



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

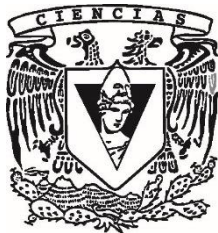
**Evaluación del crecimiento, metabolismo de rutina y  
eficiencia de asimilación de energía del charal *Chirostoma  
jordani* (Woolman 1894) en el canal de Cuemanco,  
Xochimilco, Ciudad de México, México**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I Ó L O G A  
P R E S E N T A :**

**RANGEL NAMBO MARÍA ISABEL**



**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. JOSÉ ROMÁN LATOURNERIÉ CERVERA**

**2017**

**Ciudad Universitaria, CDMX**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Rangel  
Nambo  
María Isabel  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
308128136

2. Datos del tutor

Dr.  
José Román  
Latournerié  
Cervera

3. Datos del sinodal 1

Dr.  
René de Jesús  
Cárdenas  
Vázquez

4. Datos del sinodal 2

M. en C.  
Patricia  
Fuentes  
Mata

5. Datos del sinodal 3

M. en C.  
Héctor Salvador  
Espinosa  
Pérez

6. Datos del sinodal 4

Biol.  
Dafne Estefany  
Bonilla  
Cerquedo

7. Datos del trabajo escrito

Evaluación del crecimiento, metabolismo de rutina y eficiencia de asimilación de energía del charal *Chirostoma jordani* (Woolman 1894) en el canal de Cuernavaca, Xochimilco, Ciudad de México, México.

77 p.  
2017

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas que apoyaron de una u otra forma en la realización de este trabajo. En primer lugar quiero agradecer al Dr. José Román Latournerié Cervera, por abrirme las puertas del laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática, por todos los conocimientos compartidos, y su buena disposición.

A la bióloga Dafne Bonilla Cerquedo, por todas las horas dedicadas a este trabajo.

Al Dr. Fernando Arana y al Centro de Investigaciones Biológicas de Cuernavaca, por el apoyo brindado para la realización de los muestreos.

A todo el equipo de trabajo del laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática: Mariela Arredondo, Karla Jiménez, Arturo Gutiérrez, Lourdes Valencia, Dulce Vargas, Óscar de Lázaro, y Liliana V. Patraca, gracias a todos por la ayuda brindada en la realización de los muestreos y biometrías. Agradezco especialmente a Mariela, Arturo y Karla, quienes además de compañeros se han convertido en grandes amigos.

A los miembros del jurado por todas sus observaciones y comentarios: Dr. René de Jesús Cárdenas Vázquez, M. en C. Patricia Fuentes Mata, M. en C. Héctor Salvador Espinosa Pérez y Biól. Dafne E. Bonilla Cerquedo.

Finalmente, agradezco a la UNAM y a la Facultad de Ciencias por permitirme ser parte de ésta excelente universidad.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas esas personas tan importantes en mi vida, que con su apoyo y confianza, han influido de forma significativa en mi formación personal y académica.

A mi mamá: *Maricela Nambo.*

A mis hermanos: *Guadalupe, Claudia, Agustín, José y Rocío.*

A mi nieto: *Fisgón*

A mis sobrinos: *Daniel, Esperanza, Samuel y Emiliano.*

A mis más grandes amigas: *Isabel Tolentino, Cenyeli Guerrero, Carmen Orgen y Mariela Arredondo.*

A mi amigo semi-virtual: *Ángel Santana*

En memoria de *Pablo Guzmán Mendoza*.

La muerte no es más que un viaje, semejante al que realizan dos amigos al separarse para atravesar los mares. Como aún se necesitan, ellos siguen viviendo el uno en el otro y se aman en una realidad omnipresente. En dicho divino espejo se ven cara a cara y su conversación fluye con pureza y libertad. Tal es el consuelo de los amigos: aunque se diga que han muerto, su amistad y su compañía no desaparecen, porque éstas son inmortales.

William Penn. More Fruits of Solitude

*Toda pregunta que pueda responderse debe responderse  
o, al menos, analizarse.*

*Es necesario enfrentarse a los procesos mentales  
ilógicos cuando se presenten.*

*Las respuestas incorrectas deben corregirse.*

*Las respuestas correctas deber afirmarse.*

V. Roth.

## RESUMEN

El charal *Chirostoma jordani* es una especie endémica de nuestro país, cuyas poblaciones, por distintas causas naturales y antropogénicas, han sufrido una notable disminución en las últimas décadas, poniendo en riesgo su permanencia en su hábitat natural. Los objetivos de este trabajo fueron determinar, mediante los elementos (R) y (P) de la ecuación general del balance de energía ( $C=P+R+F+U$ ), si existe estacionalidad en la eficiencia de asimilación de energía de *C. jordani*, así como obtener la tasa de crecimiento en dos épocas del año, cuantificar y determinar si existe diferencia en la pérdida de energía por respiración y la energía invertida en crecimiento en dos épocas contrastantes del año (abril y noviembre), y determinar si hay relación de estos procesos con las propiedades de calidad del agua. Para ello se realizaron muestreos mensuales 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, respecto a la de agosto-noviembre,  $0.19\pm 0.05$  y  $0.04\pm 0.03$  mm/día, respectivamente. 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 resultados. 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%. Finalmente, las propiedades de calidad del agua presentaron variación espacio-temporal, llegando a ser más adecuadas las condiciones de la superficie para el desarrollo y supervivencia de *C. jordani*. Estos resultados sientan las bases para explicar las estrategias de vida y distribución de los recursos de *C. jordani* en su hábitat natural y son fundamentales para el manejo futuro de la especie en condiciones controladas.



## ABSTRACT

*Chirostoma jordani* is an endemic fish species of our country, whose populations have suffered a notable decrease in the last decades, due to natural and anthropogenic causes, putting at risk their permanence in their natural habitat. The objectives of this work were to determine, through the elements (R) and (P) of the energy balance equation ( $C = P + R + F + U$ ), whether there is seasonality in the energy assimilation efficiency of *C. jordani*, as well as to obtain the growth rate at two seasons of the year, and quantify if there is a difference in the energy loss per routine metabolic rate and the energy invested in growth in two contrasting months of the year (April and November). Also, we try to establish the possible relationship of these processes with variations in water quality at the species habitat. For this, monthly samplings were performed from August to November 2014 and from February to May 2015, at the Cuemanco channel, Xochimilco. During March-May period, a higher growth rate was measured in comparison to August-November ( $0.19 \pm 0.05$  and  $0.04 \pm 0.03$  mm/day, respectively). In November, the organisms invested 268.3 cal/gdw/day and in April 760 cal/gdw/day, equivalent to 19.2% and 16.5% of their total energy, with temperature and weight being highly influential in these results. The inverted energy in growth was determined for the August-September, September-November, March-April and April-May periods, resulting an investment of 704.1, 184.3, 1,708.2 and 1,686.1 cal/gdw/day, respectively. The energy assimilation efficiency in April was 53% and in November 32%. Finally, the water quality presented spatio-temporal variations, being more suitable for the development and survival of *C. jordani* the upper layer of the water column. These results provide the basis for explaining the life strategies and resources distribution of the *C. jordani* in their natural habitat and are fundamental for the future management of the species under controlled conditions.

**Contribución No. 181. Laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática. Departamento de Biología Comparada. Facultad de Ciencias, UNAM.**

## INDICE

	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Descripción de la especie	3
2.2 Ubicación taxonómica	4
2.3 Distribución	4
2.4 Hábitos alimenticios	5
2.5 Reproducción	6
3. ANTECEDENTES	7
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. HIPÓTESIS	14
6. OBJETIVOS	14
6.1 Objetivo general	14
6.2 Objetivos específicos	14
7. MATERIAL Y MÉTODO	15
7.1 Área de estudio	15
7.2 Trabajo de campo	18
7.2.1 Colecta de organismos	18
7.2.2 Caracterización del hábitat	19
7.3 Trabajo de laboratorio	20
7.3.1 Medición de parámetros fisicoquímicos	20
7.3.2 Dinámica de la población de <i>C. jordani</i>	21
7.3.2.1 Tasa de crecimiento	21
7.3.2.2 Relaciones alométricas	22
7.3.3 Fase experimental	22
7.3.3.1 Tasa metabólica y eficiencias energéticas	22
7.3.3.1.1 Contenido calórico y peso seco	22
7.3.3.1.2 Nitrógeno total	22
7.3.3.2 Determinación de los elementos (R) y (P) de la ecuación general del balance de energía: $C=P+R+F+U$	23

7.3.3.2.1	Metabolismo de rutina (QO <sub>2</sub> ) y pérdida de energía por respiración (R)	23
7.3.3.2.2	Producción o crecimiento (P)	24
7.3.3.3	Asimilación y eficiencia de asimilación de energía	25
7.4	Análisis estadístico	25
8.	RESULTADOS	26
8.1	Caracterización del hábitat natural	26
8.2	Aspectos de dinámica poblacional de <i>C. jordani</i>	31
8.2.1	Tasa de crecimiento	34
8.2.2	Relación PH-LT	35
8.3	Tasa metabólica y eficiencias energéticas	36
8.3.1	Contenido calórico	36
8.3.2	Nitrógeno total	37
8.3.3	Metabolismo de rutina (R)	39
8.3.4	Producción o crecimiento (P)	40
8.3.5	Asimilación y eficiencia de asimilación de energía	41
9.	DISCUSIÓN	41
9.1	Caracterización del hábitat	41
9.2	Dinámica poblacional	45
9.2.1	Tasa de crecimiento	47
9.3	Tasa metabólica y eficiencias energéticas	49
9.3.1	Contenido calórico	49
9.3.2	Nitrógeno total	50
9.3.3	Metabolismo de rutina (R) y producción (P)	50
9.3.4	Asimilación y eficiencia de asimilación de energía	52
10.	CONCLUSIONES	53
11.	RECOMENDACIONES	54
12.	LITERATURA CITADA	55

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas	Página
<b>Tabla 1.</b> Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del canal de Cuemanco, Xochimilco, durante el periodo agosto 2014- mayo 2015.....	28
<b>Tabla 2.</b> Indicadores biométricos (LT, LP y PH) de la población de <i>Chirostoma jordani</i> del canal de Cuemanco, Xochimilco, durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.....	32
<b>Tabla 3.</b> Tasa de crecimiento de <i>C. jordani</i> durante el periodo agosto 2014- mayo 2015, en el canal de cuemanco, Xochimilco.....	35
<b>Tabla 4.</b> Contenido calórico de <i>C. jordani</i> , durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.....	36
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio de N-Total y contenido de energía del tejido de <i>C. jordani</i> en los diversos meses de muestreo.....	38
<b>Tabla 6.</b> Metabolismo de rutina de <i>C. jordani</i> en nov-2014 y abr-2015.....	39
<b>Tabla 7.</b> Energía invertida en crecimiento (cal/ gPS/día) por <i>C. jordani</i> en el periodo agosto (2014)- mayo (2015).....	40
<b>Tabla 8.</b> Asimilación y eficiencia de asimilación de energía de <i>C. jordani</i> en noviembre-2014 y abril-2015, en el canal de Cuemanco.....	41

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Chirostoma jordani</i> (Woolman 1894). Tomada de Salazar (2012).....	4
<b>Figura 2.</b> Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, 2016.....	16
<b>Figura 3.</b> Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, 2016.....	20
<b>Figura 4.</b> Medidas obtenidas en ejemplares de <i>C. jordani</i> . LT-longitud total, LP-longitud patrón, Alt. Máx.-altura máxima y An. Máx- Ancho máximo.....	21
<b>Figura 5.</b> Parámetros fisicoquímicos que mostraron diferencia significativa durante los muestreos realizados. A: temperatura, B: pH, C: oxígeno disuelto, D: conductividad, E: sólidos totales, F: NO <sub>2</sub> , G: PO <sub>4</sub> y H: silicatos.....	29
<b>Figura 6.</b> Gráfico de canónicas del análisis discriminante para los distintos muestreos efectuados. Análisis completo incluyendo las 10 variables fisicoquímicas.....	30
<b>Figura 7.</b> Gráfico de canónicas del análisis discriminante por mes.año-estrato. Análisis completo incluyendo las 10 variables fisicoquímicas .....	31
<b>Figura 8.</b> Diagramas de caja de las curvas de crecimiento (LT, LP y PH) de <i>C. jordani</i> en el canal de Cuemanco, Xochimilco. Periodo agosto 2014- mayo 2015.....	33
<b>Figura 9.</b> Distribuciones de talla (LT) de <i>C. jordani</i> en el canal de Cuemanco, Xochimilco.....	34
<b>Figura 10.</b> Relación PH- LT de <i>C. jordani</i> en el Canal de Cuemanco, Xochimilco. Agosto 2014-mayo 2015.....	35
<b>Figura 11.</b> Contenido calórico de <i>C. jordani</i> , durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.....	37

**Figura 12.** Análisis discriminante (N-Total y contenido calórico) de *C. jordani* de acuerdo al mes y etapa del ciclo vital.....38

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dulceacuícolas son de gran importancia ecológica, económica y cultural. La importancia ecológica de estos ecosistemas radica, en que una gran diversidad de especies encuentran en ellos un hábitat óptimo para llevar a cabo funciones vitales como crecimiento y reproducción (Juárez y Palomo, 1985). Sin embargo, por diversas presiones antropogénicas, muchos de estos ecosistemas han sido degradados, produciéndose graves consecuencias ecológicas. Tal es el caso del sistema lacustre de Xochimilco, en el cual, actividades como la introducción de especies exóticas, el vertimiento de aguas residuales y la sobreexplotación de sus recursos hídricos, entre otras, han alterado la supervivencia y abundancia de las especies nativas, entre estas, los charales del género *Chirostoma*, representado por *Chirostoma jordani*, especie endémica de nuestro país.

De acuerdo con Saldívar (2007), a lo largo de tres siglos, los manantiales, el lago y los canales de Xochimilco se han visto afectados por diversas causas, tanto naturales como antropogénicas, rompiendo así el equilibrio ecológico de la región, ocasionando que la fauna terrestre, acuática y aérea, que fue muy abundante, haya ido desapareciendo paulatinamente. Entre algunas de las causas que han contribuido al deterioro de este sistema se puede hacer mención a la introducción de especies como la carpa y la tilapia. Dicha introducción ha causado un impacto negativo, alterando la red trófica y desplazando a las especies nativas al competir por nichos alimenticios y reproductivos (Zambrano *et al.* 1998).

Los peces pertenecientes al género *Chirostoma*, de la familia Atherinopsidae, representan un claro ejemplo del daño ocasionado a las especies por el deterioro de los cuerpos de agua de Xochimilco, ya que las poblaciones de este género, que era considerado como uno de los más comunes (Miranda, 2002), han presentado una notable disminución. En los canales de Xochimilco el género *Chirostoma*, anteriormente estaba representado por las especies *Chirostoma humboldtianum* y

*C. jordani* (Saldívar, 2007). Sin embargo, en la actualidad sólo *C. jordani* permanece en éste sitio. Islas y colaboradores (1995) atribuyen su permanencia a su adaptación gradual a condiciones extremas y a que pueden resistir malas condiciones de calidad del agua. No obstante, como resultado de las presiones ecológicas y antropogénicas ya mencionadas, las poblaciones de *C. jordani* han experimentado una notable disminución, llegando a ser considerada como una especie con posibilidades de desaparecer (Olvera, 2004). Es por eso que resulta medular realizar estudios ecofisiológicos con enfoque bioenergético sobre esta especie, que permitan delimitar sus requerimientos y eficiencias de crecimiento en su hábitat natural y sentar las bases para su posible manejo en cautiverio. Los aspectos bioenergéticos de los estudios ecofisiológicos se refieren a la medición, compartimentalización y optimización del flujo de energía a través del organismo, así, el conocimiento del balance energético permite comprender e interpretar fenómenos relacionados con la distribución del organismo o con su adecuación al medio en el que se encuentra (Beamish *et al.*, 1975).

El conocimiento del balance energético se puede describir mediante la ecuación general del balance de energía:  $C=P+R+F+U$  (Grodzinski, 1975). Donde (C) es la energía contenida en el alimento consumido, (P) es la producción o crecimiento, (R) es el metabolismo, expresado como consumo de oxígeno, (F) es la energía perdida en el alimento no asimilado (heces) y (U) es la energía perdida en productos nitrogenados. Todos los términos de la ecuación se refieren a tasas y se expresan en términos calóricos (cal/día o joules/día) (Espina *et al.*, 1987).

