de salud ecológica, provocados por la contaminación que ingresa al ecosistema mediante varias causas, entre ellas se encuentran las actividades antropogénicas como son la agricultura

y la ganadería, el aumento de la mancha urbana, así como el crecimiento de la industrialización (Rodríguez-Romero, 2014).

La pérdida y degradación de los humedales han sido provocadas principalmente por el cambio en la vocación de la tierra y el desarrollo de infraestructura para la industria, la extracción de agua, la eutrofización, pérdida de la flora, la contaminación y la producción agropecuaria en exceso (SMA-GDF, 2012). En el caso del CDMX (antes Distrito Federal), la pérdida de cada hectárea de Suelo de Conservación provoca que los mantos acuíferos de la Cuenca del Valle de México, dejen de favorecer la recarga de alrededor de 2.5 millones de litros de agua cada año (GDF, 2007).

Otro factor a considerar es que los humedales son especialmente sensibles al cambio climático, incrementando esta pérdida y degradación de la diversidad biológica antes mencionada. Donde se incluyen tanto especies incapaces de desplazarse como el bentos; las especies migratorias y residentes de invierno como es el caso del martín pescador norteño (*Ceryle alcion*) que dependen de estos ecosistemas en sus diversas etapas de su ciclo de vida, lo que provoca una reducción de los servicios ecosistémicos (SMA-GDF, 2012).

Por otra parte, otro de los aspectos importante de esta especie es la pesquería, ya que desde tiempos prehispánicos hasta nuestros días los charales secos han desempeñado un papel importante en la alimentación de los mexicanos, dado que poseen una elevada cantidad de proteínas (74.8%) y pocas grasas (3.9%), además de que carecen de colesterol y de grasas saturadas; también constituyen una fuente importante de nutrientes como ácidos grasos  $\Omega$  3, calcio, fósforo, hierro, tiamina, niacina, y vitaminas A, B, C y E. (Reséndiz *et al.*, 2012).

La pesquería de *Chirostoma* ha atravesado una disminución drástica en las últimas décadas, algunas de las razones por las cuales se ve este decremento son la sobreexplotación de las poblaciones silvestres, contaminación de los cuerpos de agua, deterioro ambiental, crecimiento de la población humana, desecación de los hábitats acuáticos; además se encuentran los factores de competencia con especies introducidas (Rodríguez-Romero *et al.*, 2014).

La reproducción en cautiverio de la especie nativa *Chirostoma jordani* ha sido difícil debido a que los esfuerzos de producción no han tenido los resultados esperados (Cházaro *et al.*, 1989; Olvera-Blanco, 2004), por ello la protección de sus hábitats es fundamental para su conservación, así como mayores estudios para conocer el comportamiento poblacional de la especie relacionado con los factores ambientales que provocan cambios anuales en la estructura poblacional.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Dinámica poblacional en peces

El crecimiento de un pez se puede evaluar por medio del cambio de tamaño en un tiempo específico, este se puede medir utilizando las variables peso corporal y longitud del organismo. El individuo al obtener energía puede dirigirla a crecimiento, reproducción o actividades de rutina. El crecimiento en peces se puede visualizar como el resultado neto de los procesos de catabolismo y anabolismo donde el proceso anabólico es proporcional a la potencia del peso mientras que el catabolismo es proporcional al peso mismo (Bertalanffy, 1938). Este autor desarrolló una fórmula matemática que es coherente con el proceso biológico del crecimiento, esta fórmula puede ser incorporada fácilmente en los modelos de dinámica de poblaciones y de administración de recursos pesqueros, a continuación, se presenta la ecuación para la longitud:

$$L_t = L^\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde,  $L_t$ : es la talla a un determinado tiempo ( $t$ ),  $L^\infty$  : es la longitud máxima asintótica,  $k$ : es la constante de crecimiento y  $t_0$ : es la edad de los peces cuando, hipotéticamente, tienen “longitud cero” o época de nacimiento.

### 2.2 Taxonomía

La especie *Chirostoma jordani* Woolman 1894 tiene la siguiente clasificación (Froese y Pauly, 2018; Nelson *et al.*, 2016):

Reino: Animalia

Phyllum: Chordata

Subphyllum: Vertebrata

Superclase: Gnathostomata

Superclase: Pisces

Clase: Actinopterygii

Subclase:

Orden: Atheriniformes

Familia: Atherinopsidae

Subfamilia: Menidiinae

Género: Chirostoma

Especie: *Chirostoma jordani*

Todos los miembros del género son endémicos del centro de México y viven en agua dulce, (Miller *et al.*, 2009).

### 2.3 Descripción de la especie

El charal *Chirostoma jordani* es un pez de cuerpo alargado y comprimido lateralmente, la cabeza es pequeña y aplanada, su coloración es olivo claro con destacada mancha cerebral (Miller *et al.*, 2009). La banda longitudinal de los flancos es estrecha y plateada (De Buen, 1945). Esta especie tiene un intervalo de tallas que va de los 60 mm a 127 mm de longitud dependiendo del cuerpo de agua donde se encuentren, ya que según el área donde habite o el año de muestreo se tienen variaciones (Navarrete-Salgado *et al.*, 2010; Olvera-Blanco, 2004).

Los individuos de esta especie tienen una mandíbula inferior oblicua, se observa exteriormente el premaxilar, tiene ojos grandes; el cuerpo está cubierto de escamas cicloideas de borde entero; su hocico es romo, su boca es pequeña y protractil y cuenta con dientes pequeños en ambas mandíbulas, sus labios son gruesos, presentan 17 branquiespinas y tienen dos aletas dorsales. Las aletas dorsales son próximas, la primera dorsal tiene 4 o 5 radios, la segunda dorsal tiene 1 espina, 8-11 radios blandos y su aleta anal tiene una base extensa con 1 espina, 16-20 radios blandos (Miller *et al.*, 2009; De Buen, 1945).

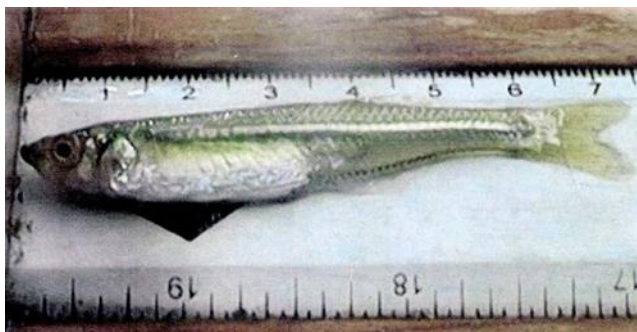


Figura 1. *Chirostoma jordani* (Woolman 1894), Imagen modificada (recorte) de Olvera-Blanco (2004).

Estos organismos no muestran un dimorfismo sexual marcado, por lo cual no se puede identificar el sexo hasta que alcanza la talla de primera madurez (43 mm) de acuerdo a Ibáñez *et al.* (2008), la identificación sexual se puede realizar con ayuda del azul de metilo para teñir el orificio urogenital y el ano. En el caso particular de Xochimilco la proporción sexual es varía entre los diversos ciclos anuales, ya que en el ciclo 1995-1996 fue de 1.7:1 (hembras: machos) respectivamente, mientras que para el 2008, la proporción fue de 1.5:1 (Olvera-Blanco, 2004; Olvera-Blanco *et al.*, 2009).

#### 2.4 Distribución.

Como Miller y colaboradores (2009) mencionan en su trabajo, este pez se encuentra en una gran variedad de ecosistemas acuáticos. Además, se tiene la propuesta hecha por De Buen (1945) donde explica como *C. jordani* arribo al continente desde el océano, su posible desplazamiento por el continente desde las cuencas de los ríos Lerma y Santiago hasta su arribo a la mesa central de México.

Asimismo, podemos encontrar a este organismo en cuerpos de agua naturales y artificiales como es el caso del embalse Goleta y el estanque Guillermo Lagunes en el estado de México, entre otros más de la cuenca Lerma-Santiago (Navarrete-Salgado *et al.*, 2010).

#### 2.5 Hábitos alimenticios

Los individuos de esta especie tienen una selectividad del alimento dependiendo de la talla y la disponibilidad del alimento en el cuerpo del agua. Así, los organismos de tallas más pequeñas y los más jóvenes se alimentan mayormente de copépodos de los géneros



*Diaptomus*, en menor proporción del género *Cyclops* y de los cladóceros *Daphnia* y *Diaphanosoma*. En tallas que son intermedias se encuentra una marcada alimentación del género *Diaptomus* para la estación de primavera y verano, mientras que en otoño e invierno se alimentan del género *Daphnia*. En cuanto a tallas de gran tamaño la alimentación se basa en el género *Daphnia* (Saldívar, 2007; Navarrete *et al.*, 1996). En algunos casos se ha encontrado canibalismo en estos individuos.

## 2.6 Reproducción

Las hembras de este género son ovíparas y tiene múltiples desoves en la temporada reproductiva que es en primavera o verano generalmente. Las tallas mínimas de reproducción en hembras son de 28.4 a 48 mm y en machos es de 30 a 55 mm, aunque esta talla depende del cuerpo de agua donde se encuentren, así como del año de muestreo (Hernández, 1993; Olvera-Blanco *et al.*, 2009). En general, la fecundidad es de 143 a 1102 huevos por hembra, la cantidad de huevos es variable dependiendo de la talla de la hembra y el cuerpo de agua donde se encuentre (Wootton, 1990; Hernández, 1993). De acuerdo con la literatura, la época reproductiva es de primavera a verano dependiendo de la localidad. Los factores que determinan la época reproductiva son la temperatura cálida y un mayor nivel de oxígeno (Nikolsky, 1969; Wetzel, 1975; Olvera-Blanco, 2004).

## 3. ANTECEDENTES

Existe una gran cantidad de trabajos sobre *Chirostoma jordani*, los cuales incluyen aspectos histológicos, biológicos, de hábitos alimenticios, reproducción, desarrollo embrionario y dinámica poblacional a lo largo del tiempo (Rangel-Nambo, 2017; Olvera-Blanco *et al.*, 2009; Ibáñez *et al.*, 2008; Navarrete-Salgado *et al.*, 2010; Navarrete-Salgado *et al.*, 2011; Olvera-Blanco, 2004; Cházaro, 1989, Blancas-Arroyo *et al.*, 2014).

Recientemente, se efectuó un estudio de evaluación de crecimiento, metabolismo de rutina y eficiencia de asimilación de energía del charal *Chirostoma jordani* (Rangel-Nambo, 2017) donde se determinaron los elementos (R) y (P) de la ecuación general del balance de energía ( $C=P+R+F+U$ ) y la presencia de un componente estacional en la eficiencia de asimilación de energía. Se muestrearon los meses de agosto a noviembre de 2014 y de febrero a mayo de 2015, en el canal de Cuemanco, Xochimilco. Se obtuvo una tasa de crecimiento promedio mayor en la época de marzo-mayo que fue de  $0.19\pm 0.5$

mm/día. Los organismos de noviembre invirtieron en metabolismo de rutina 268.3 cal/gPS/día y los de abril 760 cal/gPS/día, equivalentes al 19.2% y 16.5% de su energía total, siendo la temperatura y la talla altamente influyentes en estos procesos. La energía invertida en crecimiento se determinó para los periodos agosto-septiembre, septiembre-noviembre, marzo-abril y abril-mayo, obteniendo como resultado una inversión de 704.1 cal/gPS/día, 184.3 cal/gPS/día, 1,708.2 cal/gPS/día y 1,686.1 cal/gPS/día, respectivamente. La eficiencia de asimilación de energía en abril fue del 53% y en noviembre del 32%.

Olvera-Blanco y colaboradores (2009) realizaron una investigación sobre la biología reproductiva de la especie, a partir de muestreos realizados mensualmente en el período de abril 1995 a marzo 1996. Determinaron la proporción sexual macroscópicamente y obtuvieron una proporción mayor de hembras que de machos (1.5:1). En ese ciclo las hembras alcanzaron tallas más grandes (longitud patrón) que los machos, donde la mayor talla para hembras y machos fue 72 y 63 mm, respectivamente. La variación mensual de los índices gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS) y el desarrollo del ovario indicó que el desove se efectuó predominantemente de enero a mayo. El valor de correlación fecundidad-longitud fue más alto ( $r = 0.7383$ ;  $p = 0.0003$ ) que para fecundidad-peso ( $r = 0.6132$ ;  $p = 0.002$ ). La fecundidad varió de 143 a 952 huevos por hembra con una media de 324 huevos.

Por su parte, Ibáñez y colaboradores (2008) se enfocaron en algunos aspectos de la biología reproductiva del charal en el límite oriental de su distribución natural en el Lago de Metztlán en el estado de Hidalgo. Como resultado se observó una fenología similar a otras poblaciones. La máxima longitud patrón reportada fue de 58 mm y la talla a la primera madurez sexual fue de 43 mm. La proporción de sexos mostró un mayor número de hembras para todas las colectas, con excepción de la de enero del 2004.

Navarrete-Salgado y colaboradores (2010) hicieron un estudio de la situación del charal en el embalse La Goleta del estado de México. En este sitio se analizó la variación en la abundancia de la población de *C. jordani* en los años de 1998, 2007 y 2008, en épocas de lluvias y secas. Como resultado se obtuvo que el año de 1998 fue el de mayor abundancia (3,000 peces/1000 m<sup>2</sup>), en contraste con el año de 2008 que tuvo menor abundancia (5 peces/1000 m<sup>2</sup>). Se determinó que la disminución en la población era debida a la

introducción de especies exóticas como *Cyprinus carpio* y *Carassius auratus*. Además, se encontró una especie de lobina *Micropterus salmoides*, que es carnívora y depredadora de los primeros estadios de desarrollo del charal. Asimismo, se encontró la presencia del cestodo *Bothriocephalus acheilognathi* en la población de charal, que en este estudio fue un factor que influyó en la distribución de la población de este pez, así como el vertido de aguas negras al sistema.

Otro estudio realizado por Navarrete-Salgado y colaboradores (2011) en el estanque Guillermo Lagunes en el estado de México mostró que la relación peso-longitud obtuvo un factor de condición de 4.92 % y la mortalidad fue de -1.979 (86 %). La longitud máxima de *C. jordani* fue de 6.4 cm y la tasa de crecimiento de -0.5861. La tasa de crecimiento en el estanque fue alta comparada con la de otros charales del área (Sánchez *et al.*, 2006).

En un estudio del 2004 sobre los aspectos poblacionales del charal realizado en Xochimilco, se observó que la longitud total máxima registrada en este cuerpo de agua en las hembras fue de 83.1 mm, la longitud patrón máxima fue de 75.1 mm y la longitud patrón promedio fue de 53.6 mm y en los machos la longitud total máxima fue de 80.6 mm, la longitud patrón máxima fue de 67.5 mm, en tanto la longitud patrón promedio fue de 50.3 mm. El peso máximo registrado en hembras fue de 5.9 g y en los machos de 4.2 g. De los datos de madurez gonádica, índice gonadosomático y factor de condición, se considera que la especie lleva a cabo la fase reproductiva a fines de invierno y principios de primavera. En la relación de temperatura con los índices gonadosomáticos y hepatosomáticos se encontró una relación directa que sugiere que la temperatura es el factor principal que desencadena la preparación del organismo para la realización del proceso reproductivo con el desarrollo de las gónadas, aunque no se descarta que existan otras variables involucradas, pero que no fueron analizadas en ese trabajo (Olvera-Blanco, 2004).

El estudio de Cházaro (1989) se realizó en el embalse Trinidad-Fabela en el estado de México, donde se colectó a *C. jordani* con un chinchorro de paño charalero de 30 metros de longitud, una caída de 3 metros y una abertura de malla de 1/3 de pulgada. Se obtuvieron 5 clases de edad, una longitud máxima de 12.70 cm y un peso máximo de 34.94 g. Se encontró que la época de reproducción es en primavera y que la talla mínima de reproducción se presenta en esta misma temporada, con una fecundidad promedio de

658 huevecillos, su alimentación es zooplanctófaga y la complementan con organismos del estrato bentónico. El factor de condición y el tipo de crecimiento están regulados por la canalización de energía hacia almacenamiento y el evento reproductivo.

También, se tiene un estudio por parte de Blancas-Arroyo y colaboradores (2014) donde se estudia el efecto de la salinidad en la sobrevivencia del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. En este se incluyeron dos especies de charal: *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) provenientes de Cuernavaca y *Chirostoma chapalae* (Jordan y Snyder, 1990) nativos de Querétaro. Se empleó la distribución binomial  $p$  (probabilidad de éxito), para calcular la probabilidad de sobrevivencia de los peces al ser trasladados bajo los tratamientos con salinidad. Las conclusiones derivadas del ensayo indicaron que los peces blancos y charales silvestres, después de su captura deberán ser transportados y mantenidos durante 24 h a una salinidad de 10 psu (gramos de sal por litro) y posteriormente disminuirla a 5 psu durante la aclimatación, la cual tiene una duración de  $7 \pm 1$  día en sistemas de recirculación. Este procedimiento basado en el manejo de la salinidad.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

El sistema lacustre de Xochimilco es uno de los pocos humedales que se conservan dentro de la Ciudad de México, la cual continua su crecimiento. Dentro de estas se encuentran especies de gran importancia tanto ecológica como económica, entre ellas el ajolote *Ambystoma mexicanum*, especie endémica del lago de Xochimilco que se encuentra en la categoría de protección especial según la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2010). Este sistema ha sido impactado a través de su historia e incluso hoy en día se observa cierta degradación del mismo, ya que varias especies nativas han ido disminuyendo su número o se han extinto como en el caso de la rana de Moctezuma (*Lithobates montezumae*) (SMA-GDF, 2012).

El charal es una de estas especies nativas de los canales de Xochimilco, el adecuado estudio en cuanto a la estructura de su población y sus respectivos cambios a través del tiempo son elementos clave para un adecuado manejo de la especie. Este organismo es utilizado mayormente para consumo local. Igualmente, un hecho curioso es que el cultivo

de *Chirostoma jordani* no ha sido fructífero en condiciones de cautiverio (Navarrete, 1981; Olvera-Blanco, 2004).

Tomando en cuenta la problemática en Xochimilco y la incapacidad de reproducir en cautiverio a esta especie (Olvera-Blanco, 2004), resulta básico generar información sobre las especies que aún persisten en la zona, siendo *C. jordani* una especie de gran importancia, tanto pesquera como comercial en Xochimilco, por lo anterior resulta muy importante generar información de línea base para la especie y analizar los factores que modulan la dinámica poblacional de este recurso (incluyendo el comportamiento de la población en varios ciclos anuales), por lo que este estudio aportará información significativa para la continuidad y manejo productivo potencial de la especie.

## **5. HIPÓTESIS**

La población de charal mostrará diferencias en su dinámica poblacional debido a las variaciones de factores bióticos y abióticos que acontecen a través de las diversas épocas del año, tales como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, sólidos totales, disponibilidad de alimento, competencia, parasitismo, etc., y es factible una variación entre años, dado que la dinámica del hábitat puede variar en ciclos a corto, mediano y largo plazo. De lo contrario, no se encontrarán diferencias significativas en la dinámica poblacional del charal ni en las variables de la calidad del agua.

## **6. OBJETIVOS**

### 6.1 Objetivo general

Comparar la dinámica poblacional en los ciclos anuales 2014 y 2017 de *Chirostoma jordani* presente en Xochimilco, Ciudad de México.

### 6.2 Objetivos Particulares

- Analizar la estructura de tallas y tasa de crecimiento de *C. jordani* en cada ciclo de muestreo (2014 y 2017).
- Analizar los componentes ambientales que afectan anualmente a la población de charal.

## 7. MÉTODO

### 7.1 Área de estudio: Xochimilco

El Área Natural Protegida (ANP) “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” se encuentra en la zona centro-norte de la delegación Xochimilco en la Ciudad de México. Tiene una superficie de 2,657 ha, sus coordenadas son: 19°15'11" y 19°19'15" latitud Norte, y 99°00'58" y 99°07'08" longitud Oeste (GODF, 2006).

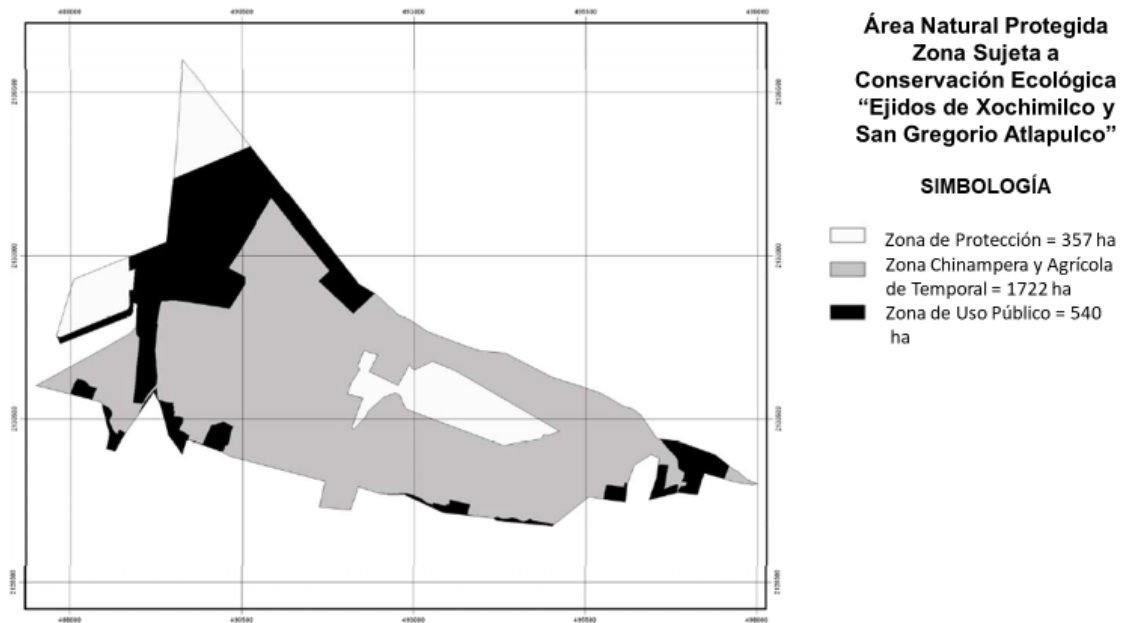


Figura 2. Mapa del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Modificado de Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006.

El clima de Xochimilco es templado subhúmedo con lluvias en verano C (w). Los meses de enero a mayo son aquellos que tienen una humedad relativa más baja (Molina, 2009). La precipitación pluvial media anual es de 620.4 mm, y la mayor parte se concentra entre los meses de mayo y octubre. La temperatura media anual oscila entre los 12° y 18°C, con poca variación de las temperaturas medias mensuales (entre 5° y 7°C); entre noviembre y enero pueden presentarse heladas (Aranda, 2004).

La cuenca hidrológica a la que pertenece Xochimilco se encuentra en la región Pánuco es la del Río Moctezuma, en la subcuenca lago Texcoco-Zumpango (INEGI, 2001). La longitud aproximada de canales es de 203 km, entre los más importantes se encuentran: Cuemanco, Nacional, Chalco, Del Bordo, Apatlaco, San Sebastián, Ampampilco, Texhuilo,

Zacapa, Caltongo, Santa Cruz y Japón (Figura 3). Las lagunas principales son Caltongo, Del Toro y el lago de Conservación de Flora, Fauna y Acuicultura de San Gregorio Atlapulco (Aranda, 2004).

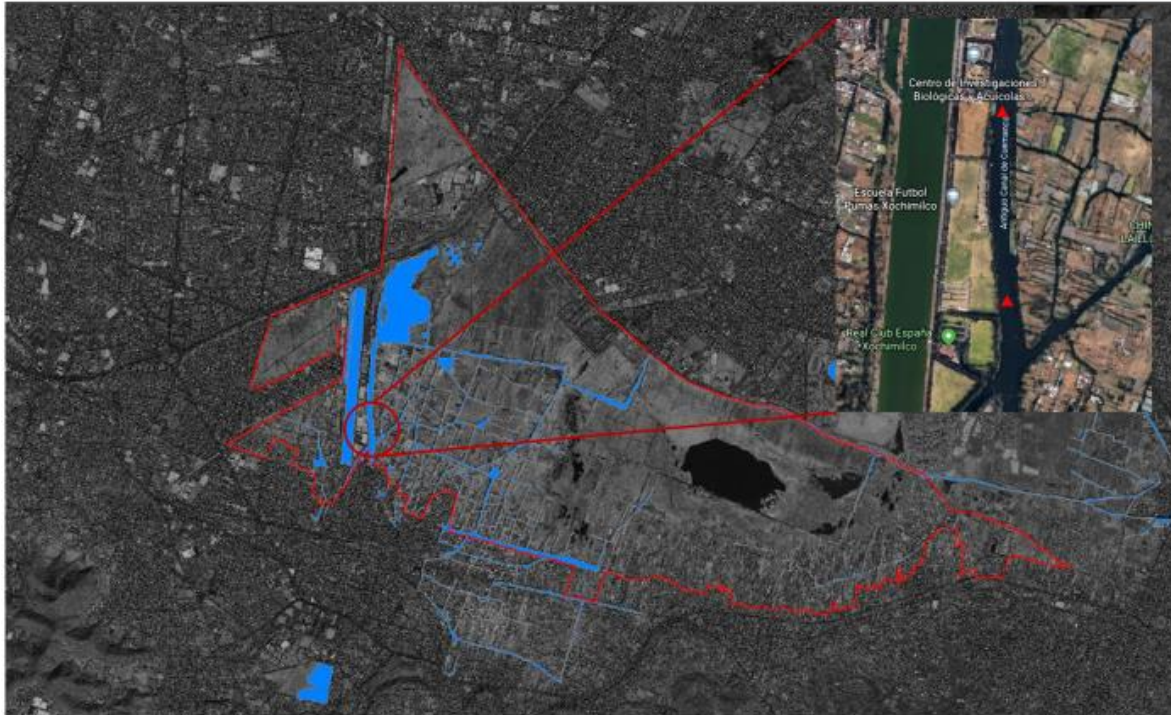


Figura 3. Mapa con el polígono del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” y ampliación al canal de Cuemanco. Modificado de GPPA, 2015 y Google maps, 2019.

Triángulos rojos muestran el inicio y fin del arrastre realizado en los muestreos.

## 7.2 Trabajo de campo

### 7.2.1 Colecta

Se realizaron salidas al campo los años 2014 - 2015, y 2017 – 2018, en los que se realizaron muestreos mensuales en el canal de Cuemanco. La forma de captura de organismos fue con ayuda de una red rectangular con malla mosquitero de 1 mm de luz, esta red fue sostenida por una persona en la proa de la embarcación. Mediante una trajinera con motor se realizó un arrastre de un minuto sin mover la red de la proa y se recorrieron 500 m aproximadamente. Los individuos se recolectaron y guardaron en botes opacos para ser fijados en formol al 10%.

Para cada colecta se midió *in situ* los parámetros de temperatura, pH, conductividad y sólidos disueltos mediante una sonda PCSTEST35® y el oxígeno disuelto con ayuda de un oxímetro EcoSense ODO200 ( $\pm 0.05$  mg/L)®, esto para el estrato bentónico y superior de la columna de agua del canal. Los parámetros se midieron en el punto de partida del arrastre.

### 7.3 Trabajo de laboratorio

En las instalaciones del Laboratorio de acuicultura se realizaron las biometrías de los organismos donde se midió la longitud total (LT), longitud patrón (LP), ancho máximo (An. max.), altura máxima (Al. max.) (Fig. 4) mediante un vernier digital Stainless Hardened ( $\pm 0.5$ mm) y el peso húmedo utilizando una balanza analítica Sargent-Welch ( $\pm 0.01$ g). Además, se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos faltantes.

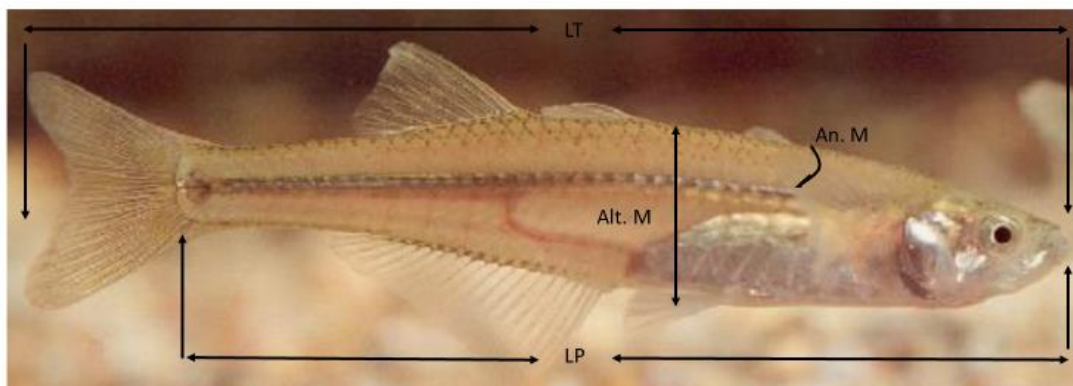


Figura 4. Medidas biométricas de *C. jordani*. Donde LT es la longitud total, LP es la longitud patrón, An. M es ancho máximo, Alt. M es altura máxima. Tomada de Navarrete-Salgado *et al.* 2011. Modificada de Guillermo Elías F.

#### 7.3.1 Análisis fisicoquímico

Se realizó un análisis de ocho parámetros fisicoquímicos del agua de los canales de Xochimilco para generar una caracterización del hábitat por época del año y ciclo anual de muestreo. Estos parámetros fueron: temperatura, pH, oxígeno disuelto, sólidos totales, nitrato, nitrito, amonio y fosfatos. Las variables químicas de nitratos, nitritos, fosfatos y amonio se determinaron con un equipo Hach DR/870® en el laboratorio.



### 7.3.2 Dinámica poblacional

Se analizaron dos ciclos anuales de la población de *C. jordani*. Los muestreos realizados en los años 2014 y 2015 para fines prácticos se denominó como ciclo 2014 y los muestreos de 2017 y 2018 fueron nombrados como ciclo 2017.

Se compararon las distribuciones de talla en longitud total (LT) y peso húmedo (PH) de *C. jordani* en las cuatro estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno). Para cada época del año se obtuvo la tasa de crecimiento y producción de biomasa (Weatherley y Gil, 1987). Cabe destacar que se encontró ictiofauna acompañante, entre ellas la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la carpa común (*Cyprinus carpio*), estos organismos fueron separados y fijados aparte de las muestras de charal.

#### 7.3.2.1 Crecimiento alométrico

Durante el ciclo de vida de un pez, el peso corporal varía como una potencia de la longitud, que comúnmente llamamos relación alométrica. Se puede establecer esta relación mediante la ecuación de la curva:

$$W = a L^b$$

Donde *W* es el peso total en gramos, y *L* es la longitud total en milímetros, mientras que “*a*” y “*b*” son constantes. La expresión se transforma a una recta mediante logaritmos, dando como resultado:

$$\text{Log } W = \text{log } a + b * \text{Log } LT$$

Dónde: **log a** es la ordenada de origen y **b** la pendiente de la recta.