La ecuación general del balance de energía indica las rutas principales que la energía ingerida en el alimento sigue a través del organismo y las vías de distribución de la misma. Cada uno de los componentes de la ecuación pueden verse modificados positiva o negativamente por la influencia de factores tanto bióticos como abióticos, como el sexo, la talla, la temperatura, la calidad del agua, la calidad del alimento, entre otros. Por lo tanto, estos cambios se verán reflejados de forma directa en el desempeño de los organismos (Talbot, 1985). De acuerdo



con Wootton (1990), la distribución de la energía a diferentes procesos funcionales se expresa de manera jerárquica. Es decir, la energía se asigna primariamente a las funciones relacionadas con las funciones vitales y sólo hasta que estos requerimientos hayan sido cubiertos, se asigna energía a otras funciones. En este trabajo se determinará la eficiencia de asimilación de energía del charal *C. jordani* en dos épocas del año, mediante los elementos (R) y (P) de la ecuación general del balance de energía:  $C=P+R+F+U$  (Grodzinski, 1975).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Descripción de la especie

*Chirostoma jordani* alcanza tallas entre 65.7 y 127 mm (Navarrete, 1981; Cházaro, 1989). No obstante, la dimensión reportada varía dependiendo del área y el año de estudio. Así, Ibáñez y colaboradores (2007) reportan una talla máxima de 58 mm, en el lago de Metztitlán, Hidalgo, y Olvera (2004) reporta para organismos de Xochimilco una longitud patrón máxima (de la mandíbula inferior al inicio de la aleta caudal) de 75.1 mm y 67.5 mm para hembras y machos, respectivamente. Los organismos de esta especie tienen un cuerpo comprimido con cabeza pequeña (Miller *et al.*, 2005), boca oblicua y ojos grandes. Posee pequeños dientes en ambas mandíbulas. Aletas dorsales próximas, y coloración olivácea, con una destacada mancha cerebral, y una estrecha banda longitudinal en los flancos (De Buen, 1945).

No presentan dimorfismo sexual, sin embargo, el sexo puede determinarse una vez que los organismos son sexualmente maduros (Blancas *et al.*, 2003; Mares *et al.*, 2003). La proporción sexual, al igual que otros aspectos de la especie, varía dependiendo del área, año y la temporada de estudio. Particularmente, para los organismos de *C. jordani* en el sistema lacustre de Xochimilco, se ha reportado una ligera dominancia de las hembras (Olvera, 2004).

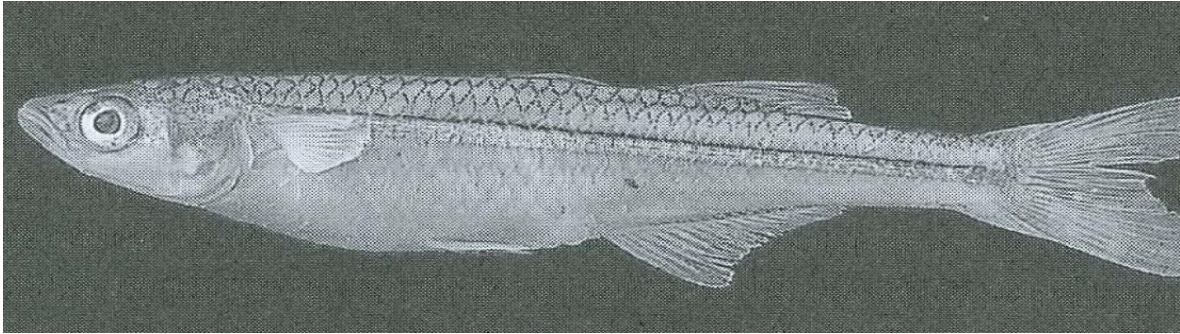


Figura 1. *Chirostoma jordani* (Woolman 1894) Tomada de Salazar (2012).

## 2.2 Ubicación taxonómica (Nelson *et al.*, 2004; González, 2009)

<b>Reino</b>	Animalia
<b>Subreino</b>	Metazoa
<b>Phyllum</b>	Chordata
<b>Subphyllum</b>	Vertebrata
<b>Clase</b>	Teleostei
<b>Subclase</b>	Actinopterygii
<b>Orden</b>	Atheriniformes (Rosen)
<b>Familia</b>	Atherinopsidae (Fowler)
<b>Subfamilia</b>	Menidinae (Schultz)
<b>Género</b>	<i>Chirostoma</i> (Swainson 1839)
<b>Especie</b>	<i>Chirostoma jordani</i> (Woolman 1894)

## 2.3 Distribución

*C. jordani* se distribuye de forma natural en algunas zonas de la cuenca Lerma-Santiago-Chapala y en la Cuenca del Valle de México. De acuerdo con De Buen (1945), *C. jordani* invadió las cuencas de los ríos Lerma y Santiago, así como también el lago de Chapala que se encuentra entre estos dos; se desplazó a Ocotlán cerca del nacimiento del río Grande de Santiago y sobre el efluente del río

Verde, en Aguascalientes, Salamanca y Acámbaro, en Guanajuato en el río Lerma, en el lago de Cuitzeo y el río Grande de Morelia, en el río Mezquital en Durango y sobre la Cuenca del Valle de México, en la cual se encontró, particularmente en Chalco, Texcoco, canal de la Viga y en los lagos y canales de Xochimilco.

El área de distribución de este charal se ha ampliado por su introducción en grandes presas en distintos estados de la República Mexicana, así como también por causas naturales. Espinosa y colaboradores (1993), detallan que *C. jordani* fue introducido a grandes presas en los estados de Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas. Por su parte, Navarrete (1981) propone una ampliación del área de distribución por causas naturales, ocasionadas por las comunicaciones entre el Valle de México y el estado de Hidalgo.

## **2.4 Hábitos alimenticios**

Las especies del género *Chirostoma* son esencialmente carnívoras. Durante el día permanecen en las capas superficiales y en zonas de poco movimiento, generalmente cerca de las orillas de los cuerpos de agua donde habitan, en los cuales se alimentan, dependiendo de su talla, de partículas y organismos de distinto tamaño (Paulo-Maya, 2000).

De acuerdo con Navarrete y colaboradores (1996), *C. jordani* varía su alimentación en función de la talla y la disponibilidad de alimento en el ambiente, presentando hábitos alimenticios zooplancófagos. Así, los organismos de tallas pequeñas se alimentan principalmente de copépodos del género *Diaptomus* y en menor proporción de cladóceros de los géneros *Daphnia* y *Diaphanosoma*, y el copépodo *Cyclops*. Los géneros más consumidos por los organismos de tallas intermedias son, *Diaptomus* en primavera y verano, y *Daphnia* en otoño e invierno. El alimento principal para las tallas grandes es *Daphnia* en las cuatro estaciones del año. Por otra parte, cuando el alimento escasea hay un aumento de interacciones intraespecíficas como el canibalismo (Cházaro, 1989). Otros

organismos de los cuáles se alimentan, pero en una proporción mínima son los cladóceros del género *Bosmina* y rotíferos del género *Asplanchna*, así como también ácaros y larvas de peces e insectos (Navarrete *et al.*, 1996, Paulo-Maya, 2000).

De acuerdo con Krebs, (1989), el que exista una marcada diferenciación en cuanto a los géneros de microorganismos ingeridos con respecto a la talla, puede ser una estrategia para disminuir la competencia intraespecífica entre los organismos de una población, lo cual disminuye la mortalidad en etapas tempranas del ciclo de vida, incrementando de esta forma el número de organismos que llegan a edad reproductiva.

## **2.5 Reproducción**

Todas las especies del género *Chirostoma* son ovíparas, y las hembras presentan múltiples desoves a lo largo de la época reproductiva (Sánchez, 1992; Sasso *et al.*, 1997). La talla mínima de reproducción es variable, en el embalse Trinidad Fabela, se registró una longitud total de 3.87 cm para hembras y 3.0 cm para machos (Cházaro *et al.* 1989), en el embalse Macua fue de 2.84 cm para hembras y 3.0 cm para machos (Hernández, 1993), y Olvera y colaboradores (2009) reportan para organismos de Xochimilco, que la primera madurez se da a los 48 mm de longitud patrón en hembras y 55 mm en machos. Los mismos autores reportan una fecundidad de 143 a 952 huevos por hembra, aunque esta también varía de acuerdo con el lugar en el cual se lleva a cabo la investigación, ya que en el embalse Trinidad Fabela se estimó entre 980 y 6,058 (Cházaro *et al.* 1989) y en el Macua fue de 858 (Hernández, 1993). Los huevos son esféricos, con diámetro entre 1 y 1.1 mm, de color ámbar, translúcidos, con gran cantidad de vitelo y poco espacio entre el vitelo y la membrana exterior del huevo (Rojas *et al.*, 2000).

Los desoves en este género ocurren durante varios meses al año, sin embargo, acontecen con mayor intensidad durante la época reproductiva. Esta mayor

intensidad está relacionada con el clima y la ubicación del cuerpo de agua en el que habitan, es decir, con las condiciones ambientales, por estas razones se reproducen en primavera y verano, tiempo en el que la temperatura del agua es más alta y oxigenada, condiciones favorables para el desarrollo de la especie (Cházaro *et al.*, 1989; Hernández, 1993; Blancas *et al.*, 2004; Sánchez, 2008).

*C. jordani* presenta una conducta de cortejo en condiciones naturales, que inicia cuando machos y hembras llegan a zonas someras del cuerpo de agua que habitan, donde encuentran poco movimiento, buena oxigenación y vegetación sumergida que emplean como sustrato y como protección para los huevos, los cuales tienen una serie de filamentos o estructuras adherentes llamadas zarcillos, que se desarrollan al final de la ovogénesis y sirven para sujetarlos a las plantas acuáticas sumergidas (Jiménez y Gracia, 1995; Sasso *et al.*, 1997; Paulo *et al.*, 2000; Blancas, 2002; Blancas *et al.*, 2004).

### **3. ANTECEDENTES**

Se han realizado una gran cantidad de estudios para *C. jordani*, los cuales incluyen aspectos biológicos, histológicos, de hábitos alimenticios, reproducción natural y en cautiverio y sobre análisis de las poblaciones silvestres.

En cuanto a estudios histológicos, Cárdenas (1982), efectuó una descripción histológica del testículo de la especie, con datos de organismos colectados en las presas Taxhimay, estado de México y Corrales, Hidalgo. En este estudio el autor reporta una longitud patrón media de 4.016 cm y una longitud media del testículo de 0.924 cm, y observa la existencia de correlación entre la longitud patrón y la longitud testicular. Por su parte, Alcantar (1985), realizó un estudio sobre las variaciones estacionales en la histología testicular de *C. jordani* en la presa Corrales, Hidalgo, reportando un ciclo de reproducción anual, identificando la etapa de reproducción entre julio y agosto, época en la que observó que la

temperatura y el tejido intersticial participan de manera importante en el ciclo espermático.

Los hábitos alimenticios de esta especie han sido un tema de gran interés, prueba de ello son los numerosos estudios realizados en el tema, entre los cuales se encuentran los realizados por Navarrete (1981), Escalera y Moncayo (1982), Hernández (1991), Soto (1993), Sánchez (1995), Navarrete *et al.* (1996), Saldívar (2007) y Navarrete *et al.* (2009), entre otros.

Navarrete (1981), en la presa de Taxhimay, llegó a la conclusión de que *C. jordani* es zooplanctófago, ya que se alimenta de copépodos, cladóceros e insectos (larvas y adultos), siendo los copépodos el grupo más importante en primavera y los insectos en otoño. Hernández en 1991, en la presa Begonias, Guanajuato, los reconoció como organismos zooplanctófagos y concluyó que se alimentan principalmente de cladóceros y copépodos. Soto (1993), en la presa Begonias, Guanajuato, señaló una estrecha amplitud del nicho alimenticio durante una época del año, excepto en agosto, marzo, abril y mayo, debido a una mayor densidad planctónica. Observó además, que *C. jordani* ejerce depredación selectiva sobre *Daphnia catawba* y cladóceros superiores a los 0.6 mm de longitud, así como también algunas otras especies independientemente de su tamaño, como *D. ambigua* y *Moinodaphnia macleayii*, que no alcanzan los 0.6 mm, por lo cual, el autor sugiere que la selectividad observada no puede deberse por completo a la talla de los organismos ingeridos, y que la pigmentación entre copépodos y cladóceros puede tener un papel importante en la selectividad.

Por su parte, Navarrete y colaboradores, en 1996, en el embalse Trinidad Fabela, estado de México, por medio del análisis del contenido estomacal, determinaron la selectividad del zooplancton por distintas clases de talla de *C. jordani*, en las cuatro estaciones del año. En este estudio, llegaron a la conclusión de que *C. jordani* adecúa los grupos alimenticios que ingiere en función de su talla y de la época del año. La comunidad zooplanctónica estuvo representada por los géneros

*Diaptomus*, *Daphnia*, *Bosmina*, *Diaphanosoma*, *Cyclops* y *Asplanchna*. Siendo *Diaptomus* el más abundante durante todo el año. Saldívar, en 2007, estudiando una población de *C. jordani* en el Canal Nacional del Lago de Xochimilco, concluyó que éste charal, por la forma de obtener su alimento, es un carnívoro primario, estrictamente zooplanctófago, principalmente de cladóceros de los géneros *Bosmina* y *Ceriodaphnia*, huevos de cladóceros y copépodos *Cyclops*. También se observó que la preferencia de su alimentación cambia por dos razones: debido a su ontogenia, ya que los organismos pequeños no se alimentan de lo mismo que los adultos; y, cambios de las condiciones ambientales y fisicoquímicas registradas en el lago, que llevan a diferencias en la selectividad alimenticia en función de la época del año.

En cuanto a estudios enfocados en la biología de *C. jordani*, se encuentra el realizado por Cházaro (1989) en la presa Trinidad Fabela, estado de México, quien reportó una talla máxima de 12.7 cm, la época de reproducción en primavera, fecundidad promedio de 658 huevos y alimentación zooplanctófaga. El autor observó también que el evento reproductivo está relacionado con las condiciones ambientales y que el patrón alimenticio cambia con la estación del año.

Entre los trabajos realizados en poblaciones naturales se encuentra el de Olvera (2004), quien llevó a cabo un estudio sobre *C. jordani* en el sistema lacustre de Xochimilco, realizando muestreos mensualmente de abril de 1995 a marzo de 1996, de la biota y los parámetros fisicoquímicos, observando que la temperatura muestra diferencia significativa entre los estratos superficie y fondo, y concluyendo que este es el principal factor que desencadena la maduración del charal, ya que influye en su proceso reproductivo al afectar el desarrollo de las gónadas.

Navarrete y colaboradores, en 2010, analizaron la situación de *C. jordani* en el embalse La Goleta, estado de México, así como también las variaciones poblacionales desde 1998, comparando la abundancia entre 1998, 2007 y 2008,

encontrando que la mayor abundancia se registró en 1998, y la menor en 2008. Los autores concluyen que la disminución observada en la abundancia se debe a la presencia de especies exóticas como la carpa dorada y la carpa común, ya que *C. jordani* compite con éstas por espacio y recursos. Además, la especie carnívora (*Micropterus salmoides*), el cestodo (*Bothriocephalus acheilognathi*) y el vertido de aguas negras, también afectaron la abundancia del charal. Por último, Navarrete y Contreras, en 2010, evaluaron el crecimiento y mortalidad de *C. jordani*, en el estanque de cultivo Guillermo Lagunes, estado de México, encontrando una longitud máxima de 6.4 cm, una tasa de crecimiento de  $-0.5861$  y mortalidad de 86%. Es importante mencionar que en este estanque se cultivan, además de *C. jordani*, las carpas *Cyprinus carpio* y *Ctenopharyngodon idella*.

Respecto a los aspectos reproductivos de *C. jordani*, Hernández en 1993, en el embalse Macua, estado de México, encontró que la época de reproducción de estos organismos es de febrero a septiembre, con una mayor intensidad entre abril y agosto. El autor reporta también una mínima talla de reproducción de 28.45 mm para hembras y 30 mm para machos y que la proporción sexual varía dependiendo de la época, así en primavera y verano hay más machos que hembras, y en otoño e invierno hay un mayor número de hembras. Por su parte, en 2007, Ibáñez y colaboradores, analizaron algunos aspectos de la biología reproductiva de una población de *C. jordani* en el Lago de Metztitlán, Hidalgo, donde encontraron una máxima longitud estándar de 58 mm y 43 mm como talla de la primera madurez sexual. Así como también una proporción sexual favorable a las hembras (60% hembras), excepto en enero, donde éstas sólo representaban el 24% de la población. Olvera y colaboradores, en 2009, analizaron aspectos reproductivos de *C. jordani* en el lago de Xochimilco, encontrando una proporción de machos significativamente más baja que la de las hembras, (1.5:1) respectivamente. Las hembras mostraron tallas mayores a las de los machos, y la primera madurez sexual fue de 4.8 cm de longitud patrón para hembras y de 5.5 cm para machos. También se llegó a la conclusión de que el desove se realiza



predominantemente de enero a mayo y se estimó una fecundidad media de 324 huevos por hembra.

Como se mencionó anteriormente, no sólo se han realizado estudios en las poblaciones naturales de *C. jordani*, sino que, dada su importancia y las distintas presiones a las cuales está expuesta la especie, se ha intentado, por distintos medios, encontrar la forma de cultivarla en cautiverio.

Los intentos por encontrar la forma de reproducir y mantener a *C. jordani* en cautiverio no son recientes. Desde 1980, Hernández y Moncayo, realizaron estudios en los cuales intentaron determinar las condiciones fisicoquímicas necesarias para el mantenimiento de la especie en acuarios, así como también el tipo de alimento que resultara en un máximo crecimiento con gastos mínimos, y las condiciones óptimas para su reproducción exitosa. Miranda, en 2002, llevó a cabo, con organismos colectados en el lago de Xochimilco, un estudio de *C. jordani* en peceras con alimento artificial y en estanques con alimento vivo, reportando una alta mortalidad en peceras, 75-90% y la ausencia de reproducción, mientras que en los estanques, la mortandad reportada fue de 33% y la reproducción fue exitosa, siendo de 87% la mortalidad de los alevines obtenidos y de 55% en juveniles. Ariza en 2008, evaluó el efecto de cuatro alimentos (3 vivos y 1 balanceado) para el crecimiento en juveniles de *C. jordani* en condiciones controladas, evaluando el crecimiento, factor de condición y supervivencia, obteniendo una mayor supervivencia con los alimentos vivos, el factor de condición fue alométrico positivo (los organismos son muy pesados respecto a la longitud alcanzada) en el caso de los alimentados con alimento vivo, y alométrico negativo (los organismos son poco pesados respecto a la longitud alcanzada) para el balanceado. Respecto al crecimiento, el alimento balanceado tuvo uno de los mejores rendimientos, superado sólo por uno de los alimentos vivos. El mismo año, Jiménez y Nava evaluaron el efecto de tres diferentes dietas sobre el crecimiento de juveniles de *C. jordani*, así como también, su aceptación de dos alimentos nuevos: *Artemia sp.* y un alimento peletizado, como una estrategia de

reducir los costos de alimentación de la especie en cautiverio. El resultado de este estudio fue que el alimento peletizado provoca mayores tasas de asimilación, debido a su alto contenido proteico y graso, sin embargo, su aceptación fue menor, por lo que los organismos que consumieron este alimento mostraron un crecimiento menor en comparación con los que consumieron alimento vivo. Por último, observaron que las mayores tallas y pesos correspondieron a organismos alimentados con una mezcla de alimento vivo y peletizado, concluyendo que esto se debe a que el alimento vivo muestra una mayor aceptación por parte de los organismos, mientras que el alimento peletizado, puede ser considerado como un suplemento alimenticio. Sánchez (2008), por su parte, evaluó el potencial reproductivo de *C. jordani* en cautiverio, mediante el análisis del líquido seminal, con la finalidad de otorgar las bases para su cultivo en cautiverio, encontrando que los tiempos de motilidad espermática son extensos en los meses de mayo a julio, elevando el poder fecundativo de la especie en este periodo, meses en los cuales también se observó, mediante valores de motilidad, volumen, peso de la muestra y número de espermatozoides, una mayor calidad del líquido seminal. Este periodo coincidió con el pico reproductivo, aunque la reproducción se alargó hasta noviembre. Con la misma finalidad, en 2009, Gonzáles llevo a cabo un estudio ontogénico en embriones de vida libre y alevines en cautiverio. En éste, pudo describir la organogénesis, realizando análisis morfológicos y morfométricos de diferentes estructuras, encontrando además, que hay una desaceleración del crecimiento el tercer día después de la eclosión, el cual coincide con la apertura de la boca, el inicio de la alimentación exógena y el consumo del saco vitelino, así como también, que tanto la eclosión como el inicio de la alimentación exógena son periodos críticos en la alimentación larval de la especie, por lo cual hay una alta tasa de mortalidad.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

*Chiostoma jordani* es un organismo de gran importancia, tanto ecológica como económica. Económicamente, es una especie importante debido a que desde

tiempos prehispánicos ha sido aceptado como parte de la dieta de los mexicanos. En cuanto a la importancia ecológica, esta se debe principalmente a que es una especie endémica de nuestro país. Como se sabe, México es un país con alto grado de endemismo, el cual debe ser preservado, ya que si bien, la especie endémica depende de su entorno para poder sobrevivir, este también necesita de la especie para poder mantenerse. Y aunque se desconocen las consecuencias que traería la desaparición de *C. jordani*, se sabe que, al ser un organismo depredador, una consecuencia inmediata sería el crecimiento de las poblaciones de los géneros de cladóceros y copépodos de los cuales se alimenta. Esto a su vez traería consigo otras consecuencias, que podrían alterar de forma negativa el cuerpo de agua.

A pesar de la importancia que tiene esta especie, durante las últimas décadas estos charales han estado sometidos a distintas presiones, tanto ecológicas como antropogénicas, las cuales ocasionaron una notable disminución en sus poblaciones, poniendo en peligro su permanencia en su hábitat natural. Particularmente, en el Lago de Xochimilco, *C. jordani* fue reportada, en 2004, como una especie con posibilidades de desaparecer. Por ello, es necesario realizar estudios sobre la biología y ecología de la especie, cuyos datos generados puedan ser aprovechados para evitar su desaparición.

Evaluar aspectos de las poblaciones naturales, tales como el crecimiento, metabolismo de rutina y la asimilación de energía por parte de los organismos permite explicar la condición o estado fisiológico de los organismos dependiendo de la influencia de las variables ambientales. Realizar estudios de este tipo permite aprovechar, entonces, los conocimientos generados para definir estrategias de conservación en su medio natural, así como también su posible manejo en cautiverio.

Es importante mencionar que no se encontró literatura sobre aspectos bioenergéticos de *C. jordani*, por lo cual este trabajo es una contribución nueva y de gran importancia para el futuro de esta especie.

## 5. HIPÓTESIS

Dado que variables como temperatura, pH, niveles de oxígeno disuelto, turbidez, talla, peso, edad, sexo, alimentación, etcétera, influyen en la asimilación del alimento y su distribución hacia la cobertura de los diferentes costos metabólicos en el organismo (Duncan y Klekowski, 1975), se espera observar diferencias en cuanto a pérdidas de energía por respiración entre las diferentes épocas del año (abril y noviembre), siendo más elevada en abril. De la misma forma, se piensa que los organismos de febrero-mayo invertirán una mayor cantidad de energía en crecimiento respecto a los organismos del periodo agosto-noviembre.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Determinar, mediante los elementos (P y R) de la ecuación general del balance de energía:  $C=P+R+F+U$  (Grodzinski, 1975), si existe un efecto estacional en la eficiencia de asimilación de energía, en una población del charal *Chirostoma jordani*, en el canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México.

### 6.2 Objetivos específicos

- Determinar si existe diferencia en la pérdida de energía por respiración (R) en organismos de *C. jordani* en meses de dos épocas contrastantes del año (abril y noviembre).
- Obtener la tasa de crecimiento de los organismos en dos épocas del año (agosto-noviembre y febrero-mayo).
- Establecer si existe relación de estos procesos con las variables de calidad del agua.

## 7. MATERIAL Y MÉTODO

### 7.1 Área de estudio

El lago de Xochimilco se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de México, en las coordenadas geográficas 19° 02'37" de latitud norte y 99° 15' 37" de longitud oeste, a una altitud de 2246 msnm (Ramos *et al.*, 2011; Santacruz, 2011). El lago tiene una profundidad de cinco metros, en promedio, ya que esta puede variar dependiendo la época del año y la zona dónde se tome la medida de la misma. Este lago está compuesto por diversos canales (alrededor de 180 km), entre los más importantes se encuentran Cuemanco, Apatlaco, Japón, del Bordo y el Canal Nacional (Aranda, 2004).

El canal de Cuemanco (Figura 2) es el sitio en el cual se colectaron los organismos para el presente trabajo. El clima de esta región es templado con lluvias en verano (García, 2003) y sin estación invernal bien definida. La temperatura varía de los 7.5°C como mínima en los meses de diciembre y enero, a los 23.2°C como máxima, de abril a junio (García, 2014). La precipitación media anual es de 776 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2015), con época de lluvias de mayo a octubre. Los vientos dominantes son del sur al este, alcanzando su mayor intensidad en los meses de febrero, marzo y abril (Castillo, 2013).

En este canal se reciben aguas negras y descargas de aguas residuales del pueblo de Xochimilco. Por el norte se reciben aguas tratadas de la Ciudad de México de la planta tratadora Cerro de la Estrella, y de acuerdo con Aranda (2004), a lo largo del canal hay una serie de chinampas deterioradas por la acumulación de sales. Otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos superficiales originados por los ríos Santiago, San Lucas y San Gregorio (INEGI, 2008).

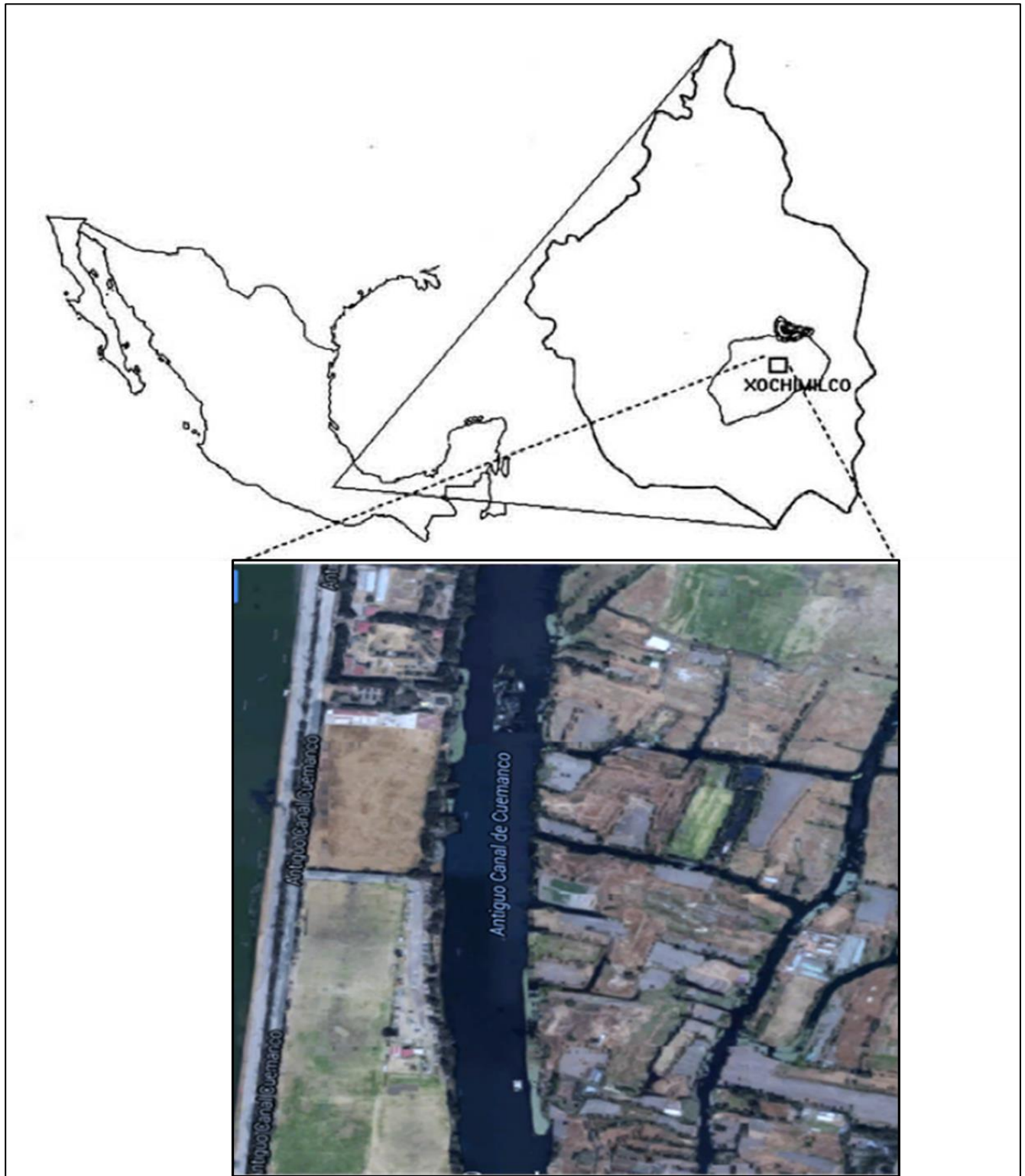


Figura 2: Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México, 2016. Modificada de Olvera (2004).

En la zona lacustre de Xochimilco se ha reportado una gran diversidad de flora y fauna, tanto terrestre como acuática.

La flora terrestre está representada por los árboles de ahuejotes (*Salix bonplandiana* y *Salix humboltiana*) (Lot y Quiroz, 1979), el zacate salado (*Distichlis spicata*) (Miranda, 2015), la lengua de vaca (*Rumex sp.*), la ortiga (*Urtica dioica*), zacate rastrero o pata de gallo (*Cynodon dactylon*), carrizo (*Gynerium sagittatum*), tapete o colchoncillo (*Pennisetum clandestinum*), zacahuixtle (*Eragrostis obtusiflora*), pasto remolino (*Sporobolus pyramidatus*), cenicienta (*Sesuvium portulacastrum*) y saladillo (*Suaeda mexicana*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004; Flores, 2009), y especies introducidas como el sauce (*Salix babylonica*), el trueno (*Ligustrum lucidum*), araucaria (*Araucaria heterophylla*), jacaranda (*Jacaranda minosaefolia*), casuarina (*Cassuarina equisetifolia*), eucalipto (*Eucaliptus spp.*) y fresno (*Fraxinus uhdei*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

La vegetación acuática y subacuática está compuesta por el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), la lentejilla (*Lemna minúscula*), el chilacastle (*Wolffia columbiana*), tule (*Typha dominguensis* y *Typha latifolia*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), el helecho de agua (*Azolla sp.*) y el ombligo de venus (*Hydrocotyle ranunculoides*) (Flores, 2009; García, 2010), y dependiendo de la época del año, el berro (*Berula erecta*), atlanchán (*Cuphea angustifolia*), hierba de cáncer (*Lythrum vulneraria*), chichicastle (*Lemna gibba*), tepalacate (*Hydromistria leavigata*) y ninfa (*Nymphaea mexicana*), ésta última en peligro de extinción (Secretaría del Medio Ambiente, 2004)

Como fauna acuática representativa se encuentran el acocil o camarón de río (*Cambarellus (Cambarellus) montezumae*), la rana de Moctezuma (*Rana montezumae*), la rana de Tlálóc (*Rana tlaloci*), el ajolote (*Ambystoma mexicanum*), el charal (*Chirostoma jordani*), el mexcalpique (*Girardinichthys viviparus*) y especies introducidas como la carpa común (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis spp.*) (García, 2010; García, 2014).

La fauna terrestre está compuesta por el camaleón de montaña (*Phrynosoma orbiculare*), la culebra listonada de montaña (*Thamnophis scaliger*), esta última es endémica y se encuentra amenazada, otras especies sujetas a protección especial como la cascabel cola negra (*Crotalus molossus*), la cascabel (*Crotalus polystictus*), la garza morena (*Ardea herodias*), el gavilán pecho rojo (*Accipiter striatus*) y el rascón limícola (*Rallus limicola*), por último, los mamíferos representativos son la musaraña (*Criptotis parva*), el ratón meteorito (*Microtus mexicanus*), la tuza (*Cratogeomys merriami*), el murciélago (*Mormoops megalophyla*), el tlacuache (*Didelphis virginiana*) y el cacomixtle (*Bassariscus astutus*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

En cuanto a aves, se encuentran especies locales y migratorias, entre las cuales destacan el pato mexicano (*Anas diazi*), la garcita blanca (*Egretta thula*), el Martín pescador (*Ceryle alcyon*), la aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*) y el halcón (*Falco sparverius*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

## **7.2 Trabajo de campo**

### **7.2.1 Colecta de organismos**

El presente trabajo se realizó en el Canal de Cuemanco, Xochimilco. Para ello se llevaron a cabo muestreos mensuales para las épocas de agosto a noviembre de 2014, y de febrero a mayo de 2015. Los muestreos se realizaron a bordo de una trajinera con motor, posicionada al centro del canal, alrededor de las 12:00-13:00 horas.

Para capturar los organismos se utilizó una red de cuchara rectangular de 1.2 X 0.8 m, de 2 mm de luz de malla, sumergida a una profundidad aproximada de 0.5–1 m, mientras la trajinera avanzaba a una velocidad aproximada de 10-15 Km/h, durante 1 minuto.



Los organismos capturados fueron colocados en cubetas con agua del canal y posteriormente trasladados al laboratorio del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC), donde fueron eutanizados por shock hipotérmico a  $-20^{\circ}\text{C}$  por 30 minutos, y posteriormente fijados en formol al 10%, excepto los organismos capturados en noviembre y abril, ya que con éstos se realizó un experimento de respirometría en el laboratorio del CIBAC. Una vez fijados, los organismos fueron trasladados al laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática de la Facultad de Ciencias, UNAM, para supositor biometría y análisis diversos.

### **7.2.2 Caracterización del hábitat**

En dos puntos del sitio de colecta, frente a las instalaciones del CIBAC y cerca del Real Club España (figura 3), se tomaron mediciones *in situ*, en superficie y fondo, de temperatura ( $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ), pH, sólidos totales ( $\pm 0.05$  ppt: partes por trillón) y conductividad ( $\pm 0.05$  mS) con un multianalizador HANNA HI98129, oxígeno disuelto ( $\pm 0.05$  mg  $\text{O}_2/\text{L}$ ) con un oxímetro (YSI 55), y transparencia y profundidad con un disco de Secchi y flexómetro, respectivamente. En los mismos puntos se tomaron también, muestras de agua de superficie y fondo en frascos de plástico, las cuales fueron debidamente etiquetadas con la fecha, el lugar y el estrato. Posteriormente, todas las muestras fueron trasladadas en hielera al laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática de la Facultad de Ciencias, UNAM, para posteriores análisis químicos.



Figura 3: Canal de Cuemanco, Xochimilco, Ciudad de México. 2016. Los triángulos indican los límites del área de colecta, y los sitios donde fueron tomadas las muestras de agua y se midieron los parámetros fisicoquímicos *in situ*. (Google Maps, 2016).