Ya que la talla es una magnitud lineal y el peso es proporcional al cubo de la talla, si el pez conserva esta forma se dirá que su crecimiento es isométrico y *b* es igual a <sup>3</sup>. Cuando no se mantiene esta proporción y el valor de *b* es distinto de <sup>3</sup> se dice que el crecimiento es alométrico (Weatherley y Gil, 1987).

#### 7.3.2.2 Tasa de crecimiento

Para la obtención de la tasa de crecimiento se calcularon las distribuciones de longitud total de cada época de los dos ciclos anuales, se tomó en cuenta el promedio de estas en épocas consecutivas. Se calcularon los  $\Delta LT$  por época que es la diferencia entre el promedio de la longitud total de las épocas consecutivas y el lapso de tiempo transcurrido entre estos dos promedios.

#### 7.4 Análisis estadístico

Para la caracterización del hábitat se realizaron los estadísticos descriptivos para cada ciclo, los parámetros de calidad de agua que se consideraron fueron: temperatura, oxígeno disuelto, pH, sólidos totales, fosfatos, nitritos, nitratos y amonio. Se realizó un análisis multivariante en su modalidad discriminante, incluyendo a todos los factores en el mismo. Además, se analizó la interacción de los factores año-mes-estrato para ver la magnitud de su efecto en la dinámica poblacional. Se generaron gráficas canónicas para cada ciclo, época cálida y fría.

En el análisis de las poblaciones de ambos ciclos se realizó un análisis descriptivo considerando las distribuciones de frecuencia de las tallas. Posteriormente se efectuó un análisis de ANOVA multifactorial, donde las épocas de muestreo y los años de colecta se consideraron los factores fijos del diseño y a continuación se realizó una prueba post hoc de Tukey para delimitar subconjuntos con un nivel de significancia ( $p=0.05$ ). Además, se realizó un análisis de la tasa de crecimiento por épocas para LT y PH para cada ciclo, y se determinó la relación PH - LT empleando un modelo potencial ( $PH = K LT^{\alpha}$ ). Las rutinas de análisis se efectuaron en SPSS v. 20.0® y JMP. V. 10.0®.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Caracterización del hábitat

#### 8.1.1 Estadísticos descriptivos

Los promedios  $\pm$  DE señalando las variables de calidad del agua para ambos ciclos (2014 y 2017) se sintetizan en los Cuadros 1 y 2. En el ciclo de 2014 se reportan los valores de ocho meses de muestreo y seis meses en 2017. En ambos casos la evaluación de la temporalidad incluyó meses de época fría y cálida.

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos de las variables fisicoquímicas de la calidad del agua (Var.CA) en el canal de Cuemanco para el ciclo 2014 - 2015. Datos son Media  $\pm$  DE. Promedios con letras diferentes como superíndices entre estratos indican diferencias significativas (post hoc de Tukey  $p < 0.05$ ). Donde la superficie se refiere a la parte superior de la columna de agua y el fondo al estrato bentónico

Estrato	Var. CA	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep
SUPERFICIE	T °C <sup>A</sup>	18.7 $\pm$ 0.28	20.3 $\pm$ 1.1	<u>23.5<math>\pm</math>2.1</u>	<u>21.6<math>\pm</math>0.7</u>	<u>23.4<math>\pm</math>0.56</u>	<u>22.5<math>\pm</math>0.7</u>	<u>22.5<math>\pm</math>1.4</u>	20.4 $\pm$ 0.2
	pH	8.48 $\pm$ 0.17	8.36 $\pm$ 0.02	<u>8.6<math>\pm</math>0.04</u>	8.04 $\pm$ 0.61	8.42 $\pm$ 0.17	<u>8.52<math>\pm</math>0.07</u>	8.12 $\pm$ 0.28	<u>8.67<math>\pm</math>0.24</u>
	ST <sup>B</sup>	0.41 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.01	0.38 $\pm$ 0.01	0.38 $\pm$ 0	<u>0.44<math>\pm</math>0.02</u>	<u>0.43<math>\pm</math>0.01</u>	0.4 $\pm$ 0	<u>0.47<math>\pm</math>0.01</u>
	O <sub>2</sub> <sup>A</sup>	<u>13.0<math>\pm</math>3.8</u>	<u>11.5<math>\pm</math>1.9</u>	8.7 $\pm$ 3.4	11.9 $\pm$ 5.8	7.3 $\pm$ 0.4	5.0 $\pm$ 0.5	11.3 $\pm$ 2.0	11.5 $\pm$ 0.8
	PO <sub>4</sub> <sup>A</sup>	3.2 $\pm$ 0.8	5.0 $\pm$ 0	2.5 $\pm$ 0	2.5 $\pm$ 0	<u>5<math>\pm</math>0</u>	<u>5<math>\pm</math>0</u>	<u>2.8<math>\pm</math>3.2</u>	<u>5<math>\pm</math>0</u>
	NO <sub>2</sub>	0.31 $\pm$ 0.24	0.04 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.24	0.12 $\pm$ 0.05	<u>1.7<math>\pm</math>2.1</u>	0.4 $\pm$ 0.3	0.07 $\pm$ 0.01	<u>0.95<math>\pm</math>0.9</u>
	NO <sub>3</sub>	20.4 $\pm$ 6.2	17.6 $\pm$ 9.9	34.7 $\pm$ 1.8	56.0 $\pm$ 4.9	<u>115<math>\pm</math>148.4</u>	<u>120<math>\pm</math>141.4</u>	25.1 $\pm$ 0.8	57.5 $\pm$ 74.2
	NH <sub>4</sub>	<u>1.5<math>\pm</math>1.3</u>	0.4 $\pm$ 0.2	0.04 $\pm$ 0.4	<u>2.0<math>\pm</math>0.8</u>	<u>1.2<math>\pm</math>1.7</u>	0.1 $\pm$ 0.1	0.13 $\pm$ 0.01	0.1 $\pm$ 0.1
FONDO	T °C <sup>B</sup>	16.1 $\pm$ 1.4	19.7 $\pm$ 1.7	20.5 $\pm$ 2.1	20.6 $\pm$ 0.7	21.8 $\pm$ 0.7	19.9 $\pm$ 1.3	21.5 $\pm$ 0.6	19.5 $\pm$ 0.07
	pH	8.44 $\pm$ 0.1	8.32 $\pm$ 0.2	8.5 $\pm$ 0.04	8.04 $\pm$ 0.5	8.44 $\pm$ 0.2	8.6 $\pm$ 0.14	7.99 $\pm$ 0.14	8.46 $\pm$ 0.2
	ST <sup>A</sup>	0.42 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.01	0.18 $\pm$ 0.3	0.38 $\pm$ 0	0.46 $\pm$ 0.01	0.43 $\pm$ 0.01	0.40 $\pm$ 0.01	0.47 $\pm$ 0.01
	O <sub>2</sub> <sup>B</sup>	8.6 $\pm$ 1.5	8.8 $\pm$ 2.9	3.9 $\pm$ 3.4	3.7 $\pm$ 5.7	4.2 $\pm$ 1.3	3.1 $\pm$ 0.4	6.7 $\pm$ 3.5	6.6 $\pm$ 0.03
	PO <sub>4</sub> <sup>B</sup>	3.4 $\pm$ 0.1	5 $\pm$ 0	2.5 $\pm$ 0	2.5 $\pm$ 0	5 $\pm$ 0	10 $\pm$ 0	2.8 $\pm$ 3.2	5 $\pm$ 0
	NO <sub>2</sub>	0.32 $\pm$ 0.2	0.03 $\pm$ 0.01	0.1 $\pm$ 0.24	0.2 $\pm$ 0.05	1.7 $\pm$ 2.1	0.9 $\pm$ 1.0	0.05 $\pm$ 0.01	1.7 $\pm$ 2.3
	NO <sub>3</sub>	19.5 $\pm$ 5.2	17.6 $\pm$ 3.3	37.2 $\pm$ 1.8	49.0 $\pm$ 4.9	115 $\pm$ 148.5	120 $\pm$ 141.4	18 $\pm$ 6.9	57.5 $\pm$ 74.2
	NH <sub>4</sub>	0.9 $\pm$ 0.4	2.3 $\pm$ 0.8	0.6 $\pm$ 0.4	0.9 $\pm$ 0.8	1.3 $\pm$ 1.6	0.2 $\pm$ 0	0.06 $\pm$ 0.01	0.3 $\pm$ 0

Var. de calidad del agua en mg/L, excepto temperatura y pH. Recuadro en rojo señala los meses de época cálida, subrayado son promedios mensuales del ciclo de mayor magnitud.

Los resultados del análisis factorial señalaron diferencias altamente significativas entre años para las variables ST y NO<sub>2</sub> ( $p < 0.000$ ), significativa para O<sub>2</sub> disuelto ( $p < 0.01$ ) y marginalmente significativa para PO<sub>4</sub> ( $p < 0.06$ ). Para el caso de los meses muestreados

los factores altamente influyentes ( $p < 0.000$ ) fueron: temperatura, pH, ST, O<sub>2</sub> disuelto, PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, y NH<sub>4</sub>.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de las variables fisicoquímicas de calidad del agua (Var. CA) en el canal de Cuemanco para el ciclo 2017 - 2018. Datos son Media  $\pm$  DE. Donde la superficie se refiere a la parte superior de la columna de agua y el fondo al estrato bentónico.

Estrato	Var. CA	Feb	Mar	May	Jul	Ags	Sep
SUPERFICIE	T °C	17.4 $\pm$ 1.9	19.8 $\pm$ 0.7	<u>21.9<math>\pm</math>1.53</u>	<u>22.0<math>\pm</math>1.0</u>	<u>23.2<math>\pm</math>1.7</u>	20.9 $\pm$ 1.8
	pH	<u>9.81<math>\pm</math>0.58</u>	8.13 $\pm$ 0.15	8.52 $\pm$ 0.36	7.95 $\pm$ 0.12	8.26 $\pm$ 0.21	8.06 $\pm$ 0.27
	ST	0.42 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.01	<u>5.6<math>\pm</math>0.3</u>	<u>1.4<math>\pm</math>0.26</u>
	O <sub>2</sub>	<u>7.8<math>\pm</math>1.0</u>	<u>7.7<math>\pm</math>0.6</u>	<u>9.2<math>\pm</math>1.2</u>	<u>7.5<math>\pm</math>0.2</u>	<u>10.3<math>\pm</math>1.8</u>	5.3 $\pm$ 1.2
	PO <sub>4</sub>	2.5 $\pm$ 0	4.2.0 $\pm$ 1.4	3.3 $\pm$ 1.4	5 $\pm$ 0	<u>3.8<math>\pm</math>0.2</u>	<u>4.4<math>\pm</math>0.3</u>
	NO <sub>2</sub>	0.57 $\pm$ 0.4	1.06 $\pm$ 0.46	1.63 $\pm$ 1.4	0.47 $\pm$ 0.3	<u>8.25<math>\pm</math>1.7</u>	0.02 $\pm$ 0.003
	NO <sub>3</sub>	<u>50.±0</u>	<u>70<math>\pm</math>34.6</u>	43.3 $\pm$ 57.7	5 $\pm$ 0	4.4 $\pm$ 0.9	3.4 $\pm$ 0.9
	NH <sub>4</sub>	0.47 $\pm$ 0.63	<u>3.7<math>\pm</math>2.5</u>	1.3 $\pm$ 2.1	0.12 $\pm$ 0.04	0.11 $\pm$ 0.04	0.7 $\pm$ 0.5
FONDO	T °C	16.2 $\pm$ 0.5	19.4 $\pm$ 0.4	20.8 $\pm$ 0.3	21.5 $\pm$ 0.2	22.4 $\pm$ 1.0	20.9 $\pm$ 1.8
	pH	9.72 $\pm$ 0.5	8.03 $\pm$ 0.2	8.34 $\pm$ 0.3	7.84 $\pm$ 0.14	8.02 $\pm$ 0.2	7.86 $\pm$ 0.1
	ST	0.41 $\pm$ 0.01	0.42 $\pm$ 0.02	0.22 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.01	5.1 $\pm$ 0.8	1.32 $\pm$ 0.2
	O <sub>2</sub>	7.0 $\pm$ 0.7	7.2 $\pm$ 0.1	7.9 $\pm$ 1.0	7.3 $\pm$ 0.7	8.1 $\pm$ 0.5	4.5 $\pm$ 2.1
	PO <sub>4</sub>	2.5 $\pm$ 0	4.2 $\pm$ 1.4	3.3 $\pm$ 1.4	5 $\pm$ 0	3.7 $\pm$ 0.2	4.3 $\pm$ 0.3
	NO <sub>2</sub>	0.56 $\pm$ 0.4	0.9 $\pm$ 0.65	1.3 $\pm$ 1.7	0.5 $\pm$ 0.3	9.5 $\pm$ 1.7	0.02 $\pm$ 0.01
	NO <sub>3</sub>	50 $\pm$ 0	60 $\pm$ 45.8	43.3 $\pm$ 57.7	5 $\pm$ 0	4.6 $\pm$ 1.3	4.4 $\pm$ 1.0
	NH <sub>4</sub>	0.47 $\pm$ 0.63	3.67 $\pm$ 2.45	1.3 $\pm$ 2.1	0.15 $\pm$ 0.04	0.14 $\pm$ 0.07	0.81 $\pm$ 0.6

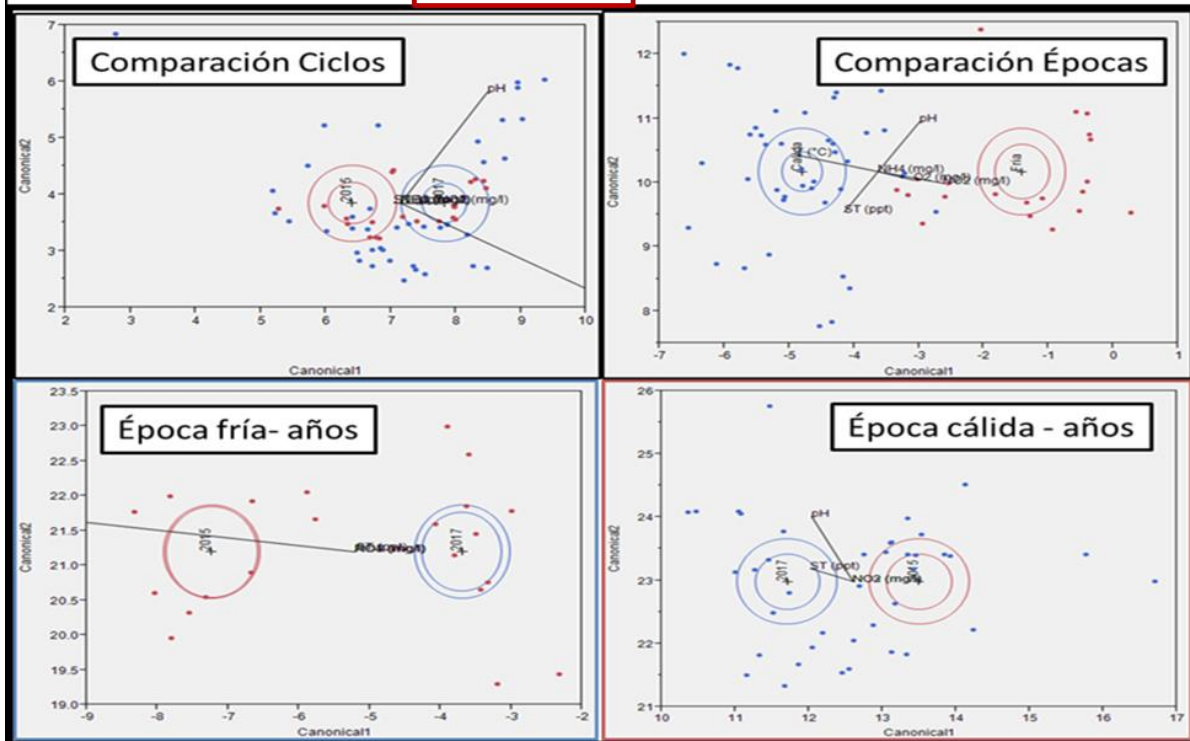
Var. de calidad del agua en mg/L, excepto temperatura y pH. Recuadro en rojo señala los meses de época cálida, subrayado son promedios mensuales del ciclo de mayor magnitud.

Se detectó estratificación en la columna de agua para los factores temperatura y O<sub>2</sub> disuelto. Se detectaron interacciones significativas para las combinaciones: año – mes (todas las variables, excepto temperatura y marginalidad estadística para el caso del amonio). La interacción año – estrato fue significativa para O<sub>2</sub> disuelto y marginal para el PO<sub>4</sub>. Este último factor también resultó significativo en la interacción año – mes – estrato.

### 8.1.2 Análisis discriminantes

Cuadro 3. Resumen de los análisis discriminantes de las variables de calidad del agua medidas en el canal de Cuemanco, Xochimilco considerando los años de muestreo y los meses agrupados en épocas. Se indica el valor de la prueba de “F” dentro de cada contraste de cada variable (cuadro adjunto). Valores en negritas con asterisco como superíndice denotan diferencias significativas. ( $p < 0.05^*$ ,  $0.01^{**}$  y  $0.001^{***}$  respectivamente).

EPOCA	Contraste	T.C	pH	ST	O <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Cálida	2015 -2017	NS	<b>3.63*</b>	<b>3.69*</b>	NS	NS	<b>7.47**</b>	<b>12.71**</b>	NS
Fría	2015 - 2017	NS	<b>10.5**</b>	<b>9.4**</b>	NS	<b>5.64*</b>	NS	<b>42.09***</b>	NS
Ciclos agrupados	Épocas	<b>35.51***</b>	<b>5.47*</b>	<b>3.74*</b>	<b>5.1*</b>	NS	<b>14.07**</b>	NS	<b>29.75***</b>
Épocas agrupadas	Ciclos	NS	<b>4.28*</b>	<b>4.40*</b>	<b>4.76*</b>	NS	<b>7.63*</b>	<b>15.38**</b>	<b>5.06*</b>



NS = no significativo. Variables en recuadros en rojo fueron las más importantes en la discriminación.

El cuadro 3, señala los cuatro tipos de análisis multivariantes efectuados con los indicadores de calidad del agua: Comparación de épocas agrupadas por ciclos, comparación de ciclos agrupados por épocas y los contrastes de las épocas cálida y fría comparando los ciclos de 2014 y 2017. Las variables de mayor peso en estas comparaciones fueron (pH y ST, significativas en todos los contrastes), nitritos y nitratos significativos en tres de los cuatro contrastes, destacando la interacción de estas cuatro variables durante la época cálida de ambos ciclos y la interacción de seis variables incorporándose a las señaladas el amonio y la temperatura cuando se contrastan las épocas por ciclos y los ciclos por épocas. En el cuadro 3 también se presentan los gráficos de canónicas de estas comparaciones, presentando la discriminación de los factores señalados en todos los casos, el discriminante por épocas y la comparación de época fría en ambos ciclos fueron los más divergentes.

## 8.2 Aspectos de dinámica poblacional

### 8.2.1 Descripción del ciclo 2014 - 2015

#### 8.2.1.1 Estadísticos descriptivos

Para el ciclo 2014 se capturaron 853 organismos provenientes del canal de Cuernanco, Xochimilco. La media y desviación estándar de los parámetros biométricos fueron: longitud total (LT) de  $28.3 \pm 12.7$  mm, la longitud patrón (LP) se ubicó en  $24.2 \pm 10.5$  mm y el peso húmedo (PH) promedio fue de  $0.27 \pm 0.39$  g.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos de las variables biométricas medidas en *C. jordani* por época para el ciclo 2014 - 2015. Medias con letras diferentes como superíndices denotan diferencias significativas entre épocas, post hoc de Tukey ( $p < 0.05$ ).

ESTACIÓN	N	LT.mm	LP.mm	PESO. G
PRIMAVERA	519	$20.9 \pm 5.61^D$	$18.1 \pm 4.59^D$	$0.079 \pm 0.006^D$
VERANO	199	$32.1 \pm 6.83^C$	$27.4 \pm 6.83^C$	$0.265 \pm 0.233^C$
OTOÑO	31	$41.9 \pm 9.86^B$	$35.1 \pm 8.27^B$	$0.530 \pm 0.279^B$
INVIERNO	104	$54.09 \pm 5.58^A$	$44.8 \pm 4.86^A$	$1.113 \pm 0.395^A$

La época con mayor talla en longitud total, longitud patrón y peso húmedo fue la de invierno alcanzando los 54.1 mm mientras que la de menor LT fue primavera con 8.75 mm. Se muestran diferencias significativas ( $<0.05$ ) entre cada época, por lo tanto, se tienen diferencias estadísticas significativas entre las cuatro épocas en este año (Cuadro 4, Figura 5).

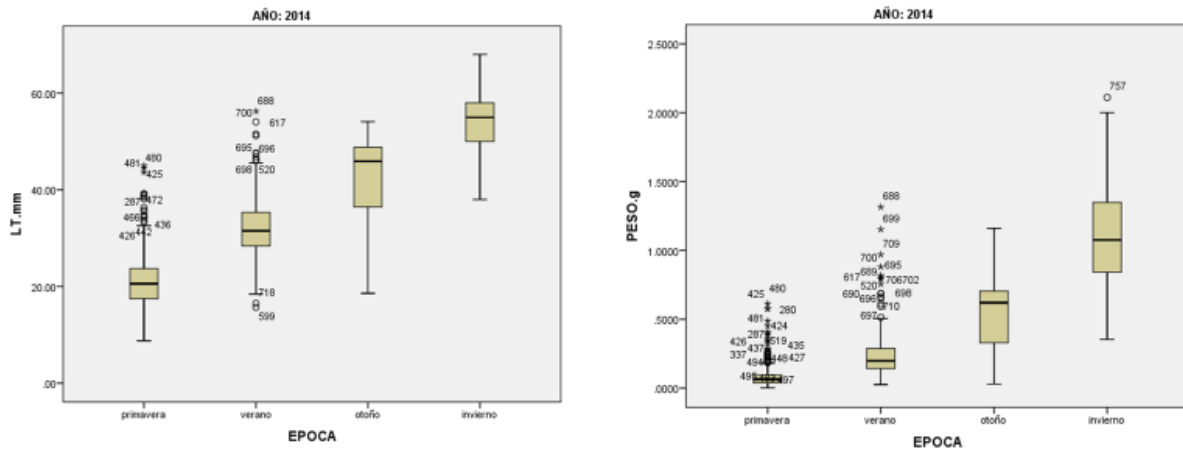


Figura 5. Diagramas de caja de la longitud total (LT) y peso húmedo (PH) de *C. jordani* para el ciclo 2014-2015.

### 8.2.1.2 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento para este ciclo se obtuvo a partir de las medias de la distribución de tallas de las diferentes épocas, las tasas de crecimiento empleada son las de primavera-verano 2014 con un incremento de 11.272 mm entre estas épocas resultando en un aumento de 0.125 mm/día, verano-otoño 2014 donde hubo un incremento de 9.772 mm entre las dos épocas dando así una tasa de crecimiento de 0.325 mm/día y otoño-invierno con un incremento de 12.19 mm con aumento de 0.203 mm/día. En cuanto a la tasa de crecimiento en peso se tiene que para primavera-verano existe un incremento de 0.002 g/día mientras que en lapso verano-otoño el incremento fue de 0.008 g/día y finalmente la transición otoño-invierno con un aumento de 0.009 g/día. (Figura 6 y 7, Cuadro 5).

Cuadro 5. Tasa de crecimiento (TC/día) de *C. jordani* de 2015.

Época	TC LT.mm	TC PH.g
Primavera - Verano	0.125	0.002
Verano - Otoño	0.325	0.009
Otoño - Invierno	0.203	0.009

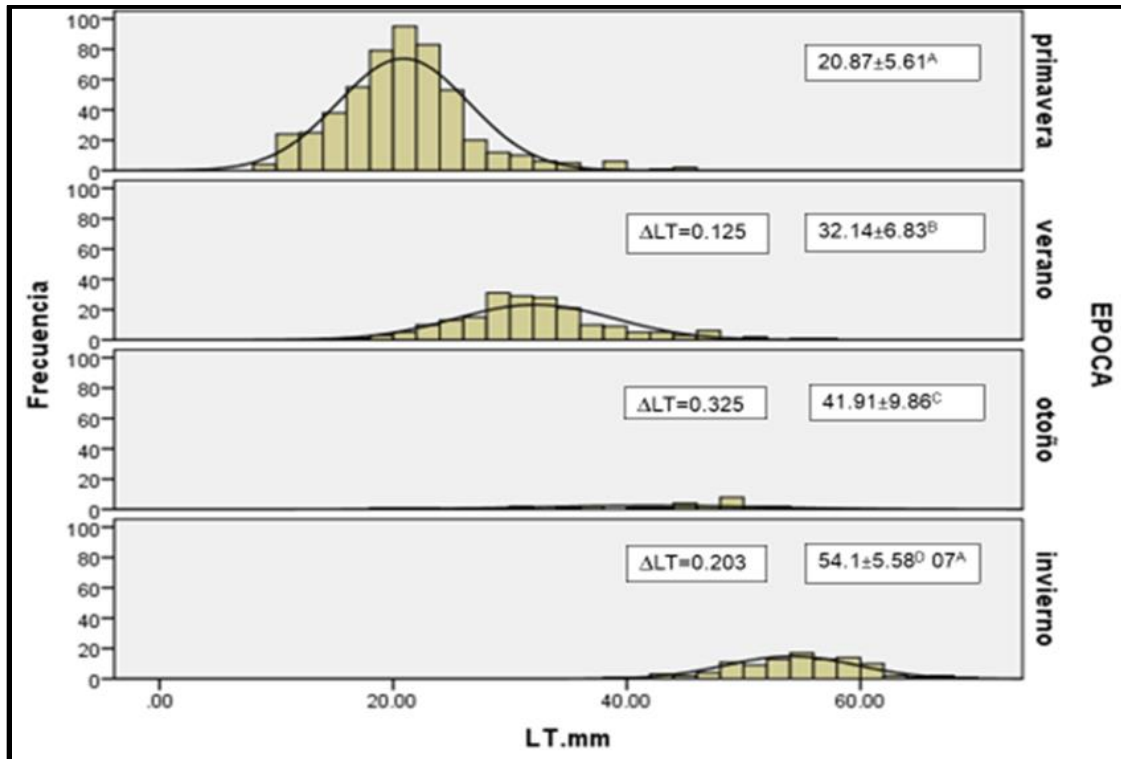


Figura 6. Histogramas de  $\Delta$  longitud total ( $\Delta$ LT) de *C. jordani* para las diferentes épocas del ciclo 2014 - 2015.



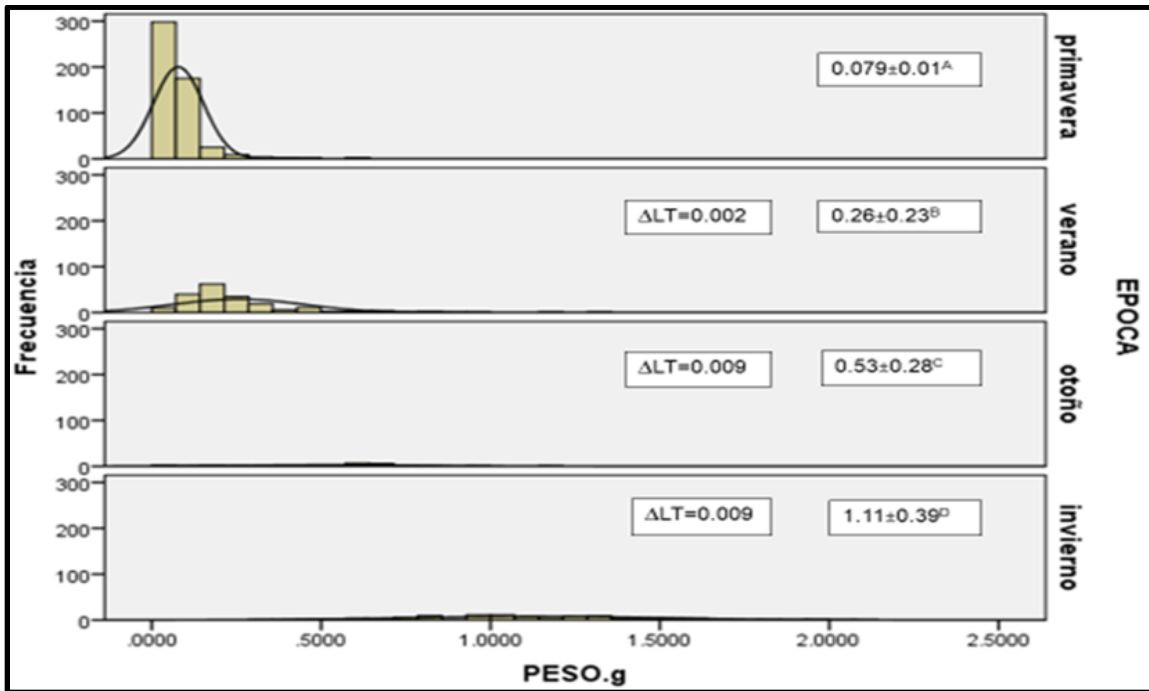


Figura 7. Histogramas de  $\Delta$  peso húmedo ( $\Delta$ PH) de *C. jordani* para las diferentes épocas del ciclo 2014 - 2015.

### 8.2.1.3 Relación PH-LT

El modelo potencial global que se ajusta a los datos de la población de 2015, se indica por medio de la ecuación:  $PH = 6.7181 \times 10^{-6} * LT^{3.002 \pm 0.022}$ , con un  $R^2 = 0.979$  (figura 8). El valor del exponente  $3.002 \pm 0.022$  indica que la población de este año presentó un crecimiento isométrico.

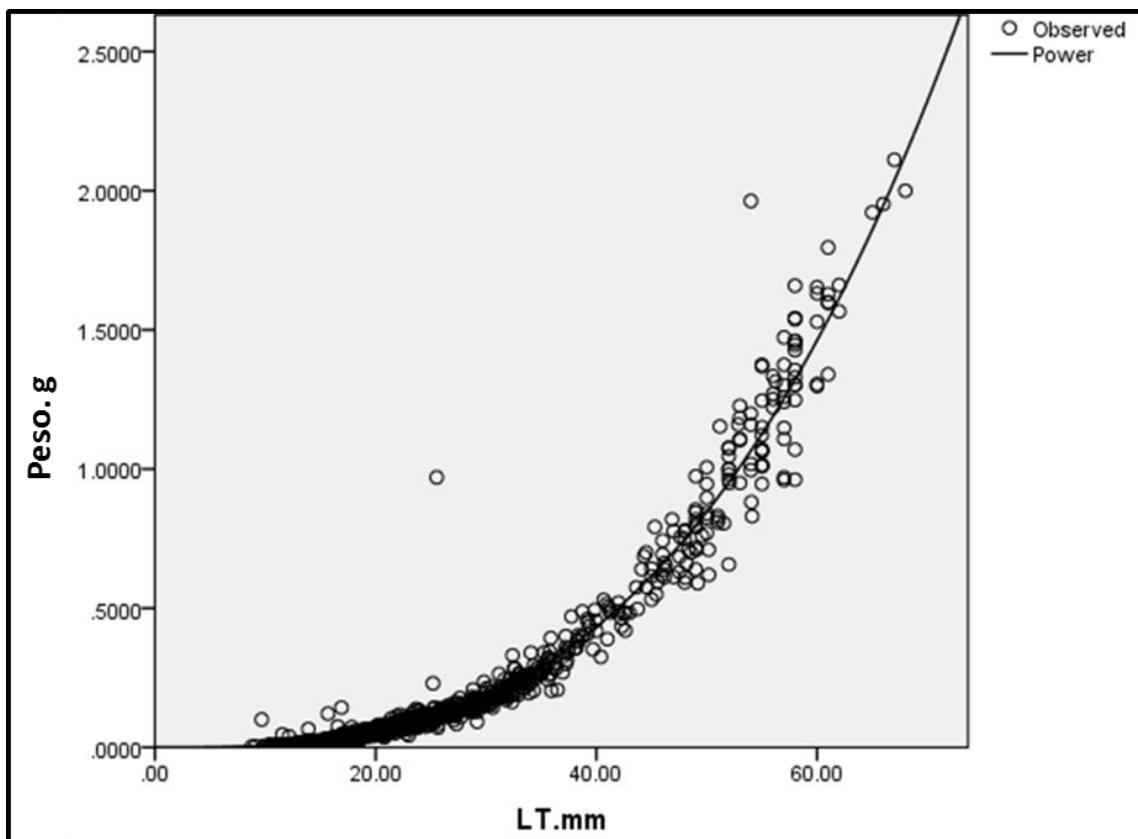


Figura 8. Relación peso húmedo – longitud total (W-LT) de *C. jordani* para el ciclo 2014 - 2015.