### 7.3 Trabajo de laboratorio

#### 7.3.1 Medición de parámetros fisicoquímicos

En el laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática de la Facultad de Ciencias, UNAM, se llevó a cabo el análisis de las muestras de agua obtenidas en el área de estudio. Para cada una de éstas se obtuvo la concentración de  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , y  $\text{SiO}_3$  con un equipo HACH DR/870 ( $\pm 0.005 \text{mg/L}$ ).

### 7.3.2 Dinámica de la población de *C. jordani*

En el Laboratorio de Acuicultura y Producción Acuática de la Facultad de Ciencias, UNAM, se realizaron biometrías a todos los organismos capturados, obteniendo para cada uno de estos: longitud total (LT: de la mandíbula inferior al final de la aleta caudal), longitud patrón (LP: de la mandíbula inferior al inicio de la aleta caudal), ancho máximo y altura máxima con un vernier digital (mm), peso húmedo (PH) en una balanza digital ( $\pm 0.01$  g) y sexo. El sexo fue determinado mediante la observación directa de las gónadas.

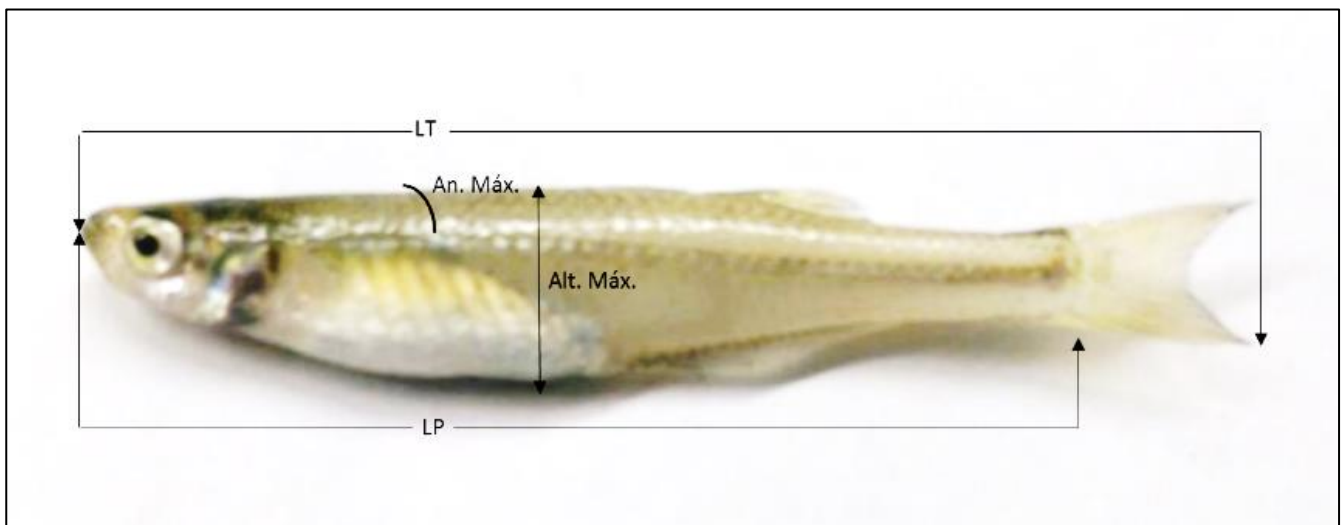


Figura 4. Medidas obtenidas en ejemplares de *C. jordani*. LT-longitud total, LP- longitud patrón, Alt. Máx.- altura máxima y An. Máx- Ancho máximo. (Ejemplar de *C. jordani* obtenido en el canal de Cuemanco, Xochimilco).

#### 7.3.2.1 Tasa de crecimiento

La tasa de crecimiento se obtuvo a partir de las distribuciones de longitud total de los diversos muestreos, tomando en cuenta el valor promedio de la distribución de talla mensual en meses consecutivos, que tiene como fundamento el análisis de progresión modal de distintos cohortes en la población, método de Bhattacharya (1967). Se calcularon los  $\Delta LT/\text{mes}$  para comparación, donde  $\Delta LT$  es la diferencia en longitud total promedio.

### 7.3.2.2 Relaciones alométricas

Se calculó la relación potencial entre el peso húmedo y la longitud total ( $PH = K * LT^\alpha$ ), donde PH es el peso húmedo, K es la ordenada al origen, LT es la longitud total del organismo y  $\alpha$  es una constante de crecimiento potencial, cuyo valor también indica si el tipo de crecimiento es isométrico, alométrico positivo o alométrico negativo (Weatherley y Gil, 1987). También se calculó la relación lineal entre el peso seco y el peso húmedo ( $PS = \beta_0 + \beta_1 * PH$ ). Ambas se calcularon con el programa SPSS v. 22.

## 7.3.3 Fase experimental

### 7.3.3.1 Tasa metabólica y eficiencias energéticas

#### 7.3.3.1.1 Contenido calórico y peso seco

Se tomaron submuestras de manera aleatoria, de los organismos capturados, separados por mes y por sexo. Una vez etiquetados se les realizaron las respectivas biometrías, obteniendo longitud total, longitud patrón y peso húmedo. Posteriormente se pusieron a secar en una estufa a 80°C hasta obtener peso constante. Una vez obtenido el peso seco, se procedió a pulverizarlos en un mortero, y de la muestra molida se tomaron 100 mg de cada mes para fabricar los pellets, los cuales también se pusieron a secar en la estufa hasta peso constante.

El contenido calórico se obtuvo mediante calorimetría directa, colocando los pellets, de forma individual, en una bomba calorimétrica Parr, la cual fue calibrada previamente con ácido benzoico grado calorífico.

#### 7.3.3.1.2 Nitrógeno total

Para la determinación del nitrógeno total (N-Total, mg/L) se emplearon 5 mg de cada muestra molida, por mes y sexo. Posteriormente, con un equipo HACH DR/870 ( $\pm 0.005$  mg/L), se determinó la concentración de N-Total en el tejido de los organismos.

#### **7.3.3.2 Determinación de los elementos (R) y (P) de la ecuación general del balance de energía: $C=P+R+F+U$**

##### 7.3.3.2.1 Metabolismo de rutina ( $QO_2$ ) y pérdida de energía por respiración (R)

El consumo de oxígeno de los peces se midió empleando un respirómetro cerrado, en los meses de noviembre de 2014, y abril de 2015. Para cada experimento se categorizó a los organismos en tres clases talla: chico, mediano y grande. La categorización en clases talla fue aproximada, considerando la longitud de los organismos colectados. Posteriormente fueron colocados de manera aleatoria en cámaras respirométricas individuales con capacidad de 1000 mL, llenas con agua proveniente del humedal artificial del CIBAC (Ramírez *et al.* 2009). Las cámaras fueron colocadas en contenedores de plástico con capacidad de 40 L a modo de baño maría, con la finalidad de evitar cambios drásticos de temperatura, la cual fue de  $18.5^{\circ}\text{C}$  (aproximadamente) en la respirometría de noviembre y  $22.31 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$  en la de abril, esto debido a que la temperatura influye de manera significativa en el metabolismo de los organismos. La temperatura en la respirometría de noviembre no fue registrada, pero se puede tener una aproximación con la temperatura tomada en el canal de Cuemanco en dicho mes. El agua de los contenedores se mantuvo en movimiento constante (empleando una cabeza de poder de 14W), para evitar una posible estratificación. Antes de

realizar los experimentos, los organismos fueron aclimatados a la cámara, 45 - 60 minutos previo a los ensayos.

Para obtener la tasa metabólica en base húmeda ( $VO_2$ ): mg  $O_2$ /gPH/h y su posterior transformación a  $QO_2$  (en base seca), se realizó una medición inicial y una final de la concentración de oxígeno en cada cámara con un oxímetro YSI 55 ( $\pm 0.005$  mg  $O_2$  /L), con un tiempo entre la medición inicial y final, de 90 minutos. Durante este lapso la cámara de respirometría se mantuvo cerrada. El experimento de noviembre constó de dos lapsos de medición, manejados como tiempo 1 y tiempo 2, siendo reoxigenada el agua de las cámaras después del primer tiempo, para medir el oxígeno en el segundo lapso; el consumo de oxígeno se obtuvo por diferencia entre la concentración inicial y final de  $O_2$  de cada cámara, en cada tiempo de medición. Por su parte, en el experimento de abril sólo se realizó una medición.

A partir de la distribución de tallas se determinó un organismo tipo para cada mes y se obtuvo el peso seco de los mismos a partir de la relación: peso seco - peso húmedo, posteriormente mediante la relación  $QO_2$  - peso seco se calculó el  $QO_2$ /día del organismo promedio de la muestra analizada. Finalmente, los valores obtenidos fueron convertidos en equivalentes de gastos de energía, mediante el empleo del coeficiente oxalórico ( $Q_{ox} = 3.32$  cal/mg  $O_2$ , Bradfield y Solomon, 1972; Latournerié, 2007), dando como resultado la fracción de energía empleada en la respiración.

#### 7.3.3.2.2 Producción o crecimiento (P)

Se obtuvo a partir de la distribución de pesos de los organismos colectados en cada muestreo, tomando como referencia el peso húmedo. Con esta variable se calculó el incremento de peso húmedo promedio de los organismos para ambas épocas y este valor fue convertido a cal/gPS/día, mediante la ecuación obtenida

en la relación peso seco -peso húmedo y multiplicando este valor por el contenido calórico del tejido.

### **7.3.3.3 Asimilación y eficiencia de asimilación de energía**

La asimilación se obtuvo mediante la suma de los valores obtenidos para los elementos P y R de la ecuación general del balance de energía ( $A=R+P$ ). Por su parte, la eficiencia de asimilación se calculó sumando el valor de R y P y posteriormente dividiendo el valor entre el contenido calórico total, método tomado de Brett y Groves (1979).

## **7.4 Análisis estadístico**

El análisis de la dinámica poblacional se contrastó por medio de ANOVA unifactorial con prueba "post hoc" de Tukey ( $p=0.05$ ), siendo los meses el factor de contraste. Se realizaron distribuciones de talla de LT y PH por mes de muestreo y la estadística descriptiva correspondiente. Se calcularon relaciones lineales entre el PS y PH y potenciales para las relaciones PH – LT y ( $VO_2$ ,  $QO_2$ ) – Peso corporal, la significancia de la relación se examinó con un  $p=0.05$ .

Se empleó un análisis multivariante en su modalidad discriminante para contrastar las posibles diferencias en calidad de agua entre meses de muestreo y estratos, así como en la valoración conjunta del N-Total y contenido de energía del tejido-meses y su posible correlación con los estadios del ciclo vital de la especie. Para los diversos análisis se emplearon los paquetes estadísticos SPSS, v. 22 y JMP, 10.0.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Caracterización del hábitat natural

A continuación se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua en el canal de Cuemanco, Xochimilco, para el periodo agosto (2014)-mayo (2015), para los estratos superficie y fondo.

La temperatura mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) tanto entre meses, como entre estratos. Los meses de valores promedio más elevados fueron agosto ( $23.00 \pm 0.75$ )°C y septiembre ( $23.5 \pm 0.75$ )°C, mientras que los más fríos fueron noviembre ( $18.50 \pm 0.53$ )°C y febrero ( $18.25 \pm 0.44$ )°C. Los valores promedio para superficie y fondo fueron  $21.66 \pm 0.23$ °C y  $19.89 \pm 0.32$ °C, respectivamente (tabla 1, figura 5).

El pH presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los distintos muestreos, pero no entre estratos. El valor promedio más bajo se registró en agosto ( $7.90 \pm 0.14$ ) y el más alto en noviembre ( $8.66 \pm 0.10$ ) (tabla 1, figura 5).

Al igual que la temperatura, el O<sub>2</sub>, presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre meses y entre estratos. La concentración promedio más alta fue  $12.11 \pm 1.55$  mg/L en septiembre y la más baja  $1.28 \pm 0.34$  mg/L en agosto. Respecto a los estratos superficie y fondo, los valores promedio registrados fueron  $10.75 \pm 0.66$  mg/L y  $5.20 \pm 0.66$  mg/L, respectivamente (tabla 1, figura 5).

Los valores de conductividad variaron significativamente entre meses ( $p < 0.05$ ), pero no entre estratos. El valor promedio más alto fue de  $0.92 \pm 0.08$  mS en noviembre y el más bajo de  $0.29 \pm 0.12$  mS en septiembre (tabla 1, figura 5).



Los sólidos totales (ST) mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre meses, los valores promedio más altos corresponden a noviembre y los más bajos a septiembre,  $0.46 \pm 0.04$  ppt. y  $0.18 \pm 0.06$  ppt., respectivamente (tabla 1, figura 5).

Las concentraciones de amonio ( $\text{NH}_4$ ) no difirieron significativamente entre meses, y aunque hay una mayor concentración en el estrato fondo, la diferencia entre estratos no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ). La concentración promedio mínima se registró en agosto (ausencia total) y la mayor en marzo ( $1.61 \pm 0.53$ ) (tabla 1).

La concentración promedio más alta de nitritos ( $\text{NO}_2$ ) se registró en noviembre ( $1.45 \pm 0.16$  mg/L) y la más baja en marzo ( $0.03 \pm 0.001$  mg/L), mostrando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre meses, al igual que los fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), cuyos valores promedio más altos correspondieron a agosto y los más bajos a mayo,  $29.05 \pm 4.01$  mg/L y  $2.50 \pm 0.0$  mg/L, respectivamente (tabla 1, figura 5).

Los nitratos ( $\text{NO}_3$ ) no variaron significativamente entre meses. La concentración mensual promedio fue de  $37.63 \pm 27.13$  mg/L. El valor promedio mínimo fue  $0.55 \pm 0.35$  en agosto y el máximo  $65.00 \pm 10.01$  en octubre y noviembre. Se observó una concentración ligeramente mayor en la superficie (tabla 1).

Los valores de silicatos ( $\text{SiO}_3$ ) difirieron significativamente entre meses. La mayor concentración promedio se registró en marzo ( $33.55 \pm 5.07$  mg/L) y la menor en mayo ( $0.100 \pm 0.07$  mg/L). La concentración entre superficie y fondo es muy similar (tabla 1, figura 5).

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua del canal de Cuemanco, Xochimilco, durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.

Mes-año	T* (°C)	pH	O <sub>2</sub> * (mg/L)	Cond (mS)	ST (ppt)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	NO <sub>2</sub> (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SiO <sub>3</sub> (mg/L)	
Ags.2014	23.00±0.75 <sup>AB</sup>	7.90±0.14 <sup>B</sup>	1.28±0.34 <sup>B</sup>	0.71±0.12 <sup>AB</sup>	0.35±0.06 <sup>AB</sup>	0.00±0.0 <sup>A</sup>	0.55±0.23 <sup>ABC</sup>	0.55±0.35 <sup>A</sup>	29.05±4.01 <sup>A</sup>	26.65±0.92 <sup>AB</sup>	
Sep.2014	23.5±0.75 <sup>A</sup>	8.43±0.14 <sup>AB</sup>	12.11±1.55 <sup>A</sup>	0.29±0.12 <sup>B</sup>	0.18±0.06 <sup>B</sup>	0.15±0.53 <sup>A</sup>	0.05±0.07 <sup>C</sup>	35.00±14.16 <sup>A</sup>	16.00±0.0 <sup>ABC</sup>	31.65±0.92 <sup>A</sup>	
Oct.2014	20.43±0.53 <sup>ABC</sup>	8.20±0.10 <sup>AB</sup>	8.86±1.10 <sup>A</sup>	0.80±0.08 <sup>AB</sup>	0.39±0.04 <sup>AB</sup>	0.67±0.37 <sup>A</sup>	1.20±0.16 <sup>AB</sup>	65.00±10.01 <sup>A</sup>	20.00±2.83 <sup>AB</sup>	29.27±3.58 <sup>A</sup>	
Nov.2014	18.50±0.53 <sup>C</sup>	8.66±0.10 <sup>A</sup>	6.37±1.10 <sup>AB</sup>	0.92±0.08 <sup>A</sup>	0.46±0.04 <sup>A</sup>	0.60±0.37 <sup>A</sup>	1.45±0.16 <sup>A</sup>	65.00±10.01 <sup>A</sup>	7.00±2.83 <sup>BC</sup>	30.57±3.58 <sup>A</sup>	
Feb.2015	18.25±0.44 <sup>C</sup>	8.40±0.08 <sup>AB</sup>	10.76±0.89 <sup>A</sup>	0.84±0.07 <sup>A</sup>	0.42±0.03 <sup>AB</sup>	1.30±0.31 <sup>A</sup>	0.22±0.13 <sup>C</sup>	20.00±8.17 <sup>A</sup>	3.02±0.54 <sup>C</sup>	27.95±6.93 <sup>A</sup>	
Mar.2015	19.20±0.76 <sup>BC</sup>	8.32±0.14 <sup>AB</sup>	8.15±1.55 <sup>AB</sup>	0.83±0.12 <sup>AB</sup>	0.42±0.06 <sup>AB</sup>	1.61±0.53 <sup>A</sup>	0.03±0.001 <sup>C</sup>	16.05±5.58 <sup>A</sup>	3.33±1.44 <sup>BC</sup>	33.55±5.07 <sup>A</sup>	
Abr.2015	22.25±0.53 <sup>AB</sup>	8.53±0.10 <sup>AB</sup>	8.45±1.10 <sup>A</sup>	0.56±0.08 <sup>AB</sup>	0.28±0.04 <sup>AB</sup>	0.42±0.37 <sup>A</sup>	0.26±0.16 <sup>C</sup>	38.45±10.01 <sup>A</sup>	5.00±2.83 <sup>BC</sup>	28.75±3.58 <sup>A</sup>	
May.2015	21.10±0.76 <sup>ABC</sup>	8.04±0.14 <sup>AB</sup>	7.81±1.55 <sup>AB</sup>	0.76±0.12 <sup>AB</sup>	0.38±0.06 <sup>AB</sup>	1.45±0.53 <sup>A</sup>	0.15±0.05 <sup>BC</sup>	52.50±4.95 <sup>A</sup>	2.50±0.0 <sup>BC</sup>	0.100±0.0 <sup>B</sup>	
Estrato	S	21.66±0.23	8.38±0.06	10.75±0.66	0.75±0.05	0.38±0.02	0.63±0.23	0.49±0.09	39.31±6.05	9.58±1.71	25.41±2.16
	F	19.89±0.32	8.24±0.06	5.20±0.66	0.68±0.05	0.34±0.02	0.91±0.23	0.48±0.09	33.82±6.05	11.68±1.71	26.71±2.16

Datos indican Media ± error estándar. Superíndices A-C, indican diferencia significativa entre meses. \* indica diferencia significativa entre los estratos superficie (S) y fondo (F).