## 8.2.2 Descripción del ciclo 2017 - 2018

### 8.2.2.1 Estadísticos descriptivos

En el ciclo 2017 se colectaron 519 organismos provenientes del mismo canal de Cuemanco. Para este año las medias y desviaciones estándar de los indicadores biométricos que se obtuvieron fueron: longitud total  $39.5 \pm 10.21$  mm, longitud patrón  $33.5 \pm 8.89$  mm y peso húmedo de  $0.551 \pm 0.357$  g. El organismo con mayor LT del ciclo 2017 fue de 64.58 mm y el menor fue uno con 15.42 mm.

La época con mayor talla de los parámetros biométricos obtenidos fue invierno y la época con menor talla fue primavera. Además, se obtuvieron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las épocas de este año, aunque solo se generaron tres grupos, en este año se agrupó estadísticamente el verano y otoño en longitud total mientras que para longitud patrón y peso húmedo se agruparon la primavera y verano (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de los indicadores biométricos de *C. jordani* por época para el ciclo 2017 - 2018. Medias con letras diferentes como superíndices denotan diferencias significativas entre épocas, post hoc de Tukey ( $p < 0.05$ ).

ESTACIÓN	N	LT.mm	LP.mm	PESO.g
PRIMAVERA	18	26.9±7.13 <sup>C</sup>	22.5±5.87 <sup>C</sup>	0.157±0.110 <sup>C</sup>
VERANO	27	32.5±5.77 <sup>B</sup>	26.5±4.95 <sup>C</sup>	0.226±0.111 <sup>C</sup>
OTOÑO	308	37.5±9.22 <sup>B</sup>	31.8±8.09 <sup>B</sup>	0.490±0.270 <sup>B</sup>
INVIERNO	166	45.8±9.29 <sup>A</sup>	38.9±7.90 <sup>A</sup>	0.760±0.421 <sup>A</sup>

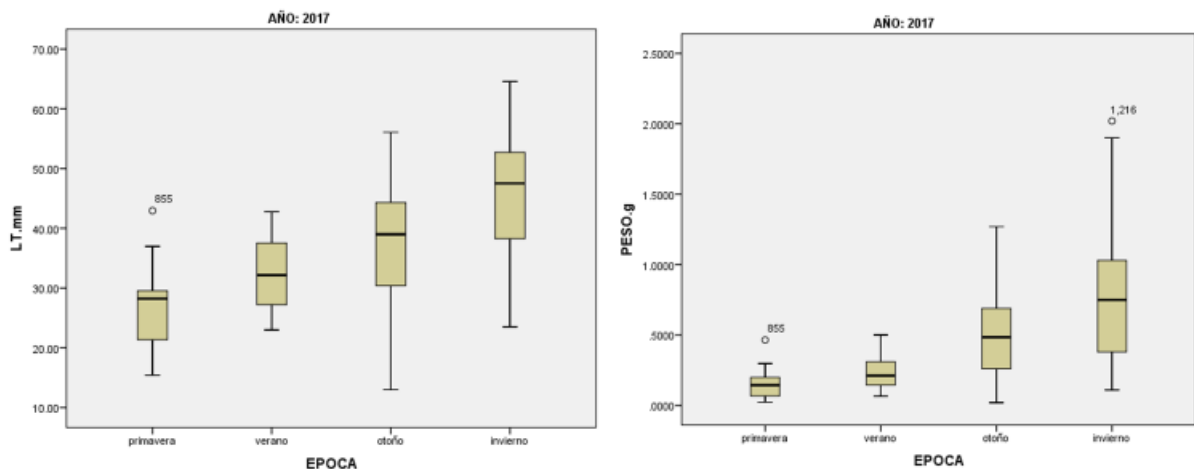


Figura 9. Diagramas de caja de la longitud total (LT) y peso húmedo (PH) de *C. jordani* para el ciclo 2017 - 2018.

#### 8.2.2.2 Tasa de crecimiento

Las tasas de crecimiento para el ciclo 2017 empleada son las de primavera-verano 2017 donde hubo un incremento de 5.55 mm entre las dos épocas dando así una tasa de crecimiento de 0.198 mm/día, verano-otoño 2017 con un aumento de 5.01 mm y un incremento diario de 0.102 mm/día y otoño-invierno 2017 con un incremento de 8.25 mm

entre estas épocas resultando en un aumento de 0.09 mm/día. La tasa de crecimiento en peso obtenida fue de 0.008 g/día en otoño-invierno mientras que en la transición primavera-verano se obtiene un aumento de 0.002 g/día (Figura 10 y 11, Cuadro 7).

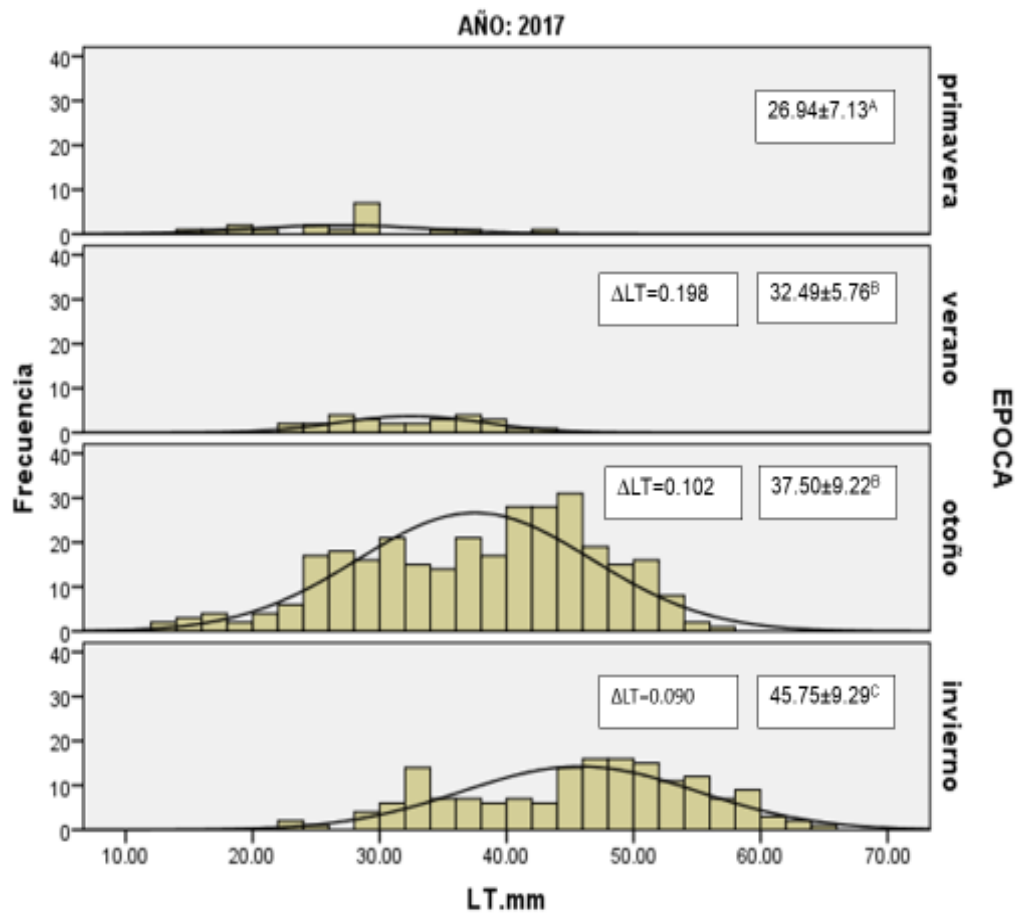


Figura 10. Histogramas de  $\Delta$  longitud total ( $\Delta$ LT) para las diferentes épocas del ciclo 2017 - 2018.

Cuadro 7. Tasa de crecimiento (TC/día) de *C. jordani*, 2017

Época	TC LT, mm	TC PH, g.
Primavera - verano	0.198	0.002
Verano - otoño	0.102	0.005
Otoño - invierno	0.090	0.002

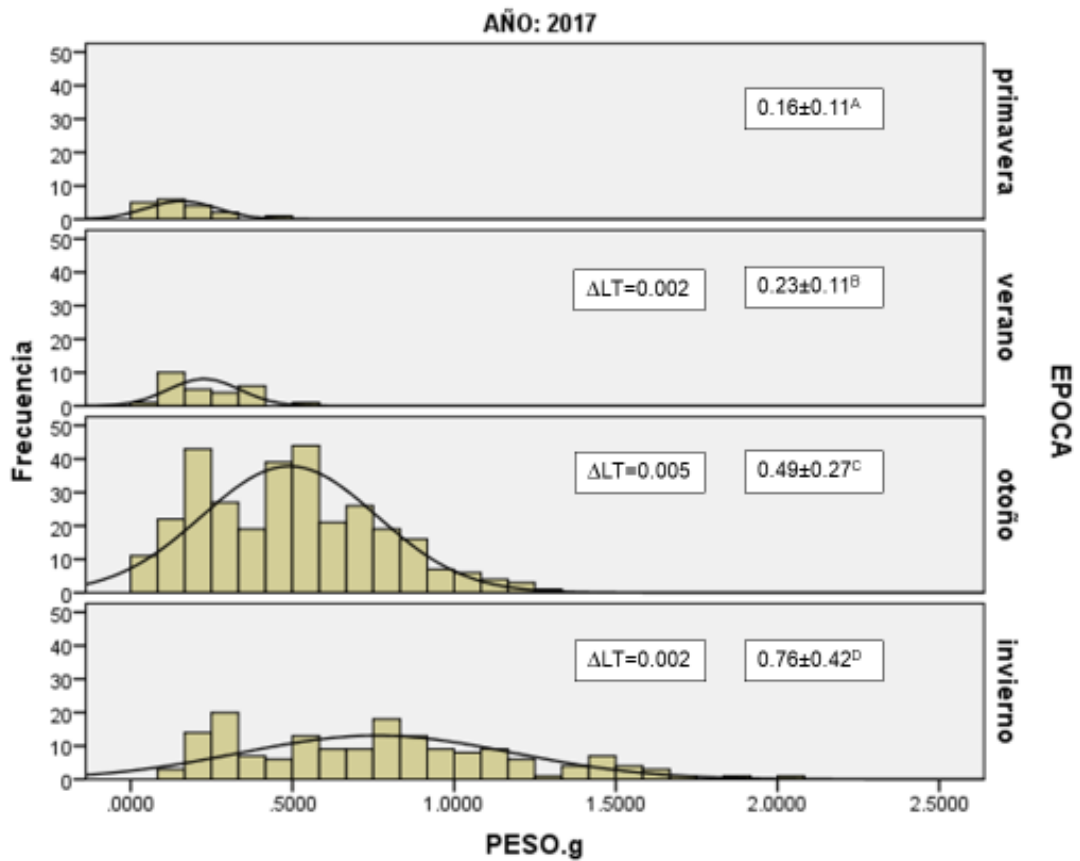


Figura 11. Histogramas de  $\Delta$  peso húmedo ( $\Delta$ PH) para las diferentes épocas del ciclo 2017 - 2018.

### 8.2.2.3 Relación PH-LT

Para el ciclo 2017 de *C. jordani* la ecuación resultante del modelo potencial fue:  $PH=3.801 \times 10^{-5} \cdot LT^{2.56 \pm 0.04}$ , con un  $R^2=0.941$  (tabla o gráfico). En este año se observó un exponente  $2.56 \pm 0.04$  que es menor a 3 mostrando un crecimiento alométrico negativo.

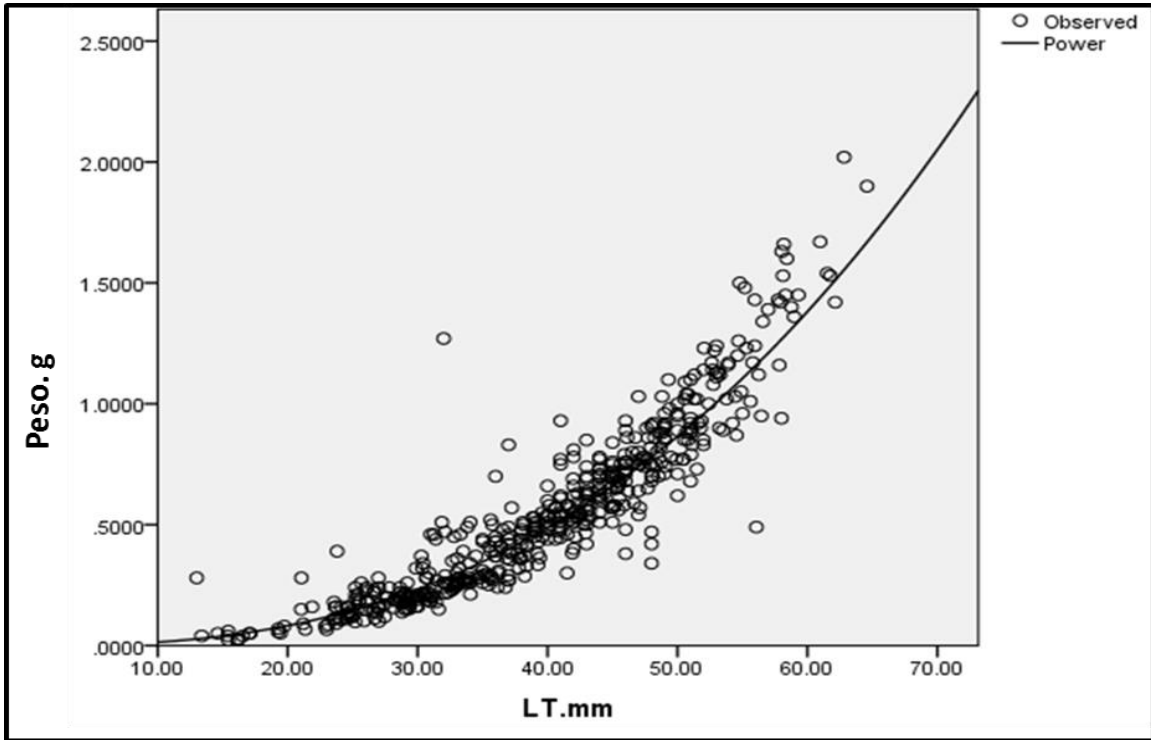
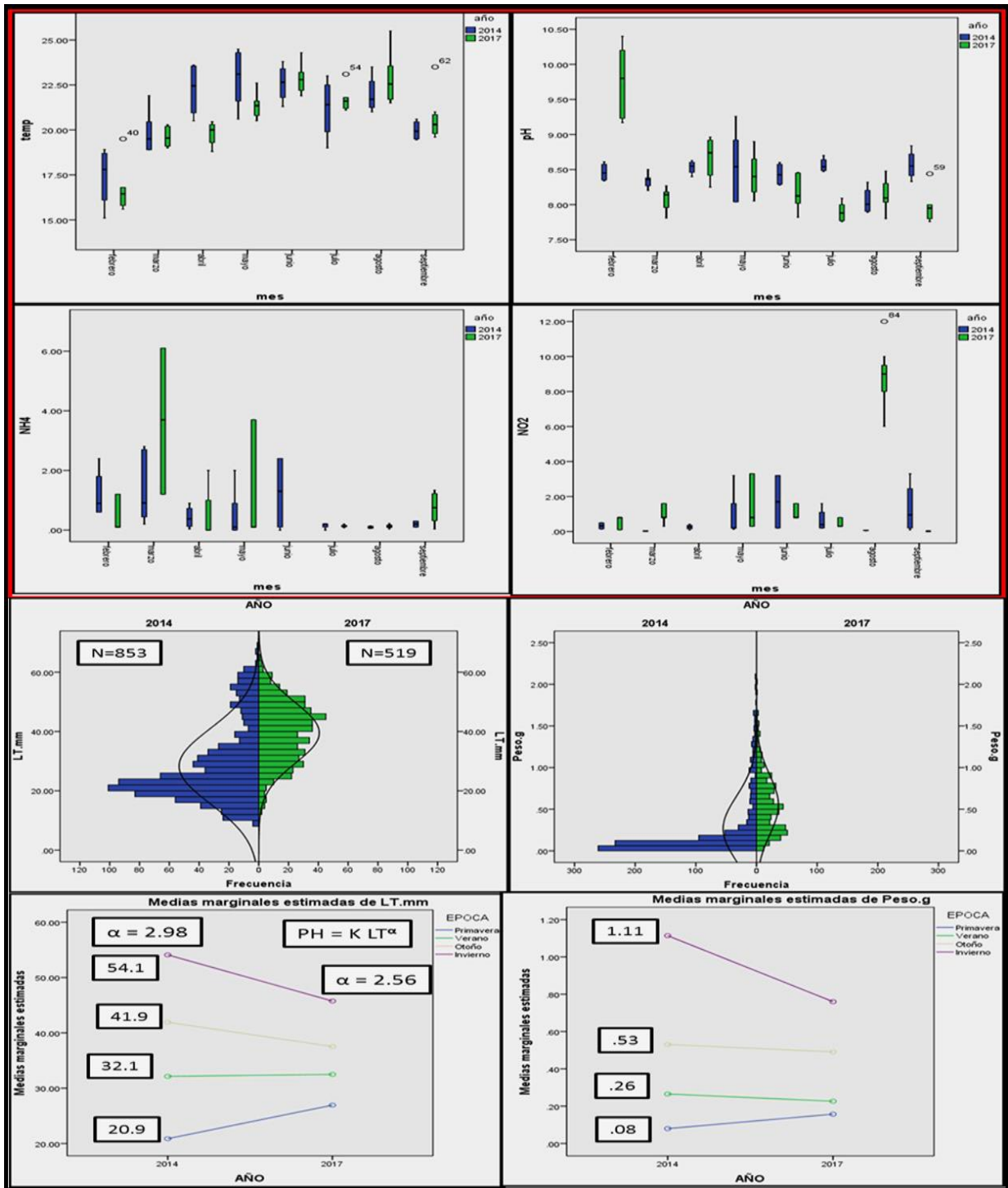


Figura 12. Relación peso – longitud total (W-LT) para el ciclo 2017.

La interacción entre los factores físico – químicos de calidad del agua medidos y la dinámica población de *C. jordani* se muestra en el cuadro 8. Destacan cuatro factores por su influencia: temperatura, pH, amonio y nitritos. En ambos ciclos de variación ambiental se manifiesta el ciclo térmico anual, pero en mayor magnitud para el año 2015, en tanto que el pH presenta un valor extremo en febrero de 2017, junto con valores muy altos de amonio en los meses de marzo y julio, y un valor extremo de nitritos en octubre, indicando la heterogeneidad de este ciclo anual. Las distribuciones de talla (LT) y PH, denotan un mayor número de reclutas para el 2015 que, a pesar de iniciar con organismos de menor longitud y peso, presentaron un crecimiento más acelerado, mayor producción de biomasa y un crecimiento isométrico durante este lapso ( $\alpha=2.98$ ), en contraste con crecimientos menores y relación W – LT con crecimiento alométrico negativo (mayor crecimiento en talla que peso corporal,  $\alpha= 2.56$ ), durante 2017.



Cuadro 8. Interacción de factores de la calidad del agua que modulan la dinámica poblacional de *C. jordani* en la zona del canal de Cuemanco, Xochimilco. Comparación de ciclos anuales 2014 -2015 y 2017 – 2018.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1 Caracterización del hábitat

El análisis de los parámetros poblacionales y biológicos de las poblaciones en condiciones silvestres y en sistemas de cultivo, debe ir a la par con el conocimiento de las características físicas y químicas del agua de estos sistemas, así como de la dinámica del sistema acuático que se trate (Fry, 1971; Ali, 1979). Cualquier tipo de cambio en las condiciones abióticas, ya sea temperatura, oxígeno disuelto, fuerza y dirección del viento y corrientes, la estructura del terreno, cantidad y calidad de materia orgánica suspendida, entre varias más, alteran el tamaño y balance de la dinámica de las poblaciones (Csirke, 1993). Estos factores se pueden considerar como estresores y moduladores ambientales, ya que en cierta medida modifican tanto el ambiente como a las comunidades dentro de él, estos estresores pueden ser limitantes y controladores si se encuentran en menor o mayor magnitud o bien pueden ser tóxicos (generando afecciones fisiológicas y físicas que pueden causar crecimiento lento o malformaciones en alevines dependiendo del factor y la intensidad) e incluso letales si se encuentran en niveles extremos (Freedman, 2015).

Los factores de la calidad del agua que determinan la dinámica ecológica y poblacional de los organismos acuáticos pueden ser variados, algunos de los más relevantes son la temperatura que actúa como un factor controlador y el oxígeno disuelto que es un factor limitante, estos están estrechamente vinculados, ya que ambos factores influyen tanto en el metabolismo como en el movimiento y la distribución de estos organismos a través de la columna de agua y el hábitat en general (Fry, 1971).

La temperatura es un factor que presenta variaciones y es considerado como un regulador de procesos vitales, además es un factor modificador del oxígeno disuelto mientras que este último es indispensable para los procesos fisiológicos, usualmente cuando hay un aumento de la temperatura los procesos vitales se aceleran y cuando esta disminuye hay una desaceleración de los mismos (Lagler *et al.*, 1984). La temperatura es considerada el factor “ecológico maestro”, ya que como se mencionó antes esta va a modificar la disolución del oxígeno en el agua que influye en la respiración y el metabolismo de los organismos, determinación sexual, crecimiento y reproducción, por lo que es determinante en las poblaciones acuáticas (Ali, 1989).



En los resultados obtenidos en el presente trabajo se observaron diferencias significativas en las medias de temperatura para el ciclo 2014 - 2015 que varió de 16°C a 23.5 °C y en 2017 - 2018 el intervalo de medias varió entre 16°C a 22.3°C. La parte superior de la columna de agua muestra mayor temperatura, esto debido a que en un cuerpo de agua la temperatura está relacionada con la radiación solar y dado que la conductividad térmica del agua es baja, en el estrato superior de la columna de agua habrá mayor temperatura que en el estrato bentónico, lo que puede provocar estratificación en la columna de agua dependiendo de su profundidad (Olvera-Blanco, 2004). En cuanto a las estaciones se obtuvo que las más cálidas fueron primavera, verano y otoño por ello se agruparon como época cálida mientras que invierno se consideró como época fría. De acuerdo con SEPESCA (1994) y DOF (2012) el intervalo de temperatura óptimo para esta especie se encuentra entre los 14 y 24°C, lo cual concuerda con los intervalos obtenidos para ambos ciclos.

El oxígeno disuelto tuvo valores en la parte superior de la columna de agua que variaron de los 4.97 mg/L para julio a los 14.45 mg/L en el mes de mayo esto para 2014 mientras que, en el estrato bentónico, el intervalo fluctuó entre los 3.11 mg/L en julio y los 8.57 mg/L en febrero. La abundancia encontrada en julio fue en gran parte de adultos, ya que estos tienen mayor tolerancia al estrés ambiental (Rangel-Nambo, 2017). En el ciclo 2017 los valores de la parte superior de la columna de agua fueron de 5.26 mg/L en septiembre a 13.9 mg/L en abril y en el estrato bentónico el intervalo fue de 4.47 mg/L para septiembre a 10.15 mg/L para abril. En general, los organismos acuáticos necesitan intervalos adecuados de oxígeno en el agua para poder realizar sus funciones fisiológicas y sobrevivir, estos van de los 4.1 mg/L a los 7.9 mg/L (Rangel, 2009), mientras que el intervalo de oxígeno adecuado para *C. jordani* varía de los 4.4 mg/L a concentraciones mayores a los 6.1 mg/L (Lagler *et al.*, 1984; Arredondo-Figueroa *et al.*, 2012). Si hay deficiencia de oxígeno puede causar estrés e incluso resultar letal. Esta deficiencia se puede atribuir al exceso de materia orgánica o contaminación por productos orgánicos, ya que la descomposición de esta materia orgánica consume el oxígeno (Lagler *et al.*, 1984)

Existieron momentos durante ambos ciclos donde los niveles de oxígeno disuelto resultaron inadecuados para algunas especies acuáticas. Este es el caso del mes de julio de 2014, donde el sustrato bentónico obtuvo valores que excedieron los 7.9 mg/L que es el valor recomendable para la vida acuática en general. En cuanto al intervalo que

requiere el charal para subsistir, se observa un intervalo adecuado en el ciclo 2014 – 2015 tanto en la parte superior del cuerpo de agua como en el estrato bentónico, a excepción del mes de julio donde el estrato bentónico no se encontró dentro del rango de 4.4 a 6.1 mg/L. Por su parte, el ciclo 2017 – 2018 mostro tener valores de oxígeno disuelto dentro del intervalo de referencia para esta especie en ambos sustratos. Aun así, se registraron valores en el límite superior de los intervalos de oxígeno disuelto que exceden el óptimo para la vida acuática.

Los intervalos de pH obtenidos fueron de 7.99 a 8.6 para el ciclo 2014 y 7.84 a 9.81 para el ciclo 2017, estos valores se encuentran en el intervalo de tolerancia de los organismos acuáticos con respecto a los de Goldman y Horne (1983) y Wetzel en 1975 que observaron efectos dañinos a pH de 4.5 o menor y 9.5 o mayor. Los valores de pH registrados en los cuerpos de agua donde hay charal van de 6.9 a un valor extremo de 13.3, este último dato resulta muy dudoso, debido a la extrema toxicidad del mismo y ha sido reportado por Cházaro (1989), por lo tanto, los valores presentados se encuentran dentro de los parámetros de tolerancia previamente registrados en otros sitios, en cambio los valores de 2017 muestran ser dañinos según el intervalo de tolerancia obtenido por Wetzel (1975) y, Goldman y Horne (1983) para los organismos acuáticos. El pH es un parámetro que influye en las poblaciones acuáticas ya que los valores que se alejan del valor neutro llegan a producir alteraciones fisiológicas que dependiendo del tiempo de exposición y el valor al que se expone el organismo puede llegar a ser letal. Los niveles extremos de pH pueden provocar “ceguera” en los organismos, esto se refiere a que afecta las habilidades quimiosensoriales que son vitales para la supervivencia de estos. Se ha observado que un intervalo de pH entre 5 y 5.5 puede ser perjudicial para la reproducción de los peces, ya que los alevines y huevos suelen ser más susceptibles a un pH bajo mientras que los juveniles y adultos suelen tolerar niveles mayores (Hepher, 2001). En algunos casos se puede presentar disminución del crecimiento, letargo y falta de apetito según la FAO (2011).

Los valores de sólidos totales registrados mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$  y  $0.01$ ) entre épocas y ciclos. Para cada ciclo los valores fueron para 2014 de 0.18 a 0.47 ppt y en 2017 de 0.21 a 1.40 ppt comparado con los valores de Weber-Scanell y Duffy (2007) de 1000 mg/L (concentración para un sistema propenso a ser salobre) nuestro valor es menor ya que no excede este valor de referencia.

En el trabajo de Contreras de 2012 en los canales de Xochimilco, se obtuvo una concentración de 1.35-1.79 g/L mientras que en los periodos registrados en el presente trabajo indican concentraciones mayores, lo que muestra un aumento constante en el tiempo esto debido probablemente al vertido de aguas residuales en la zona a través del tiempo (Rangel-Nambo, 2017). Otros factores que pueden ser relevantes en el tiempo son la intensidad del viento que introduce partículas al sistema y la profundidad del cuerpo de agua que en temporada cálida puede ser menor lo que provoca una mayor concentración de los sólidos totales.

El fósforo es un compuesto fundamental para la estimulación de la producción primaria siempre que no sea en exceso (Zhang *et al.*, 2008) y también es indispensable en los ecosistemas para el desarrollo de cadenas tróficas (Rueda-Jasso *et al.*, 2014). Cuando hay un exceso de este nutriente puede provocar el proceso de eutrofización del ecosistema y así generar la pérdida de biodiversidad (Sondergaard y Jeppesen, 2007). Por lo cual, es uno de los componentes clave que se deben manejar para controlar los efectos dañinos de la eutrofización (Freedman, 2015).

El nivel de fosfatos en este trabajo mostró un intervalo de medias entre 2.5 y 5 mg/L en ambos ciclos y un valor máximo de 10 mg/L en la estación de verano de 2014. Este factor tuvo diferencias significativas entre ciclos, siendo mayor en 2014 que en 2017. En el trabajo de Contreras de 2012 se tienen valores entre 1.63 y 8.39 mg/L para esta zona, al comparar sus intervalos con los obtenidos en los dos ciclos se observa una concordancia. Al contrastar estos valores con los de 100 µg/L de Ramesh-Reddy y DeLaune (2008) se observa que el valor es mucho mayor por lo cual se considera según estos autores que este canal está hipereutrofizado (Contreras, 2012).

El exceso de nutrientes puede tener como causa la actividad antropogénica en la zona, ya que esta está rodeada de chinampas que usualmente generan fosfatos por la producción de hortalizas (Contreras, 2012). Debido a esta hipereutrofización el sistema acuático de Xochimilco se puede ver afectado, puesto que hay un aumento de la actividad primaria que puede generar cierta anoxia en este cuerpo de agua, además de que este tipo de compuesto no se elimina con tanta facilidad en el sistema, ya que primeramente se

almacena en el perifiton y vegetación para posteriormente ser asimilado por el suelo y así eliminarse del sistema (Ramesh-Reddy y DeLaune, 2008).

La concentración de nitritos resultantes en los ciclos 2014 y 2017 fueron de 0.039-1.7mg/L y 0.014-9.5 mg/L, respectivamente. En contraste con los valores de toxicidad por nitritos que menciona Espina (1995) para peces de agua dulce que van de 7 a 14 mg/L, se observa que el ciclo 2014 mantuvo concentraciones menores mientras que el ciclo 2017 obtuvo algunos valores que se encuentran dentro de este intervalo de toxicidad por nitritos, llegando a ser letales para algunos individuos de esta población como son los alevines. Además, en comparación con Matthew (1992) que reporta que la fracción de nitrito dañina para la vida acuática empieza desde una concentración  $\geq 0.1$  mg/L, se obtiene que en ambos ciclos este factor afecta a la población de charal, ya que se tienen valores por encima de esta referencia.