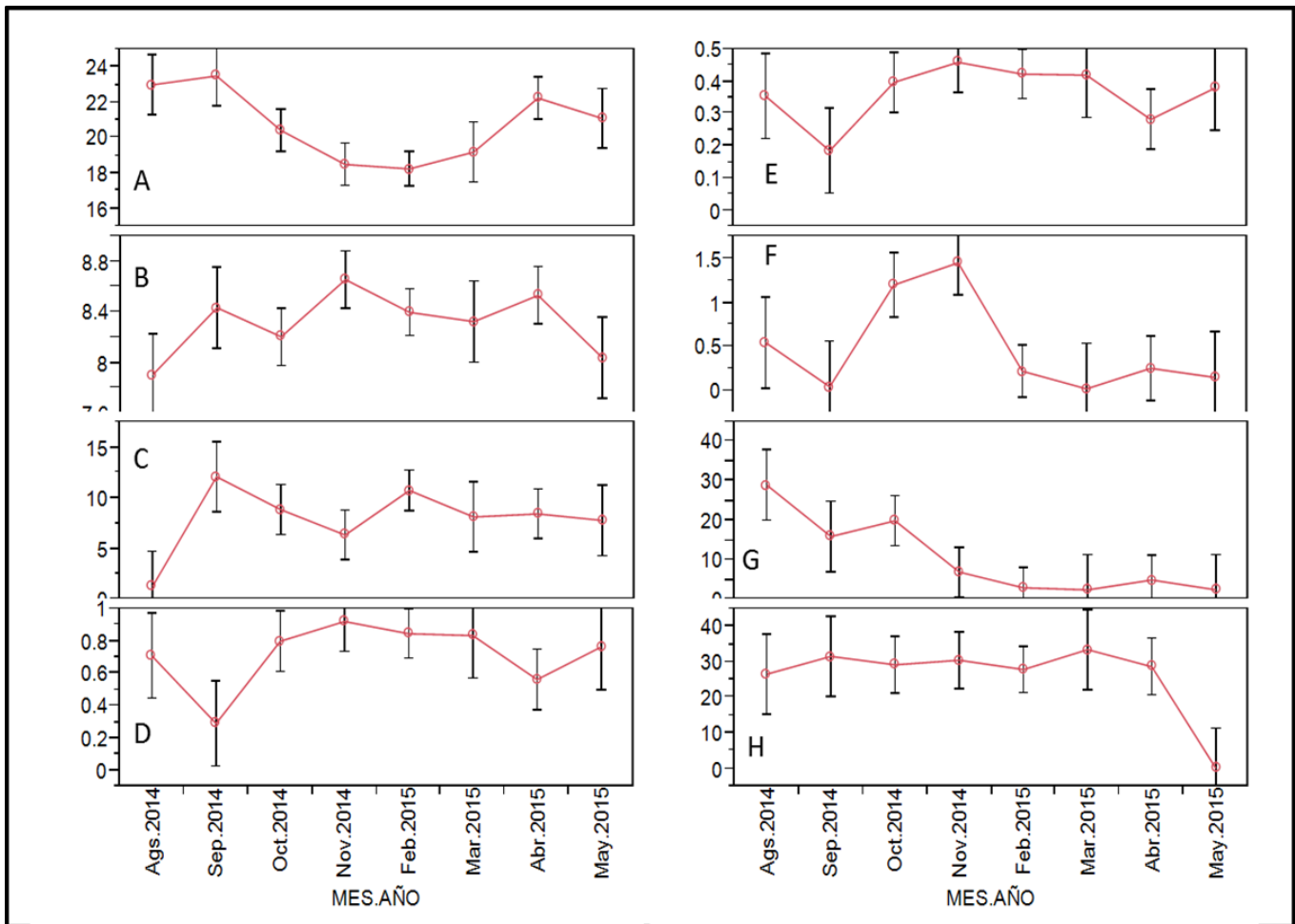


Figura 5. Parámetros fisicoquímicos que mostraron diferencia significativa durante los muestreos realizados. A: temperatura, B: pH, C: oxígeno disuelto, D: conductividad, E: sólidos totales, F: NO<sub>2</sub>, G: PO<sub>4</sub> y H: silicatos. Las gráficas muestran la Media ± DE.

Al realizar un análisis discriminante para mes-año, en el cual se analiza la interacción de las 10 variables consideradas en la evaluación de la calidad del agua (tabla 1), se obtuvo que mayo es el mes en que las condiciones del agua difieren más del resto de los meses considerados en este trabajo, siendo las variables NO<sub>2</sub>, SiO<sub>3</sub>, temperatura, pH, O<sub>2</sub> y conductividad, las de mayor relevancia en la discriminación de la calidad del agua en los distintos meses.

Las condiciones entre febrero y marzo no presentan mucha diferencia entre sí. De agosto a noviembre se observa un cambio gradual de las condiciones (figura 6).

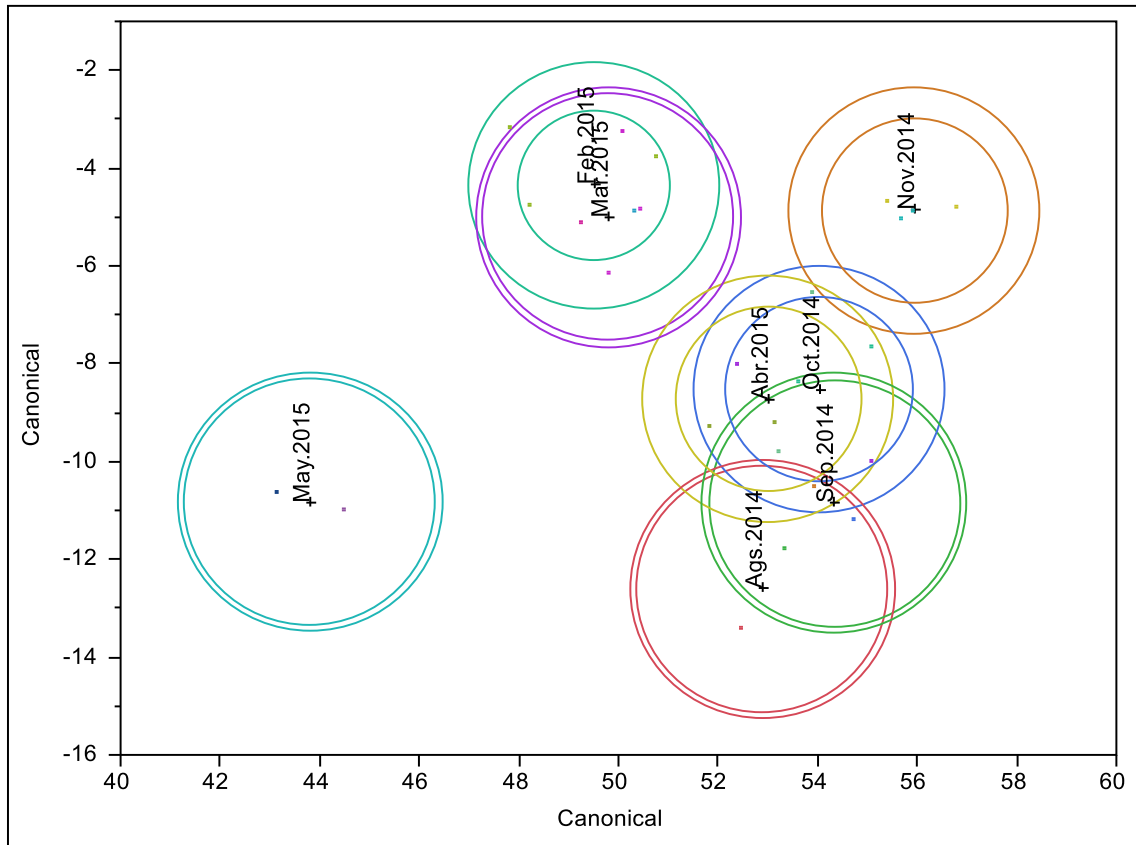


Figura 6. Gráfico de canónicas del análisis discriminante para los distintos muestreos efectuados. Análisis completo incluyendo las 10 variables fisicoquímicas (ver tabla 1). Las variables predictoras fueron:  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SiO}_3$ ,  $\text{T}^\circ\text{C}$ , pH,  $\text{O}_2$  y conductividad ( $p < 0.02$ ).

El análisis discriminante por mes.año-estrato (figura 7) muestra que en septiembre, octubre, noviembre, febrero, marzo y mayo las condiciones son distintas entre los estratos superficie y fondo. En agosto y abril también se muestran las diferencias entre estratos, sin embargo, hay un traslape de elipses, lo cual indica que la diferencia no es significativa. En este análisis las variables predictoras fueron temperatura,  $\text{O}_2$  y  $\text{NO}_2$ .

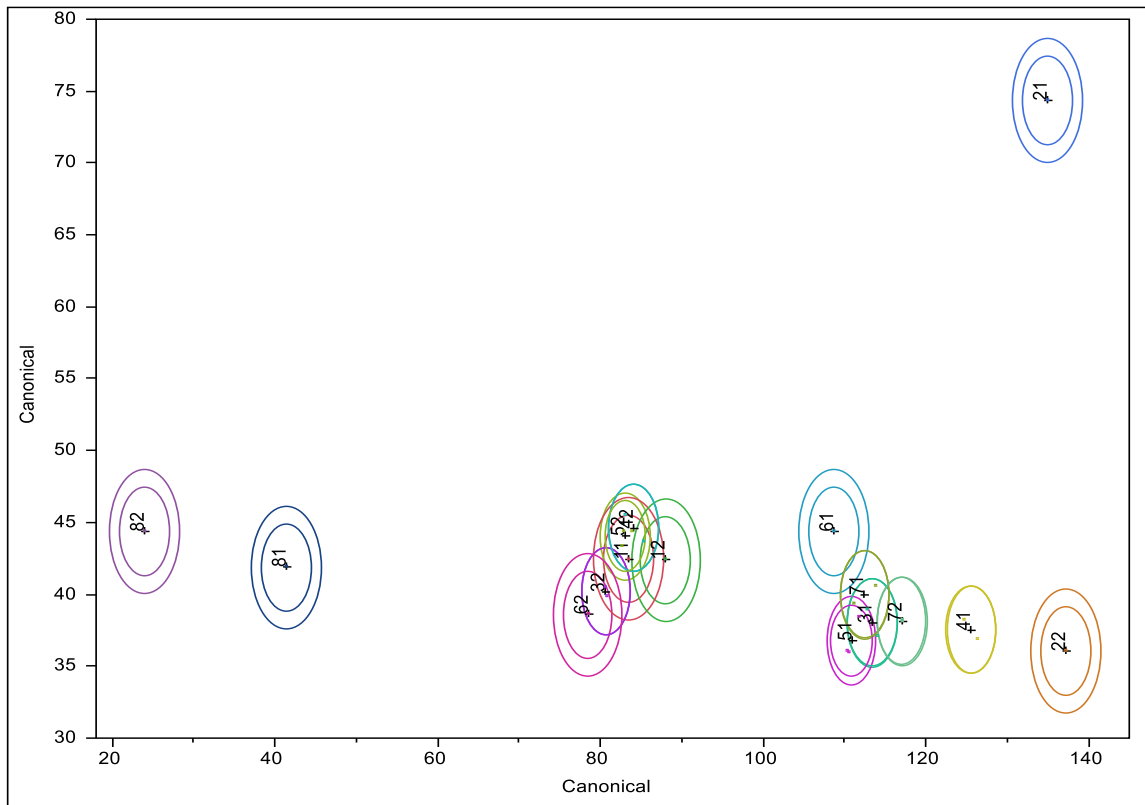


Figura 7. Gráfico de canónicas del análisis discriminante por mes.año-estrato. Análisis completo incluyendo las 10 variables fisicoquímicas (ver tabla 1). El primer dígito de la canónica indica el mes de muestreo: 2014- agosto, septiembre, octubre y noviembre. 2015- febrero, marzo, abril y mayo. El segundo dígito indica el estrato: 1- superficie y 2-fondo. Las variables predictoras fueron: T°C, O<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, (p<0.01).

## 8.2 Aspectos de dinámica poblacional de *C. jordani*

Se colectaron un total de 435 ejemplares de *C. jordani* en el canal de Cuernavaca, Xochimilco. La abundancia de organismos colectados varió entre los distintos muestreos, así, la mayor captura se realizó en abril, con un total de 127 organismos, y la menor en noviembre, con un total de 31 organismos. Es importante mencionar que en el muestreo realizado en octubre no se colectaron organismos, por lo cual éste mes no es considerado en los siguientes apartados.

Para todos los organismos colectados se obtuvieron los indicadores biométricos longitud total (LT), longitud patrón (LP) y peso húmedo (PH).

Tanto la longitud total, como la longitud patrón y el peso húmedo mostraron diferencias significativas ( $p < 0.000$ ) entre los distintos muestreos efectuados, presentándose, en todos, los valores promedio más altos en noviembre y los más bajos en marzo. El valor más alto de longitud total fue de  $41.91 \pm 9.86$  mm y el más bajo  $19.11 \pm 6.42$  mm. Los valores más alto y más bajo de longitud patrón fueron  $35.14 \pm 8.27$  mm y  $16.57 \pm 5.47$  mm, respectivamente. Por último, el peso húmedo más alto fue de  $0.53 \pm 0.28$  g y el más bajo de  $0.07 \pm 0.11$  g (tabla 2, figura 8).

Tabla 2. Indicadores biométricos (LT, LP y PH) de la población de *Chirostoma jordani* del canal de Cuemanco, Xochimilco, durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.

Mes-año	N	LT (mm)	LP (mm)	PH (g)
<b>Ago.2014</b>	82	$37.28 \pm 7.16^{(D)}$	$30.95 \pm 4.99^{(D)}$	$0.37 \pm 0.19^{(C)}$
<b>Sep.2014</b>	32	$38.07 \pm 10.62^{(D)}$	$32.53 \pm 8.86^{(DE)}$	$0.49 \pm 0.32^{(D)}$
<b>Nov.2014</b>	31	$41.91 \pm 9.86^{(D)}$	$35.14 \pm 8.27^{(E)}$	$0.53 \pm 0.28^{(D)}$
<b>Feb.2015</b>	68	$22.89 \pm 11.79^{(AB)}$	$19.41 \pm 9.44^{(AB)}$	$0.18 \pm 0.32^{(AB)}$
<b>Mar.2015</b>	59	$19.11 \pm 6.42^{(A)}$	$16.57 \pm 5.47^{(A)}$	$0.07 \pm 0.11^{(A)}$
<b>Abr.2015</b>	127	$25.41 \pm 6.32^{(BC)}$	$21.84 \pm 5.37^{(BC)}$	$0.14 \pm 0.13^{(AB)}$
<b>May.2015</b>	36	$29.78 \pm 9.47^{(C)}$	$24.49 \pm 9.06^{(C)}$	$0.22 \pm 0.19^{(B)}$

Datos indican Media  $\pm$  DE. Letras distintas en los superíndices A-E indican diferencias significativas entre los muestreos ( $p < 0.05$ ).

Los organismos de mayor talla y peso se presentaron de septiembre a noviembre, mientras que los de menor talla y peso de febrero a mayo (tabla 2, figura 8).

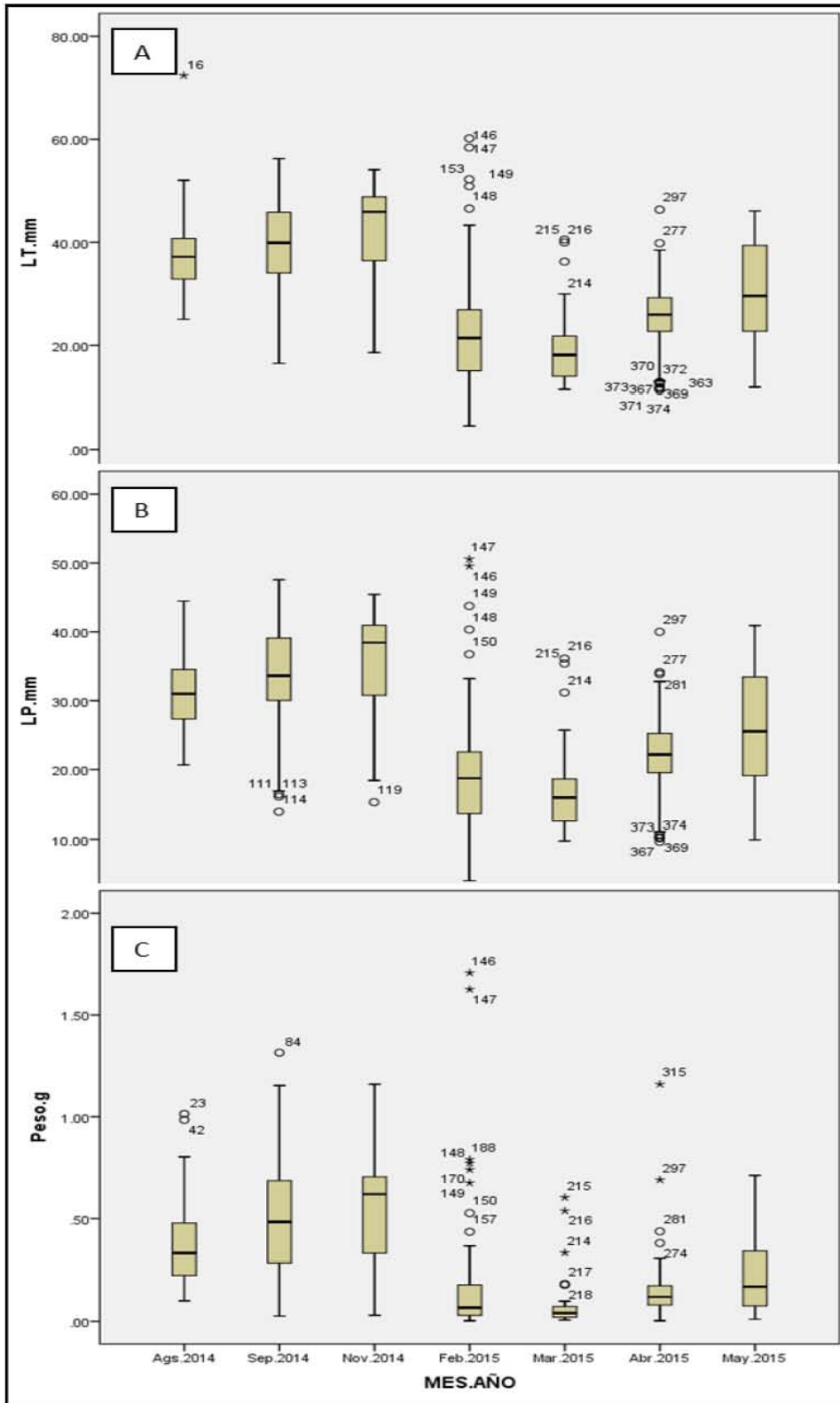


Figura 8. Diagramas de caja de las curvas de crecimiento (LT, LP y PH) de *C. jordani* en el canal de Cuemanco, Xochimilco. Periodo agosto 2014- mayo 2015. Los datos indican media  $\pm$ DE.

### 8.2.1 Tasa de crecimiento

A partir de la distribución de tallas de los organismos entre los meses de colecta, se obtuvo la tasa de crecimiento para los periodos agosto-septiembre y septiembre-noviembre (2014), y de marzo-abril y abril-mayo (2015). De agosto a septiembre hubo un incremento mensual en longitud total de 0.79 mm (figura 9), equivalente a una tasa de crecimiento de 0.02mm/día. La tasa de crecimiento de septiembre a noviembre fue de 0.07 mm/día, de marzo a abril de 0.23 mm/día y de abril a mayo de 0.15 mm/día (figura 9, tabla 3).

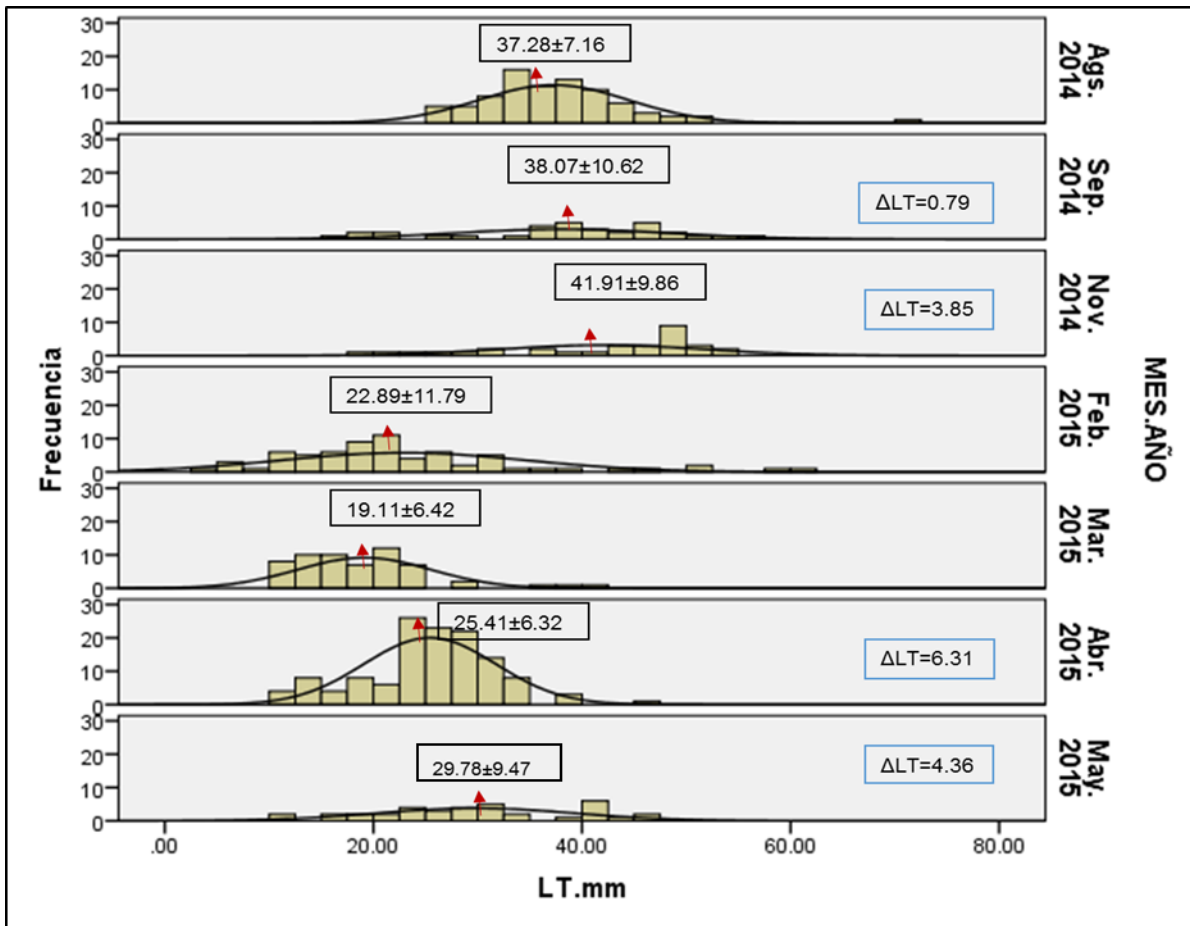


Figura 9. Distribuciones de talla (LT) de *C. jordani* en el canal de Cuemanco, Xochimilco. Se muestra la Media ± DE en rectángulos negros. La flecha indica la media de los datos. Los rectángulos azules muestran el incremento de longitud total en milímetros.



En la tabla 3 se observa que la tasa de crecimiento promedio de marzo a abril es casi cuatro veces la tasa de crecimiento de agosto a noviembre.

Tabla 3. Tasa de crecimiento de *C. jordani* durante el periodo agosto 2014- mayo 2015, en el canal de Cuemanco, Xochimilco.

Mes-año	Tasa de crecimiento (mm/día)	*Tasa de crecimiento promedio (mm/día)
Ago-Sep (2014)	0.02	
Sep-Nov(2014)	0.07	0.04±0.03
Mar-Abr (2015)	0.23	
Abr-May (2015)	0.15	0.19±0.05

\*: Media ± DE

### 8.2.2 Relación PH-LT

El modelo potencial de la relación PH-LT global dio como resultado la ecuación  $PH=1.66 \times 10^{-5} LT^{2.77 \pm 0.045}$ , con una  $R^2=0.895$  (figura 10). El valor del exponente ( $2.77 \pm 0.044$ ) indica que *C. jordani* presenta un crecimiento alométrico negativo.

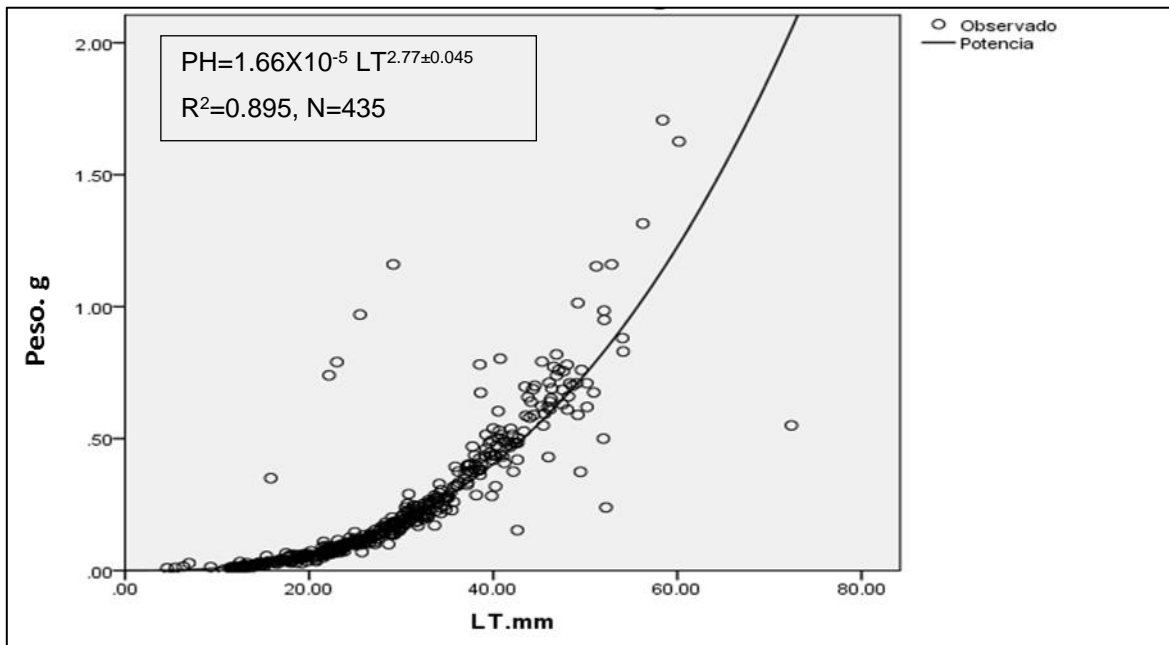


Figura 10. Relación PH- LT de *C. jordani* en el Canal de Cuemanco, Xochimilco. Agosto 2014-mayo 2015.

### 8.3 Tasa metabólica y eficiencias energéticas

#### 8.3.1 Contenido calórico

El contenido calórico no mostró diferencias entre hembras y machos, sin embargo, sí varió entre meses. En los resultados se puede apreciar que los valores promedio más altos de contenido calórico corresponden a los meses con tallas promedio más pequeñas, y viceversa. Así, el valor promedio más alto corresponde al mes de abril ( $4,614.06 \pm 156.06$  Cal/gPS), y el más bajo a noviembre ( $1,398.16 \pm 156.06$  Cal/gPS). Por su parte, mayo tuvo un valor intermedio ( $3,076.79 \pm 156.06$  Cal/gPS) (tabla 4, figura 11).

Tabla 4. Contenido calórico de *C. jordani*, durante el periodo agosto 2014-mayo 2015.

Mes.Año	LT (mm)	Contenido calórico (Cal/g/PS)
Ago.2014	37.28 $\pm$ 7.16	1480.58 $\pm$ 156.06 <sup>D</sup>
Sep.2014	38.07 $\pm$ 10.62	1892.93 $\pm$ 156.06 <sup>D</sup>
Nov.2014	41.91 $\pm$ 9.86	1398.16 $\pm$ 156.06 <sup>D</sup>
Feb.2015	22.89 $\pm$ 11.79	4065.01 $\pm$ 156.06 <sup>AB</sup>
Mar.2015	19.11 $\pm$ 6.42	3637.10 $\pm$ 156.06 <sup>BC</sup>
Abr.2015	25.41 $\pm$ 6.32	4614.06 $\pm$ 156.06 <sup>A</sup>
May.2015	29.78 $\pm$ 9.47	3076.79 $\pm$ 156.06 <sup>C</sup>

Datos indican Media $\pm$  DE. Letras diferentes en los superíndices A-D indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

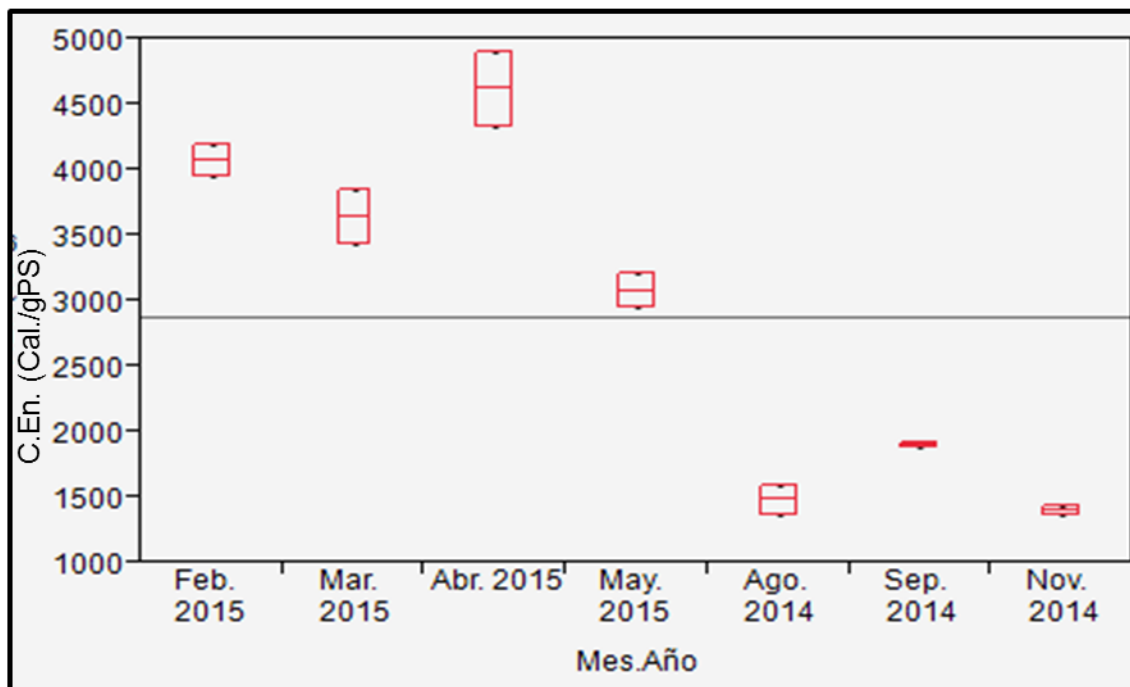


Figura 11. Contenido calórico de *C. jordani*, durante el periodo agosto 2014-mayo 2015. Diagrama de cajas indican Media  $\pm$  DE.

### 8.3.2 Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno total no mostró diferencias entre hembras y machos, aunque se observó una mayor concentración en los machos ( $65.0 \pm 10.36$  mg/L y  $53.43 \pm 10.99$  mg/L, respectivamente). El valor promedio más alto corresponde a mayo ( $74.25$  mg/L) y el menor a agosto ( $42.0$  mg/L) (Tabla 5, figura 12).

El análisis discriminante incluyendo las variables N-Total, contenido calórico y estadio del ciclo de vida muestra dos agrupaciones, una de agosto a noviembre y otra de febrero a mayo. El traslape de elipses entre agosto, septiembre y noviembre indica que el contenido de energía y de nitrógeno total no difiere significativamente en los organismos en estos meses, además, indica también que estas variables no son estadísticamente significativas entre los estadios juveniles 2 y subadultos. Por su parte, la agrupación de febrero a mayo, muestra que hay diferencias significativas entre abril y mayo, entre abril y marzo y entre febrero y mayo. Se muestra también que los reproductores, juveniles 1 y crías, difieren

significativamente respecto a estas variables. En este análisis el contenido calórico fue de mayor significancia (figura 12).

Tabla 5. Valores promedio de N-Total y contenido de energía del tejido de *C. jordani* en los diversos meses de muestreo.