Si estos nitritos ingresan a torrente sanguíneo pueden provocar alteraciones en la regulación de iones, transporte gaseoso, procesos endocrinos y de excreción, así como transporte cardiovascular. Si ingresa en el plasma sanguíneo, provoca la generación de metahemoglobina que es la causante de la sangre café caracterizada por una deficiencia en el transporte de oxígeno, dando lugar a cuadros de hipoxia en estos organismos que tendrán un comportamiento letárgico y aumentarán su consumo de oxígeno (Jensen, 2003; Svobodová *et al.*, 2005).

El intervalo de nitratos encontrados para 2014 fue de 16.67 mg/L a 120 mg/L mientras que en el ciclo 2017 fue de 3.42 mg/L a 70 mg/L. Comparando con el valor de referencia de 2 mg/L que es el óptimo para especies dulceacuícolas y un máximo de 10 mg/L que comienzan a generar efectos a largo plazo (Camargo *et al.*, 2005), los datos obtenidos en ambos ciclos superan los óptimos e incluso rebasan los niveles donde se empiezan a ver efectos dañinos. Sin embargo, en el ciclo 2017 los meses de julio a septiembre mostraron niveles cercanos al óptimo (entre 3.4 y 5 mg/L). Esto puede provocar al igual que los nitritos en sangre, anoxia por la formación de ferrohemoquinas, letargo, daño al hígado y alteración de la sangre periférica y los centros hematopoyéticos, afecciones en branquias y riñón (Grabda *et al.*, 1974; Camargo *et al.*, 2005)

Este exceso de nitratos en los canales de Xochimilco puede deberse a la actividad antropogénica entre ellas la generación de nitrógeno por el uso de fertilizantes en la agricultura de esta zona; las actividades deportivas cercanas a los canales y recreativas dentro de este canal. Igualmente, el hecho de que se encuentra en medio de la urbe vuelve a esta zona más propensa a las descargas urbanas en los canales, que suelen acumularse en los ecosistemas (Rabalais, 2002). Asimismo, el agua que acostumbra alimentar artificialmente esta zona viene de la planta de tratamiento de Cerro de la Estrella (Báez y Belmont, 1971), lo cual también es una posible causa del exceso de nitratos en el sistema, ya que anteriormente no se tenía un sistema de tratamiento terciario que eliminara por completo metales pesados y gran cantidad de nitrógeno (Rabalais, 2002; Camargo *et al.*, 2005).

El amonio proviene principalmente del subproducto de la excreción nitrogenada por vía branquial y urinaria, en el caso de teleósteos que se ioniza en el agua (Thorarensen y Farrell, 2011; Sandoval *et al.*, 2015). En este estudio, las concentraciones de amonio en 2014 fueron de 0.06 a 1.81 mg/L y en 2017 el intervalo fue de 0.11 a 3.6 mg/L. En comparación con el intervalo de amonio obtenido por Contreras (2012) que va de 0.24 a 1.5 mg/L se observa que el ciclo 2014 tiene un intervalo más amplio en ambos límites que supera la máxima reportada por esta autora mientras que en el 2017 supera el valor máximo obtenido por esta misma.

Existe una estrecha relación entre el porcentaje de amonio en el agua con el pH y la temperatura, donde un pH de 7 a temperatura de 15 °C tendrá 0.275 % de amonio no ionizado que es tóxico para la vida acuática. En el caso del ciclo 2014 el pH varió entre 7.99 y 8.6 con una temperatura de 16-23.5°C dando un porcentaje no disociado de 2.67 a 14.4%, mientras que en ciclo 2017 el porcentaje varió de 0.86 a 81.9 (Emerson *et al.*, 1975). Estos valores resultan ser críticos, pues se encuentran disponibles y hay gran posibilidad de que ingresen a torrente sanguíneo por las membranas de las branquias.

Se ha registrado que para algunos peces dulceacuícolas las concentraciones de amonio desde los 1.08 mg/L pueden ser dañinas para larvas, 1.83 mg/L para alevines (Bravo, 2007). En el caso de salmónidos adultos el óptimo es de 0.012 a 0.030 mg/L (Sandoval *et al.*, 2015). El exceso de amonio puede provocar en los organismos lesiones externas en ojos, branquias y piel, a nivel interno las afecciones pueden ser daño neuronal debido al

desbalance iónico, afecta a la fecundidad, la respuesta inmune, reduce la tasa de crecimiento y aumenta la tasa metabólica. Asimismo, se observan cuadros de inapetencia, aumento de ventilación branquial, nado errático, convulsiones y pérdida del equilibrio hasta la muerte (Camargo *et al.* 2005; Thorarensen y Farrell, 2011).

Las condiciones de calidad del agua entre estratos en general, tuvieron diferencias significativas para cada ciclo. En los ciclos 2014 y 2017, las condiciones del estrato superior de la columna de agua fueron las más adecuadas para la población de charal. Aun así, se encuentran algunos factores adversos para el desarrollo y prevalencia de la población de *Chirostoma jordani* como es la concentración de fosfatos, el amonio y los nitritos que en ciertos puntos del día pueden llegar a ser tóxicos debido al aumento de temperatura y los niveles de pH.

## 9.2 Comparación de la dinámica poblacional en ambos ciclos

La población de la especie *Chirostoma jordani* en los canales de Xochimilco ha mostrado una notable disminución a través del tiempo como se puede apreciar en diversos trabajos como el de Rangel-Nambo (2017), Olvera-Blanco (2004), donde se utilizó una red de 1 mm de luz. En general, esta especie ha disminuido su número en varios cuerpos de agua del centro del país como se puede apreciar en algunos artículos entre ellos el de Ibáñez *et al.* (2008) en la laguna de Metztitlán donde se usó una red fija de 7 mm de luz, Navarrete-Salgado *et al.* (2010) en el embalse Golera donde se aprecia una notable disminución en 10 años de monitoreo pasando de 3000 individuos/ 0.1 ha a 5 individuos/ 0.1 ha, en este caso se utilizó un chinchorro charalero de 8 mm luz en los muestreos.

En el Embalse de Trinidad en el estado de México, se obtuvo un organismo con 127.0 mm de LT (Cházaro, 1989) mientras que, en Metztitlán, Hidalgo se reportó una LT máxima de 58 mm por Ibáñez *et al.* (2008); por su parte, en el Estanque Guillermo Lagunes en el estado de México, se colectó un organismo con LT de 64 mm (Navarrete-Salgado *et al.*, 2011). En la zona de canales de Xochimilco se tienen registros de una LT máxima de 83.1 mm por Olvera-Blanco (2004). En su trabajo con colaboradores de 2008, Olvera-Blanco registro la talla máxima de 72 mm y en el estudio de Rangel-Nambo (2017) la talla máxima fue de 72.03 mm. Los reportes de la LT de esta especie son diferentes dependiendo de la zona donde se encuentre, en el caso de los canales de Xochimilco se

presenta una longitud máxima intermedia comparada con la de otros cuerpos de agua. Los registros de los ciclos 2014 y 2017 resultan menores a la máxima talla reportada en este sitio por otros autores, incluso comparando ambos ciclos, se obtuvo una diferencia de 4 mm entre los organismos de mayor longitud total, siendo el ciclo 2017 menor en este parámetro.

El máximo peso húmedo registrado para el ciclo 2014 fue de 2.11 g mientras que en ciclo 2017 fue de 2.02 g. En contraste con los reportes de Olvera-Blanco (2004) cuyo peso máximo fue de 5.9 g para las hembras y 4.2 g para los machos, se tiene un valor menor y al hacer la comparación entre ciclos se observa una diferencia de 0.09 g entre estos, esto debido probablemente a las condiciones del ambiente. En este caso el pH pudo ser una variable que provocará esta diferencia, ya que genera alteraciones en el crecimiento.

En la prueba Tukey para examinar la diferencia entre las épocas observamos que en el ciclo 2014 existe una diferencia marcada de las estaciones mientras que en el ciclo 2017 solo se pueden diferenciar 3 grupos. Esto indica un traslape entre el crecimiento de primavera-verano y verano-otoño, indicando menor crecimiento en este ciclo anual. Por su parte, la diversidad de tallas y pesos en estos organismos es debida a las condiciones particulares que tiene cada cuerpo de agua donde existen poblaciones de charal. Los factores que particularmente registrados en este trabajo fueron exógenos que incluyen los parámetros de calidad del agua.

La población del ciclo 2014 señala una mayor frecuencia en tallas grandes y en cada grupo de talla mientras que en el ciclo 2017, igualmente, presenta frecuencias mayores en tallas grandes, aunque su abundancia es menor en cada grupo de edad (Cuadro 8).

Se puede observar que en el ciclo 2014, en general, se encontraron tallas de reproducción con mayores longitudes en la época de invierno, más tarde en la época de primavera se encuentra la presencia de juveniles (por debajo de los 20 mm de LT) y organismos de primera madurez, por lo cual se debe haber generado un pico reproductivo a finales de la época fría (febrero-marzo). Por su parte, en el ciclo 2017, se observaron organismos reproductores particularmente grandes a finales de la época de invierno y principios de primavera, posteriormente se puede apreciar que hay un pico de reproducción debido a que hacia el final de la época de primavera y principios de verano se encuentran

organismos juveniles e incluso alevines. De acuerdo con el trabajo de Cházaro (1989), la época reproductiva se da en primavera, mientras que en el informe de Hernández de 1993 se señala que la época reproductiva se presentaba de enero a agosto. En el estudio de Olvera-Blanco (2004) se señala que la fase reproductiva se da a finales de invierno y principios de primavera; Ibáñez y colaboradores (2008) reportaron el pico de reproducción en mayo, junio, julio y noviembre. Rangel-Nambo (2017) ubica dos periodos de reproducción, el primero en febrero y marzo, y el segundo entre septiembre y octubre. Los picos reproductivos de 2014 y 2017 coinciden con lo reportado por Rangel-Nambo (2017) y Olvera-Blanco (2004), ya que se da a finales de invierno y principios de primavera, aunque en el ciclo 2017 se ajusta igualmente con los periodos mostrados por Hernández (1993) que tienen un amplio intervalo que incluye las épocas de invierno, primavera y verano e Ibáñez *et al.* (2008) que abarca finales de primavera, verano y una parte de otoño. Como se aprecia por varios autores, el ciclo de reproducción del charal puede llegar a ser extenso, aunque puede variar el periodo específico del momento reproductivo según las condiciones de cada ambiente y el ciclo de la población. Entre las variables que pueden determinar esta época reproductiva se encuentra la temperatura que según Devlin y Nagahama (2002) y Olvera-Blanco (2004) influye en la determinación sexual y en la maduración gonadal que posteriormente dará paso al evento reproductivo.

### 9.2.1 Tasa de crecimiento

Es un patrón común para varias especies incluida *C. jordani*, que el crecimiento en longitud al principio del ciclo de vida es acelerado cuando el pez está en una etapa juvenil, a medida en que envejece este crecimiento se torna cada vez más lento hasta alcanzar el tamaño o la longitud máxima que cada individuo puede alcanzar. En cambio, el crecimiento en peso sigue un patrón diferente, ya que en las etapas muy tempranas de vida del pez el incremento en peso es lento, posteriormente se acelera hasta alcanzar aproximadamente  $\frac{1}{3}$  de su peso máximo y luego se desacelera nuevamente este aumento hasta alcanzar el peso máximo (Csirke, 1993).

La medición del crecimiento y el cálculo de esta tasa es una herramienta muy útil para la identificación de las épocas de crecimiento y si este es rápido o lento también esta información es muy útil para establecer las correlaciones ambientales para generar un plan de manejo adecuado (Smith, 1983). Asimismo, el crecimiento de los organismos es



regulado por factores endógenos, los cuales inciden en el desarrollo embrionario, maduración, reproducción y senilidad; y exógenos tales como cantidad y calidad de alimento, temperatura, oxígeno, pH y demás variables de la calidad del agua (Olvera-Blanco 2004; Navarrete, 1981). Para el ciclo 2014, se obtuvo que la tasa de mayor crecimiento fue en la temporada de verano-otoño, lo que indica tallas juveniles que en invierno llegaron a etapa adulta. Esto coincide con la fase donde se encuentran longitudes totales más grandes que se preparan para la fase reproductiva. En cuanto al ciclo 2017, se tiene que la tasa de mayor magnitud se ubica en el periodo primavera-verano donde se obtuvo un crecimiento diario de 0.1984 mm mientras que la tasa de peso fue mayor en la transición otoño-invierno con un aumento de 0.008 g/día. Esto se puede explicar debido a que el organismo tiene cierta plasticidad en su crecimiento, así acumula más peso para el evento reproductivo que en el ciclo 2017 se llevó a cabo en la estación de primavera, así mismo el crecimiento de la nueva generación se da en la transición de primavera a verano, ya que estos organismos necesitan un rápido crecimiento para evitar la depredación y tener mayores posibilidades para sobrevivir (Weatherley y Gil, 1987; Rangel-Nambo, 2017).

### 9.2.2 Relación PH-LT

En diversas especies acuáticas se puede observar variaciones en el tipo de crecimiento tanto de un ciclo a otro como entre los diversos cuerpos de agua y estas variaciones se pueden ver como acontecimientos naturales dados por la variedad de los factores involucrados en cada sistema (Olvera-Blanco, 2004; Fry, 1971).

En este estudio el tipo de crecimiento que tuvo la población de 2014 - 2015 es isométrico ( $\alpha=3$ ), lo que indica que en este periodo los organismos tienen un aumento proporcional en peso y en longitud, lo cual concuerda con los registros de Olvera-Blanco (2004) donde las hembras presentan un crecimiento isométrico con tendencia a ser positiva, en cuanto a ciclo de 2017 - 2018 el crecimiento es de tipo alométrico negativo que en este caso muestra un mayor crecimiento en longitud que en peso. Olvera-Blanco (2004) señala que la población de machos obtuvo un crecimiento alométrico negativo y Rangel-Nambo (2017) hablan de un crecimiento de este tipo que es concordante con el ciclo 2017.

Se especula que una de las estrategias ecológica que presenta *Chirostoma jordani* es la plasticidad en el crecimiento que es considerada por varios autores como una estrategia ecológica de la especie, que le permite regular y mantener su población en el hábitat que se ubique. Así las variaciones en la temperatura, el espacio o la cantidad y calidad de alimento se pueden relacionar con la velocidad de crecimiento sin que se llegue a la extinción de la población (Weatherley y Gil, 1987).

En diversos trabajos y en la presente investigación, se ha observado una disminución de las poblaciones de varias especies en los canales de Xochimilco. En el caso particular del charal, se presenta una clara disminución de las poblaciones en el tiempo, lo que es indicio de la continua perturbación del hábitat. Esta perturbación es dada por una serie de factores químicos y climáticos en conjunto que actúan como estresores (Freedman, 2015). Entre estos estresores se pueden encontrar el amonio y el fosfato que mostraron niveles sumamente altos, aún con esto la población de *Chirostoma jordani* aún prevalece en Xochimilco debido a esta plasticidad de las poblaciones.