Mes-Año	N	N-Total (mg/L)	C. En. (cal/g)
Ago. 2014	2	42.0	1480.6
Sep. 2014	2	59.0	1892.9
Nov. 2014	2	60.0	1398.2
Feb. 2015	2	56.25	4065.0
Mar. 2015	2	59.25	3637.1
Abr. 2015	2	63.75	4614.1
May. 2015	2	74.25	3076.8

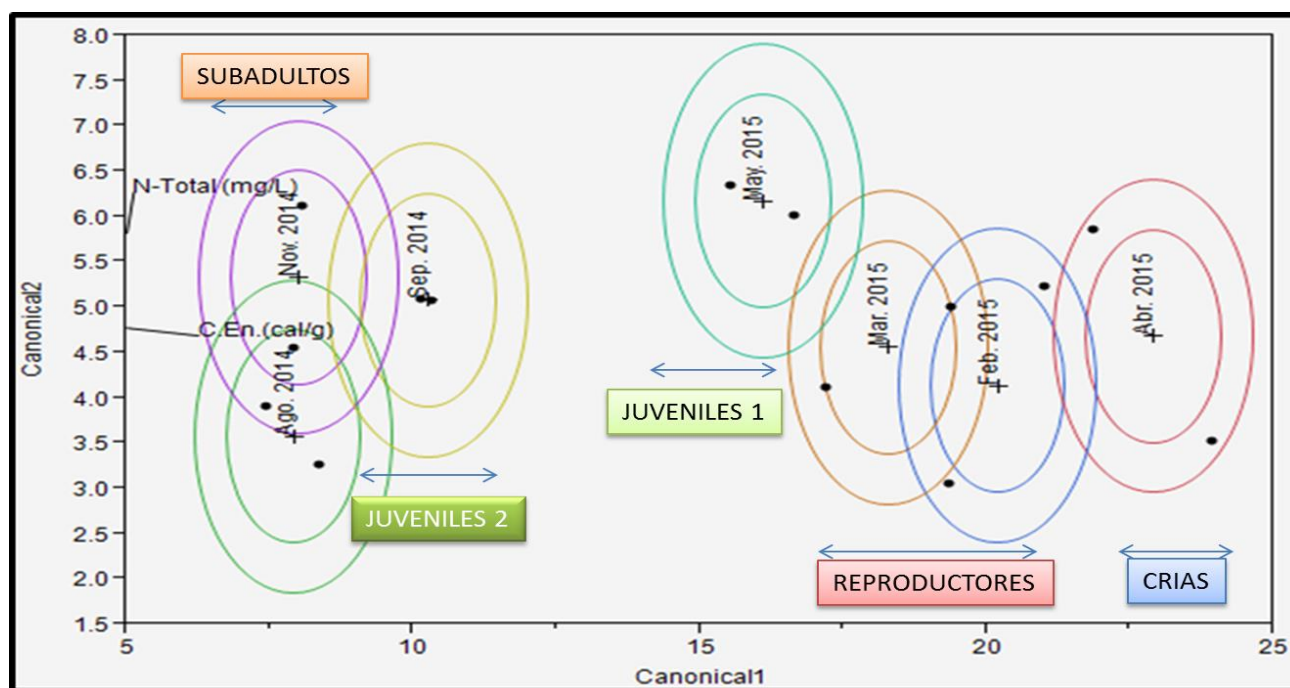


Figura 12. Análisis discriminante (N-Total y contenido calórico) de *C. jordani* de acuerdo al mes y etapa del ciclo vital. (La variable descriptora que resultó altamente significativa:  $p < 0.00000$ , fue el contenido calórico).

### 8.3.3 Metabolismo de rutina (R)

Se obtuvo la cantidad de energía canalizada en la respiración, para los organismos de noviembre-2014 y abril-2015. Para ambos casos se obtuvo la ecuación potencial de la relación  $QO_2$ -PS, la cual para noviembre fue  $QO_2=0.382PS^{-0.814}$  ( $R^2=0.98$ ), y para abril  $QO_2=0.471 PS^{-0.874}$  ( $R^2=0.82$ ). A partir de estas ecuaciones se obtuvo el  $QO_2$ /día para cada mes, y empleando el coeficiente oxalórico, el valor obtenido se expresó en equivalentes de gastos de energía. Para noviembre se empleó en los cálculos un organismo de 0.069 gPS (0.429 gPH) y para abril un organismo de 0.032 gPS (0.227 gPH).

Finalmente se obtuvo que *C. jordani* en el mes de noviembre gastó 18.5 cal/ejem/día en metabolismo de rutina, o 268.3 cal/gPS/día, equivalente al 19.2% de su energía total en dicho mes, mientras que en abril fue de 24.3 cal/ejem/día, o 760.0 cal/gPS/día, equivalente al 16.5% de su energía total (tabla 6). A pesar de que en abril gastan una mayor cantidad de energía en metabolismo, la proporción en relación al contenido energético del tejido es menor, ya que el contenido calórico es casi dos veces mayor que aquel del mes de noviembre. Es importante considerar la diferencia en temperatura y talla entre ambos meses, ya que ambas variables difieren significativamente entre estos, siendo en abril la temperatura cerca de 4°C mayor a la de noviembre, y la talla promedio de abril es aproximadamente 15 mm menos a la de noviembre.

Tabla 6. Metabolismo de rutina de *C. jordani* en nov-2014 y abr-2015.

Mes-año		Energía invertida en respiración (R)	Energía invertida en respiración (%)
<b>Nov-2014</b>	Cal. 0.069gPS/día	18.5	
	Cal. gPS/día	268.3	19.2
<b>Abr-2015</b>	Cal. 0.032gPS/día	24.3	
	Cal. gPS/día	760.0	16.5

### 8.3.4 Producción o crecimiento (P)

Para expresar la ganancia en peso húmedo en términos energéticos se obtuvo la ganancia en peso húmedo (g) por día durante el periodo agosto (2014)- mayo (2015).

De agosto a septiembre se obtuvo una ganancia de 0.003g/día, de septiembre a noviembre de 0.0007g/día, de marzo a abril de 0.0025g/día y de abril a mayo de 0.0027g/día. Mediante de la relación lineal PS-PH de cada periodo se obtuvo la ganancia en peso seco y se multiplicó por el contenido calórico de 1 gPS, obteniendo las calorías destinadas al crecimiento. La ecuación resultante de agosto a septiembre fue  $PS=0.139PH+0.0007$  ( $R^2=0.77$ ), de septiembre a noviembre  $PS=0.164PH-0.003$  ( $R^2=0.98$ ), de marzo a abril  $PS=0.168PH-0.0047$  ( $R^2=0.97$ ) y de abril a mayo  $PS=0.164PH-0.0046$  ( $R^2=0.98$ ). Para el periodo agosto-septiembre se obtuvo que los organismos invierten 704.1 cal/gPS/día, equivalente al 41.7% del contenido calórico total en dicho periodo, de septiembre a noviembre fue de 184.3 cal/gPS/día (11.2%), de marzo a abril fue de 1,708.2 cal/gPS/día (41.4%), y de abril a mayo 1,686.1 cal/gPS/día, que equivale al 43.9% del contenido calórico total (Tabla 7).

En la tabla 7 se aprecia que los organismos de agosto a noviembre, que son los organismos de mayor talla, gastaron menos calorías en crecimiento que los de marzo a mayo.

Tabla 7. Energía invertida en crecimiento (cal/gPS/día) por *C. jordani* en el periodo agosto (2014)- mayo (2015).

Mes-año	Energía invertida en crecimiento (P) (cal/ gPS/día)
<b>Ago-Sep (2014)</b>	704.1
<b>Sep-Nov (2014)</b>	184.3
<b>Mar-Abr (2015)</b>	1,708.2
<b>Abr-May (2015)</b>	1,686.1

### 8.3.5 Asimilación y eficiencia de asimilación de energía

Tanto la asimilación como la eficiencia de asimilación de energía mostraron diferencias entre las dos épocas analizadas, siendo las dos mayores en el mes de abril (tabla 8). La eficiencia de asimilación de energía fue del 53% en abril y 32% en noviembre.

Tabla 8. Asimilación y eficiencia de asimilación de energía de *C. jordani* en noviembre-2014 y abril-2015, en el canal de Cuemanco.

Mes.año	R Cal/gPS/día	P Cal/gPS/día	Asimilación (R+P)	Eficiencia de asimilación (R+P)/C
Nov. 2014	268.3	184.3	452.6	0.32
Abr. 2015	760.0	1,697.2	2,457.2	0.53

C: contenido calórico.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1 Caracterización del hábitat

Los factores ambientales pueden alterar a los organismos que se encuentran en un hábitat particular, tanto anatómica como fisiológicamente, es por ello, que la medición de parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua es un criterio estándar empleado para la caracterización de un ambiente acuático, ya que así se puede observar la variabilidad de determinados factores dentro del cuerpo de agua, los cuales tendrán un efecto en los procesos biológicos dentro del hábitat (Orozco *et al.* 2005). Dentro de los parámetros más importantes de calidad del agua, se encuentran la temperatura y el oxígeno disuelto, esto debido a que ambos factores son de gran importancia en los organismos, el primero porque controla el metabolismo a través de la dinámica molecular y las tasas de reacción química, y el segundo porque las limita. De acuerdo con Fry (1971), ambos factores determinan el movimiento y la distribución de los peces en su hábitat.

La temperatura, es para la mayoría de los organismos acuáticos, el factor más importante, éste, determina la solubilidad del oxígeno en el agua e influye en las reacciones metabólicas, la reproducción, el crecimiento, y por lo tanto, en la supervivencia de las especies (Martínez, 1988), y a nivel poblacional, la temperatura también influye directamente en el tamaño y la distribución de las poblaciones (Albañez y Arreguín, 2009). En el presente trabajo, la temperatura y el oxígeno disuelto mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) tanto entre meses como entre estratos, siendo más elevados en la superficie, que es dónde se distribuyen los charales *C. jordani*. La temperatura registrada varió entre los 18°C y 23°C, siendo más fríos los meses de noviembre y febrero. Pérez (1982), considera que la temperatura óptima para el género *Chirostoma* se ubica entre los 19-24 °C, por lo que se considera que la temperatura registrada en el canal de Cuemanco es la adecuada para el crecimiento y desarrollo de la especie.

En cuanto a oxígeno disuelto, los organismos requieren concentraciones adecuadas para su sobrevivencia y adecuado crecimiento. La concentración de oxígeno disuelto registrado fue de  $1.28 \pm 0.34$  mg/L a  $12.11 \pm 1.55$  mg/L, ambos valores se encuentran fuera de los límites aceptables para soportar una adecuada diversidad de vida acuática (4.1-7.9 mg/L), de acuerdo con Rangel (2009). Con base a lo anterior, en septiembre y febrero (12.11 mg/L y 10.76 mg/L. respectivamente) se registraron niveles de sobresaturación, mientras que en agosto habría concentraciones de oxígeno disuelto muy por debajo del mínimo aceptable. De acuerdo con Yip y Wong (1977), estas condiciones mínimas de oxígeno disuelto pueden llegar a inducir a condiciones de estrés y hasta ser letales en diversas especies acuáticas. A pesar de que en agosto la concentración de oxígeno fue menor a la concentración mínima aceptable, fue uno de los meses con mayor abundancia, sólo superado por abril. Esto puede deberse a que en agosto la población del charal está conformada por organismos adultos, los cuales son menos susceptibles a condiciones estresantes de calidad del agua.

A pesar de ser los factores más importantes para los organismos acuáticos, y a que ambos resultaron ser variables altamente significativos tanto espacial como



temporalmente en los análisis discriminantes, ni la temperatura ni el oxígeno disuelto estuvieron correlacionados con la abundancia de los mismos ( $R^2=0.058$  y  $R^2=0.047$ , respectivamente), en contraste con lo reportado por Contreras Ruíz en 2012, quien obtuvo, para organismos de Xochimilco, que la abundancia estaba correlacionada con la temperatura, el oxígeno disuelto y los fosfatos.

Los valores de pH se encuentran dentro del intervalo 6-9, que, de acuerdo con Martínez (1988), es el intervalo que pueden tolerar los organismos dulceacuícolas. En éste trabajo el valor promedio mínimo de pH fue  $7.90\pm 0.14$  y el máximo  $8.66\pm 0.10$ , y aunque el valor es mayor en la superficie, la diferencia entre estratos no fue significativa para éste parámetro. El pH es un factor muy importante en el desarrollo y supervivencia de las especies acuáticas, si los valores se encuentran por debajo o por encima de los óptimos, los organismos pueden presentar cambios de comportamiento y disminución de crecimiento (FAO, 2011).

Las mayores concentraciones de sólidos totales se registraron en los meses de noviembre, febrero y marzo, cuyos valores de precipitación son de los más bajos para la zona, de acuerdo con el Sistema Meteorológico Nacional. El incremento en la concentración de ST puede deberse a que en los meses de escasa precipitación hay una disminución en la profundidad del canal, sin embargo, no es este el único motivo por el cual la concentración de ST es mayor, sino que ésta también puede deberse a la intensidad del viento y al vertido de aguas residuales. Se observó una correlación directa entre la concentración de ST y la conductividad ( $R^2=0.99$ ), así, a mayor concentración de ST mayor conductividad. El incremento en la concentración de ST, al disminuir la entrada de luz solar al cuerpo de agua, influye en los hábitos alimenticios de los organismos, además, al disminuir la columna de agua, pueden llegar a destruir hábitats de organismos acuáticos, interfiriendo de esta forma, en la distribución, reproducción y supervivencia de los mismos. Se ha reportado también que los primeros estadios de desarrollo de los peces son más sensibles a las altas concentraciones de ST, e incluso puede llegar a disminuir la eclosión de los huevecillos (Kaiser, 1969).

A excepción de agosto, la concentración de  $\text{NO}_3$  se encontró muy por encima de los 10 mg/L, valor sugerido como máximo permisible para las especies acuáticas, por Camargo y colaboradores (2005). Estos autores sugieren que los nitratos en concentraciones superiores a los 10 mg/L son letales para la mayoría de las especies acuáticas. En cuanto a la concentración mínima, se ha sugerido que las especies más sensibles se ven afectadas en concentraciones de 2.3 mg/L (Kincheloe *et al.* 1979). Los efectos de los nitratos sobre los organismos acuáticos pueden ser desde la disminución de la capacidad de los glóbulos rojos en el transporte de oxígeno, hasta graves afecciones en branquias, hígado y riñón (Scott y Crunkilton, 2000; Cheng y Chen, 2002). En el canal de Cuemanco, la concentración registrada se encuentra entre 16 y 65 mg/L, como ya se mencionó, excepto en agosto, cuya concentración fue  $0.55 \pm 0.35$  mg/L. De acuerdo con Ramesh-Reddy y De Laune (2008), las altas concentraciones de nitratos pueden deberse a la llegada de fertilizantes por escurrimientos, materia en descomposición y descarga de aguas residuales, dado que las concentraciones más altas se registran en meses con poca precipitación, es probable que el origen de este nutriente sea la descarga de aguas residuales.

Matthew (1992) reporta que concentraciones de  $\text{NO}_2$  iguales o mayores a 0.1mg/L, pueden ser dañinas para las especies acuáticas ya que reducen la capacidad para transportar oxígeno. En el canal de Cuemanco, se tienen valores superiores a 0.1 mg/L ( $0.15 \pm 0.23$ - $1.45 \pm 0.16$  mg/L) en todos los meses de muestreo, excepto en septiembre y marzo, por lo que este compuesto debe considerarse como un factor estresante para la población de charal en el sitio de estudio. En los análisis discriminantes realizados para evaluar los cambios temporales (meses) en la calidad del agua y entre estratos, el  $\text{NO}_2$  resultó ser una variable altamente significativa como predictora de las diferencias, tanto espacial como temporalmente. La concentración de nitritos no está relacionada con la precipitación o con los otros factores fisicoquímicos analizados, por lo cual se puede inferir que estos son aportados al canal a través del vertimiento de aguas residuales, el escurrimiento de fertilizantes y desechos de animales y el proceso

de oxidación microbiana del  $\text{NH}_3$  en su secuencia hacia  $\text{NO}_3$ , en la columna de agua y sedimentos.

Las concentraciones de  $\text{PO}_4$  variaron mucho, siendo mucho más altas de agosto a octubre, con valores entre 16.00 y 29.05 mg/L. mientras que en el resto de los meses los valores fueron de 2.0 a 7.0 mg/L. Contreras Ruiz (2012) relaciona la concentración de fosfatos con la baja concentración de oxígeno, sin embargo, en este trabajo no es ese el caso, por lo tanto, las altas y bajas concentraciones de fosfato se pueden atribuir a causas antropogénicas, tales como la descarga de aguas residuales de las comunidades aledañas, o bien, al escurrimiento de fertilizantes utilizados en áreas colindantes.

De manera general se puede decir que en el canal de Cuemanco, Xochimilco, las condiciones del agua son distintas entre los estratos superficie y fondo, siendo más adecuadas las condiciones cercanas a la superficie para el desarrollo del charal *Chirostoma jordani*.

## **9.2 Dinámica poblacional**

Es un hecho que las poblaciones de *C. jordani* por diversas razones, han experimentado una notable disminución. En particular, en los canales de Xochimilco, Olvera (2004) hace hincapié en este asunto. Pero no es el único caso, en Hidalgo, al comparar la abundancia de este charal en los años 1998, 2007 y 2008, se encontró que la mayor abundancia se registró en 1998, mientras que la menor en 2008 (3,000 organismos/1000m<sup>2</sup> y 5 organismos/1000m<sup>2</sup>, respectivamente) (Navarrete *et al.* 2010). En este trabajo se observaron diferencias en la abundancia mensual, a través del ciclo de muestreo y en octubre sólo se colectaron 6 alevines, por lo cual este mes no se consideró dentro de los análisis realizados. Abril fue el mes con el mayor número de charales capturados (127), mientras que el menor fue noviembre, con sólo 31 organismos.