## 10. CONCLUSIONES

- Las variables de calidad del agua en el canal de Cuemanco, Xochimilco mostraron diferencias significativas entre ciclos y entre estratos, siendo el estrato superior de la columna de agua, el estrato con mejores condiciones para la población de charal entre ellas está la temperatura y el oxígeno disuelto.
- Las variables que influyeron más en la población de charal fueron el pH, sólidos totales,  $\text{NO}_2$  y  $\text{NO}_3$ .
- Se encontraron algunos estresores ambientales que pueden afectar al desarrollo y sobrevivencia de *Chirostoma jordani*, siendo estos los fosfatos, el amonio y los nitritos que alcanzaron concentraciones muy altas.
- Para el ciclo 2014 - 2015 se detectó un desove en la población en la época fría (febrero y marzo) mientras que el ciclo 2017 - 2018, este desove ocurrió a principio de primavera ya que se encontraron tallas pequeñas y la tasa de crecimiento de primavera-verano fue la más alta, lo que es indicio de crecimiento en juveniles que se preparan para la época de desove del siguiente ciclo.
- La tasa de crecimiento para 2015 fue mayor en la época verano-otoño con una tasa de 0.325 mm/día mientras que en 2017 fue en la época primavera-verano con un valor de 0.198 mm/día.
- La relación peso-LT para el ciclo 2014 - 2015 mostro un crecimiento isométrico y el ciclo 2017 - 2018 obtuvo un crecimiento alométrico negativo.
- A través del tiempo se ha observado una reducción del tamaño de la población de *C. jordani* en Xochimilco, lo que es debido a la continua perturbación del hábitat. No obstante, esta especie, ha mostrado poseer una notable plasticidad ecológica, como es su gran tolerancia y resistencia a las altas concentraciones de amonio y nitritos presentes en los canales, que para otras especies de peces resulta ser letal.
- Los objetivos del presente trabajo se cumplieron satisfactoriamente, ya que se logró comparar las poblaciones de ambos ciclos encontrando diferencias en la estructura de tallas y tasa de crecimiento que se pudieron vincular a las diferencias en las variables de calidad del agua de este canal.

## 11. RECOMENDACIONES

Debido a la notable disminución de las capturas de *Chirostoma jordani* en las últimas décadas, es recomendable realizar monitoreos constantes de la población, así como realizar mediciones de las variables de calidad del agua, puesto que estas determinan el estado de la población. Estas variables es considerable medirlas repetidas veces en el día y a través del mes para tener un panorama más amplio de su variación.

En particular, se debe considerar la medición de fosfatos, nitritos y amonio, ya que estos resultaron encontrarse en concentraciones tóxicas para la vida acuática. Además, se requiere identificar la fuente de estos compuestos para así considerarlo en un plan de manejo.

El presente escrito contribuye con información de línea base para el manejo de *C. jordani*, ya que presenta su dinámica a través de varios ciclos anuales, así como los factores físicos y químicos que modulan a las poblaciones. En futuros trabajos se requiere considerar todo el ciclo anual, el sexo. También es necesario evaluar los efectos de otras variables que puedan influir en la población de charal, tales como el alimento disponible y los factores endógenos (desarrollo embrionario, reproducción, maduración y senectud). Además, se debe considerar la posible acumulación de metales pesados y los disruptores endócrinos.

## 12. LITERATURA CITADA

Alarcón-Durán, I., Castillo-Rivera, M., Figueroa-Lucero, G., Arroyo-Cabrales, J., Barriga-Sosa, I. (2017). Diversidad morfológica en 6 poblaciones del pescado blanco *Chirostoma humboldtianum*. México: Rev. Mexicana de biodiversidad vol. 88 (1). 207-214.

Ali, M.A. (1979). Environmental Physiology of Fishes. Cánada: Nato Advanced Study Institutes Series. Serie A: Life Sciences. 717 pp.

Aranda, M. (2004). Zona lacustre “Ejidos de San Gregorio Atlapulco”. Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). México. 13 pp.

Arredondo-Figueroa, F.; Nuñez-García, L.; Heredia-Gúzman, P.; Ponce-Palafox, J. (2012). Reproductive performance of the Mesa silverside (*Chirostoma jordani*, Woolman 1894) under natural and controlled photoperiod. Argentina: Biocell 36 (3). 105-111.

Báez, P. A. y Belmont, R. (1971). Algunos aspectos del deterioro del agua en los canales del Lago de Xochimilco. Comité Nacional para el Decenio Hidrológico Internacional. Inst. de Geología. U.N.A.M. México. 14 pp.

Barbour, C. D. (1973). The systematics and evolution of the genus *Chirostoma* Swainson (Pisces, Atherinidae). Tulane Studies in Zoology and Botany, vol. (18). 97–114.

Bertalanffy, L. Von. (1938). A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Wayne State University Press: Human Biology, vol. 10 (2). 181-213.

Blancas-Arroyo, A.; Frías-Sevilla, R.; De la Rosa-Pimentel, E.; Suárez-Navarro, V.; Castro-Gómez, J. y Magaña-Morales, J. (2014). Efecto de la salinidad en la sobrevivencia de peces silvestres del género *Chirostoma* durante el transporte y mantenimiento en laboratorio. México: Rev. Hidrobiología, vol. 24 (3): 223-230.

Bravo, N. P. (2007). Efecto agudo del amoníaco en tilapia roja (*Oreochromis* sp.). Tesis de Licenciatura para Ingeniería Agrónoma. ZAMORANO: Honduras. 28 pp.

Camargo, J.; Alonso, A. y Salamanca, A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. Chemosfera, vol. 58 (1). 1255–1267.

Cházaro, S. (1989). Estudio sobre algunos aspectos de la biología del charal *Chirostoma jordani* en el embalse Trinidad Fabela, Estado de México. Tesis de licenciatura en biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. 89 pp.

Contreras, Ana. (2012). "Variables bióticas y abióticas como indicadores de heterogeneidad en el Lago de Xochimilco, Distrito Federal." Tesis de maestría, Instituto de Biología. UNAM. 87 pp.

Csirke, B. J. (1993). Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. Instituto del Mar del Perú Chucuito, Callao, Perú. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/003/T0169S00.htm#TOC>

De Buen, F. (1945). Investigaciones sobre Ictiología Mexicana. An. Inst. Biol. UNAM. México. XIV. 475-532.

Devlin, H. R. y Nagahama, Y. (2002). Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, vol. 208. 191–364.

DOF. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF). México. 30 de diciembre de 2010.

DOF. (2012). Carta Nacional Acuícola. Diario Oficial de la Federación. México. 6 de junio de 2012.

Dyer, B. S. y Chernoff, B. (1996). Phylogenetic relationships among atheriniform fishes (Teleostei: Atherinomorpha). *Zoological Journal of the Linnean Society*, vol. 117. 1–69.

Emerson, K; Russo, R.C.; Lund, R.E. y Thurston, R.V. (1975). Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 32 (12). 2379-2383.

Espina, S. y Alcazar, G. (1995). ¿Es tóxico el nitrito? *Argentina: Acta Toxicológica Argentina*, vol. 3 (1). 2-4.

FAO. (2011). Manual para extensionista en acuicultura. Paraguay: Ministerio de agricultura y ganadería-Viceministerio de ganadería. 20 p.

Freedman, B. (2015). Ecological Effects of Environmental Stressors. Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. 27 pp.

Froese, R. y Pauly, D. (Editores). (2018). WoRMS. FishBase. *Chirostoma jordani* Woolman, 1894. Recurso en línea: World Register of Marine Species [<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=280161>]. Revisado el 08 de diciembre de 2018.

Fry, F.E.J. (1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish. In: W.S. Hoar and D.J. Randall (Eds.). Fish Physiology. Academic Press, vol. I. 1-98.

Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF). (2006). Programa de manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica "Ejidios de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". Gobierno del Distrito Federal. México, 6 de enero. Pp 162.

Gobierno del Distrito Federal (GDF). (2007). Programa General de Desarrollo 2007-2012. Pp 107.

Goldman, Ch. R. y Horne, L.J. (1983). Limnology. Mc. Graw-Hill. Nueva York. Pp 19-43.

GPPA. (2015). Informe final y segunda entrega de actividades del estudio "Desarrollo de herramientas de apoyo para la toma de decisiones en la gestión del área natural protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, a partir de la interpretación de datos LIDAR, así como su incorporación en el SIG-PAOT". Diciembre de 2015.

Grabda, E.; Einszporn-Orecka, T.; Felinska, C. y Zbanysek, R. (1974). Experimental methemoglobinemia in trout. Acta Ichthyol. Piscat., vol. 4. 43–71.

Hepher, B. (2001). Cultivo de peces comerciales. Limusa Noriega, México. Pp 316.

Hernández, O. F. (1993). Evaluación de algunos aspectos de Alimentación y Reproducción del Charal *Chirostoma jordani* (Woolman) en el embalse Macua, estado de México. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala. México. Pp 37.

Ibáñez, A. L.; García-Calderón, J. L. y Torres-Orozco, R. (2008). Aspectos reproductivos de una población de charal *Menidia jordani* (Woolman) del Lago de Metztitlán, Hidalgo. México: Rev. Hidrobiología, vol. 18 (1). 1-9.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2001). Cuaderno estadístico Delegacional: Tlalpan. México. Pp 59.

Jensen, F. (2003). "Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals." Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular Integrative Physiology vol. 135(1). 9-24.

Lagler, K. F.; Bardach, J. E.; Miller, R. R. y Passino, D. R. M. (1984). Ictiología. AGT. Pp 489.

Matthew, L. (1992). Introduction to Aquaculture. John Wiley and Sons, Inc. Canada. Pp 440.

Mazari, M. (2003). El agua como recurso. Rev. ¿Cómo ves?, vol. 54. 10-12.

Miller, R.R.; Minckley, W.L. y Norris, S.M. (2009). Peces dulceacuícolas de México. CONABIO, SIMAC. ECOSUR, Consejo de Peces del Desierto, México D.F., México. Pp 559.

Molina, D. (2009). Estudio regional forestal: unidad de manejo forestal 0904 (Xochimilco, D.F.). México. Pp 217.

Navarrete, S. N. (1981). Contribución a la Biología del Charal (*Chirostoma jordani*) de la Presa Taxhimay. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala. U.N.AM. México. Pp 86.



Navarrete, S. N.; Sánchez, R. y Rojas, M. L. (1996). Selección del zooplancton por el charal *Chirostoma jordani* (Atheriniformes: Atherinidae). Rev. Biol. Trop., vol. 44 (2). 757-761.

Navarrete-Salgado, N.; Contreras-Rivero, G.; Jacobo-Segura, D.L. (2010). SITUACIÓN DE *Menidia jordani* (Pisces: Atherinopsidae) en el embalse la Goleta, estado de México. México: revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, vol. 16 (2). 165-169.

Navarrete-Salgado, N.A.; Contreras-Rivero, G. (2011). Crecimiento y mortalidad del charal (*Menidia jordani*) en el estanque Guillermo Lagunes, estado de México. México: Revista Chapingo serie ciencias forestales y ambiente, vol. 17 (3). 407-410.

Nelson, J.; Grande, T. y Wilson, M. (2016). Fishes of the world. Hoboken: John Wiley & Sons. Pp 707.

Nikolsky, G.V. (1969). Fish Population Dynamics. as the Biological Background for Rational Exploitation and Management of Fishery Resources. Oliver & Boyd LTD. 32-67.

Olvera-Blanco, Y. (2004). Aspectos poblacionales de *Chirostoma jordani* (Woolman) (PISCES: Atherinidae) en el sistema lacustre de Xochimilco, México, D.F. Tesis de Maestría en ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM. 117 pp.

Olvera-Blanco, Y.; Gómez-Márquez, J.; Peña-Mendoza, B.; Gaspar-Dillanes, M. y Pérez, C. (2009). Biología reproductiva de *Menidia jordani* (Atheriniformes: Atherinopsidae) en el lago de Xochimilco, México. México: Ciencia Pesquera, vol. 17 (2). 65-75 pp.

Rabalais, N.N. (2002). Nitrogen in aquatic ecosystems. Ambio vol. 31. 102–112.

Ramesh-Reddy, R. y DeLaune, R.R. (2008). Biogeochemistry of wetlands Science and applications. Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group. Pp 757.

Rangel, T. R. C. (2009). Ecología poblacional de *Cambarellus montezumae* en Xochimilco, México, D.F. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp 53.

Rangel-Nambo, M. (2017). Evaluación del crecimiento, metabolismo de rutina y eficiencia de asimilación de energía del charal *Chirostoma jordani* (Woolman 1894) en el canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, UNAM. Pp 78.

Reséndiz, M.R.; Hernández, Z.J.S.; Ramírez, R.H. y Pérez, A.R. (2012). CALIDAD SANITARIA DEL "CHARAL" (*Menidia jordani*) Y TORTILLA DE MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN MEXICANA. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal, vol. 2. 249-251.

Rodríguez-Romero, F.; Salazar-García; O.; Pedroza, M. y Lara-Hernandez, M. (noviembre de 2014). Presencial actual de *Chirostoma* en el Altiplano mexicano y la necesidad de su cultivo. En memorias del Segundo congreso de Internacional de Acuicultura. Congreso llevado a cabo en Guerrero, México. Pp 6-21.

Rueda-Jasso, R.; De los Santos-Bailón, A.; Fuentes-Farias, A. y Gutiérrez-Ospiga, G. (2014). Toxicidad letal y subletal del fosfato de sodio dibásico y efectos en branquias y conducta de las crías del pez goodeido *Skiffia multipunctata*. México: Hidrobiología, vol. 24 (3). 2017-214.

Saldívar, S. (2007). Aspectos tróficos del charal *Chirostoma jordani* (Atherinopsidae) en el Canal Nacional del Lago de Xochimilco. Tesis de licenciatura en Biología. FES-Iztacala, UNAM. Pp 66.

Sánchez, M. R.; Díaz, Z. M.; Navarrete, S. N. A.; García, M. M. L.; Ayala, N. F., y Flores, A. M. D. (2006). Crecimiento, mortalidad y supervivencia del charal *Chirostoma humboldtianum* (Atherinopsidae) en el embalse San Miguel Arco, Soyaniquilpan, Estado de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 12 (2),151-154.

Sandoval, C.; Paredes, E.; Ulloa, M.; Gutiérrez, X.; Muñoz, G. y Arcos, C. (2015). Toxicología Acuática en Peces. Chile: Toxicología, vol. 32 (2). 16-21.

Secretaria del Medio Ambiente, Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF). (2012). Xochimilco 2006-2012. Libro blanco, México. Pp 74.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. Pp 361.

Secretaría de Pesca y Acuicultura (SEPESCA). 1994. Cultivo De Pez Blanco. Secretaría de Pesca. Colección Nacional de Manuales de Capacitación. Pp 23.

Smith, C.L. (1983). Summary of round table discussions on back calculation. U. S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 8, 45-47.

Sondergaard, M. y Jeppesen, E. (2007). Anthropogenic impacts on lake and stream ecosystems, and approaches to restoration. *Journal of Applied Ecology* vol. 44. 1084-1094.

Svobodová, Z.; Máchová, J.; Poleszczuk, G.; Húda, J.; Hamáčková, J. y Kroupova, H. (2005). Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. República Checa: *Acta Veterinaria Brno*, vol. 74. 129-13.

Thorarensen, H. y Farrell, A. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, vol. 312. 1-14.

Weatherley, A.H. y Gil, H.S. (1987). *The biology of Fish Growth*. Academic Press, Nueva York. 443 pp.

Weber-Scanell, P. y Duffy, K. (2007). Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species. *American Journal of Environmental Sciences* Vol. 3 (1). 1-6.

Wetzel, G. R. (1975). *Limnology*. W.B. Saunders Company. Pp 743.

Wootton, J.R. (1990). *Ecology of teleost fishes*. Nueva York. EUA. Rev: Fish and Fisheries Series 1. Chapman & Hall. Pp 404.

Zhang, R., F.; Wu, C.; Liu, W.; Li, L.; Wang, H. L. y Cuo, J. (2008). Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China. *Environmental Pollution* Vol 152. 366-372.