Los organismos de mayor talla se presentaron en agosto, septiembre y noviembre (2014). La longitud total máxima fue de 72.03 mm, en agosto, y la menor de 4.56 mm, en abril. Olvera en 2004 reporta en la zona lacustre de Xochimilco, una

longitud patrón máxima de 75.1 mm para hembras y 67.5 mm para machos, en este trabajo la longitud patrón máxima fue de 50.56 mm, independientemente del sexo. La talla máxima es menor a la reportada por Olvera (2004), y mayor a la reportada por otros autores. En el sistema lacustre de Xochimilco, Miranda (2002), reporta una longitud máxima de 66.5 mm, y Saldívar (2007) reporta una longitud máxima de 59.9 mm; Ibáñez y colaboradores (2007), reportan una talla máxima de 58 mm, en el lago de Metztitlán, Hidalgo, y Navarrete y Contreras en 2010 reportan una longitud máxima de 64 mm en el estanque Guillermo Lagunes, estado de México.

El peso húmedo máximo fue de 1.71 g, este es menor al reportado por Miranda en 2002, en el sistema lacustre de Xochimilco, el cual fue de 2.67 g.

De acuerdo con Navarrete (1981), todas estas variaciones en talla y peso se deben a que estos van a depender en gran medida de las condiciones ambientales del cuerpo de agua donde se encuentren.

De agosto a noviembre se colectaron organismos reproductores (mayores a los 20 mm de longitud total), en su mayoría. Mientras que en febrero se puede apreciar un reclutamiento de juveniles, siendo la proporción en este mes de casi 50% juveniles, 50% reproductores, lo cual se mantiene en marzo, pero con una ligera dominancia de reproductores, por este motivo, se podría decir que la reproducción se acentuó entre febrero y marzo, ya que se observó el crecimiento gradual de los organismos reclutados en estos meses, y no se observó otro pico de reclutamiento en los meses posteriores. Sin embargo, la presencia de alevines en octubre indica que estos charales se reproducen también en otros meses, pero con una menor intensidad, en este caso, el desove se dio probablemente entre septiembre y principios de octubre, tomando en cuenta la talla de los alevines y lo reportado por Gonzáles (2009), quien obtuvo una LT de 4 mm al momento de la eclosión, y un tiempo de eclosión entre 7 y 8 días. Lo anterior coincide con Sánchez (2008), quien reporta un pico reproductivo de mayo a julio, pero con prolongación hasta noviembre, Gómez y Ramírez de Arellano (1982), señalan que la época reproductiva se da de agosto a mayo, con auge en mayo y reclutamiento en julio; y

en 2009, Navarrete y colaboradores reportan un pico reproductivo de enero a mayo, pero también mencionan que la época de reproducción es extensa. Estos resultados difieren de los obtenidos por Hernández (1993), quien encontró que la época reproductiva de *C. jordani* es de febrero a agosto, pero con una mayor intensidad entre abril y agosto. Diversos autores coinciden en que el pico reproductivo se da entre abril y mayo, pero no se ha reportado uno entre febrero y marzo, como es el caso de este trabajo. Sería necesario seguir el registro en los meses posteriores para ver si en este charal se presentan dos picos reproductivos. Lo que sí se puede confirmar, es que el periodo de reproducción es extenso.

Como se mencionó anteriormente, en octubre solo se capturaron alevines. La causa de la ausencia del charal adulto en dicho mes es desconocida. Dado que en septiembre y noviembre se registraron los organismos de mayor talla y que la abundancia fue similar, se esperaría que en octubre se registrara una talla dentro de los valores de estos meses, lo cual no sucedió. La colecta de organismos en octubre se realizó en la misma zona y bajo las mismas condiciones que en las demás, por lo tanto, la ausencia del charal no se debe a errores en el muestreo. Por otra parte, las propiedades de calidad del agua de octubre son muy similares a las de septiembre, por lo cual, su ausencia tampoco se atribuye a factores de este tipo. Es evidente que hubo un factor que condujo a los organismos a desplazarse temporalmente, pero se desconoce el mismo.

Por otra parte, se obtuvo un crecimiento alométrico negativo (el exponente  $\alpha$  es significativamente menor a 3), es decir, que los organismos tienden a ganar más en longitud que en peso, esto coincide con lo reportado por Cházaro (1989) y por Hernández (1993), y difiere con lo reportado por Gómez y Ramírez de Arellano en 1982, quien reportó un crecimiento isométrico para esta especie.

### **9.2.1 Tasa de crecimiento**

El crecimiento es un indicador de amplio espectro, debido a que refleja el efecto neto de las condiciones ambientales sobre las respuestas fisiológicas de los organismos (Beamish y Trippel, 1990). De acuerdo con López (2004), el

crecimiento de los organismos se ve afectado por factores tanto intrínsecos como extrínsecos al organismo. Entre los factores intrínsecos se encuentran la edad, talla, sexo y aspectos genéticos; y entre los extrínsecos se pueden mencionar los factores fisicoquímicos, densidad de organismos, interacciones intra e interespecíficas, cantidad y calidad del alimento, entre otros. En el presente trabajo se observó que hay una mayor tasa de crecimiento en organismos de menor talla, así, el menor incremento se registró de agosto a septiembre, con una tasa de crecimiento de 0.02 mm/día, siendo la talla registrada de los charales en este periodo entre los 16.52 y 72.03 mm de LT, la mayor tasa de crecimiento se registró de marzo a abril, con un incremento de 0.23 mm/día, la talla de los organismos en este periodo varió entre los 4.56 y 46.36mm de LT. La tasa de crecimiento promedio para las épocas agosto-noviembre y marzo-mayo fueron  $0.04 \pm 0.03$  mm/día y  $0.19 \pm 0.05$  mm/día, respectivamente. Como se puede apreciar, la tasa de crecimiento en organismos de tallas más pequeñas fue cuatro veces la obtenida en organismos de tallas mayores. Estos resultados coinciden con la literatura, ya que se sabe que la energía que los organismos destinan al crecimiento está relacionada con la etapa del ciclo de vida en la que se encuentren, ya sea que se trate de organismos juveniles en crecimiento o adultos en reproducción, la energía invertida será distinta. En el periodo de marzo a abril, la población del charal está compuesta por organismos juveniles en crecimiento y potencialmente reproductores, por lo cual la energía invertida en crecimiento somático es mayor que la destinada a este rubro por los organismos del periodo de agosto a noviembre, los cuáles son organismos adultos.

De acuerdo con Weatherley y Gil (1987), el que haya un mayor crecimiento en las etapas tempranas se debe a que evolutivamente, los alevines que ganan mayor peso y longitud en sus primeras etapas de vida tienen mayores posibilidades de sobrevivir en su ambiente natural y llegar a la etapa adulta, ya que entre más grande sea, mayor es la dificultad para deglutirlo y mayor es la velocidad de escape que puede desarrollar, además de las ventajas que le confiere en sus interacciones intraespecíficas, como el canibalismo y la reproducción.

### 9.3 Tasa metabólica y eficiencias energéticas

#### 9.3.1 Contenido calórico

El contenido calórico mostró una gran diferencia respecto a los meses, esto se atribuye a la talla de los organismos. En los meses de tallas mayores el contenido calórico fue significativamente menor en comparación con organismos de menor talla. Los valores de contenido calórico de agosto a noviembre fueron de alrededor de 1000 y 2000 cal/gPS, mientras que los organismos de febrero a abril presentaron valores de alrededor de 4000 cal/gPS, y los de mayo presentaron un valor intermedio de aproximadamente 3000 cal/gPS. De acuerdo con la literatura, los organismos de mayor talla tienen un mayor contenido calórico con respecto a los organismos de menor talla, lo cual difiere en el presente trabajo. El alto contenido calórico en los organismos de febrero a mayo puede deberse a que la población de *C. jordani* en este periodo está compuesta por organismos juveniles en crecimiento y potencialmente reproductivos, y de acuerdo con Gutiérrez (2010), el valor calórico aumenta con la época reproductiva debido a la producción de gónadas.

Con base a lo anterior, el contenido calórico de mayo tendría que ser similar o mayor al de abril, pero este resultado significativamente menor, esto podría deberse a un posible desove en este mes, lo cual coincide con lo reportado en la literatura, sin embargo, sería necesario registrar la composición de la población en los meses posteriores para poder asegurarlo. Por otra parte, aunque la diferencia no es significativa, el contenido calórico de septiembre es mayor al de agosto y noviembre, esto debido a que la presencia de alevines en octubre indica que los organismos de este mes se estaban reproduciendo (existiendo una mezcla de organismos en estado reproductivo con alto contenido energético en el tejido y crías durante estos meses), por lo cual se eleva el valor calórico de los mismos, aunque no de forma tan marcada como en los de febrero a mayo, ya que estos últimos necesitan además un mayor requerimiento energético para crecimiento somático y para mantenimiento.

### **9.3.2 Nitrógeno total**

El contenido de nitrógeno total en el tejido está relacionado directamente con el contenido de proteínas en el mismo. Aunque la concentración de N-Total entre hembras y machos no difirió significativamente, existió una tendencia a haber una concentración mayor en los machos ( $65.0 \pm 10.36$  mg/L y  $53.43 \pm 10.99$  mg/L, respectivamente). Por otra parte, no hubo diferencias significativas entre organismos de los distintos meses analizados, lo que indica que la talla no influyó de manera significativa en la concentración de N-Total en el tejido, a diferencia de lo reportado por Bureau *et al.* (2000), donde se indica que durante las distintas etapas de crecimiento, los organismos almacenan energía tanto en forma de proteínas como de lípidos, pero a medida que se acercan a su fase reproductiva la proporción de grasas se incrementa, de acuerdo con esto, la concentración de nitrógeno total en el tejido debería ser más alto en los organismos de febrero a mayo. No se cuenta con otras referencias de contenido de nitrógeno en esta especie o en otros atherinidos, por lo cual no se puede decir si la concentración obtenida es alta, baja, o se encuentra dentro de los valores de concentración normal.

### **9.3.3 Metabolismo de rutina (R) y producción (P)**

Se sabe que los factores que influyen en el requerimiento energético de peces son: temperatura del agua, tamaño del organismo, estado fisiológico, flujo del agua, exposición a la luz, calidad del agua y estrés. La tasa metabólica, y consecuentemente los requerimientos de energía para el mantenimiento aumentarán con un incremento en la temperatura, de forma contraria, la tasa metabólica y los requerimientos de energía para el mantenimiento disminuirán al aumentar el tamaño de los organismos (Brett y Groves, 1979); en cuanto al estado fisiológico, de acuerdo con Wootton (1990), los requerimientos energéticos aumentan durante la época reproductiva; por otra parte, los requerimientos energéticos para el mantenimiento de la posición del organismo en la columna de agua, aumentarán al aumentar el flujo de agua; y finalmente, los contaminantes, aumento en la salinidad, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, entre otros



factores estresantes, aumentan el requerimiento energético para el mantenimiento (Brett y Groves, 1979; Talbot, 1985). En el presente trabajo se analizó el metabolismo de rutina de *C. jordani* en los meses de noviembre y abril, siendo el primero perteneciente a la época fría y el segundo a la época cálida del año. Entre estos meses hay diferencias en cuanto a la temperatura del agua y la talla de los organismos, factores que, de acuerdo con Gutiérrez (2010), son las variables que tienen un mayor efecto sobre el metabolismo de los organismos poiquilotermos acuáticos. Se sabe que, a mayor temperatura, hay un mayor requerimiento energético para el metabolismo, y a mayor talla hay un menor requerimiento. Los resultados fueron que en noviembre hay una inversión de 18.51 cal/ejemPS/día, mientras que en abril es de 24.32 cal/ejemPS/día, respectivamente, correspondientes al 19.19% y 16.47% de su energía total. La temperatura en abril es casi 4°C más alta que la de noviembre, por lo cual, los resultados coinciden en este aspecto con lo reportado por la literatura. En cuanto a la talla, los resultados también coinciden con la literatura, ya que los organismos de noviembre tienen una talla mayor a los de abril, y de acuerdo con Brett y Groves (1979), el requerimiento de energía para el metabolismo de rutina disminuye con el aumento del tamaño corporal. Esto podría deberse a que los organismos más pequeños tienen una relación superficie-volumen mayor que los organismos más grandes, lo que provoca que las reacciones químicas ocurran a una mayor velocidad, por lo tanto, su metabolismo es mayor (Schmidt-Nielsen 1997).

El porcentaje de energía destinado al metabolismo de rutina se encuentra dentro de lo reportado para otros atherinidos, así, Espina y colaboradores, en 1989, reportan que *Chirostoma estor* en las primeras etapas de vida destinan un 15% de energía al metabolismo de rutina, no muy distinto a los valores obtenidos en el presente estudio.

Los resultados mostraron que los organismos de marzo a mayo invirtieron una mayor cantidad de energía en crecimiento que los de septiembre a noviembre. Se observó una gran diferencia en la energía invertida de agosto a septiembre y de septiembre a noviembre, considerando que la talla de los organismos en estos dos

periodos es muy similar. De agosto a septiembre los organismos invirtieron en crecimiento el 41.1% de energía y de septiembre a noviembre sólo el 11.2%, esto puede deberse a que los organismos de agosto a septiembre invirtieron una gran cantidad de energía en crecimiento reproductivo, esto se prueba con la presencia de alevines en octubre. El porcentaje de energía invertida de marzo a abril y de abril a mayo es muy similar (41.4% y 43.9%, respectivamente), este porcentaje es bajo comparado con lo reportado para *Chirostoma estor estor*, que de acuerdo con Vega *et al.* (2004), invierte el 80% en crecimiento, valor semejante al 75% reportado por Espina y colaboradores, en 1987. Los resultados son bajos también, considerando que los organismos de abril son potencialmente reproductivos, por lo cual, este porcentaje debería ser más elevado, tomando en cuenta que están invirtiendo energía tanto en crecimiento somático como en crecimiento reproductivo.

#### **9.3.4 Asimilación y eficiencia de asimilación de energía**

La asimilación de energía, que es la energía asimilada fisiológicamente, fue mayor en abril, en los peces de menor talla, esto difiere con lo reportado por Espina y colaboradores, quienes, en 1987, obtuvieron para *C. estor estor* una mayor asimilación por parte de los organismos de mayor talla. Por otra parte, la eficiencia de asimilación en la mayoría de los peces dulceacuícolas es del 70-80% (Espina *et al.*, 1987), sin embargo, en este trabajo fue considerablemente inferior, tanto para abril como para noviembre (53% y 32%, respectivamente), aunque, como se esperaba, fue mayor en abril, ya que ésta está influenciada tanto por la temperatura del agua, la talla, así como como el tipo de régimen alimenticio entre otros factores (Jobling, 1994). Aunque autores como Cho y Kaushik (1990) y Medale *et al.* (1991) descartan la influencia significativa de la temperatura, en este trabajo se observó que la talla y la temperatura influyeron en forma significativa en los resultados obtenidos.

## 10. CONCLUSIONES

- Las condiciones de calidad del agua en el canal de Cuemanco, Xochimilco, difieren tanto espacial como temporalmente, siendo mejores las condiciones de la superficie del canal para el desarrollo y supervivencia del charal *C. jordani* dada su alta concentración de oxígeno disuelto y mayor temperatura respecto al fondo, así como otros factores esenciales para el charal como la transparencia.
- Se detectó un desove en la población de estudio entre febrero y marzo, así como la aparición de tallas pequeñas (reclutas) en las muestras a partir de abril, las cuales tuvieron un crecimiento acelerado en sus primeras etapas.
- La tasa de crecimiento de marzo a mayo fue casi cuatro veces mayor a la de septiembre a noviembre ( $0.19 \pm 0.05$  mm/día y  $0.04 \pm 0.03$  mm/día, respectivamente).
- Se observó que la inversión de energía en metabolismo de rutina depende significativamente de la temperatura del agua y de la talla de los organismos, así, se obtuvo una mayor inversión en abril, cuya talla fue menor a la de noviembre y la temperatura fue casi 4°C mayor.
- La inversión de energía en producción también fue menor de agosto a septiembre, con respecto a la invertida de marzo a mayo. Se observó que la talla y la etapa del ciclo de vida tienen una alta influencia en la cantidad de energía que los organismos destinan al crecimiento.
- La eficiencia de asimilación de energía de abril fue mayor a la de noviembre (53% y 32%, respectivamente). Ambos valores se consideran bajos, comparados con los obtenidos para otros Atherinidos. En este estudio la temperatura y la talla de los organismos resultaron ser altamente influyentes.
- Los resultados apoyan la hipótesis planteada en este trabajo, ya que la energía invertida tanto en metabolismo de rutina como en crecimiento, fue distinta entre noviembre y abril, siendo mayor en abril, el mes con temperatura más alta y con organismos de menor talla.

## 11.RECOMENDACIONES

La creciente disminución de las poblaciones naturales de *C. jordani* en su hábitat natural nos da pauta para buscar una solución a esta problemática. Los resultados del presente trabajo, sientan las bases para posteriores estudios bioenergéticos de la especie, para los cuáles se recomendaría considerar todo el ciclo anual, obtener todos los elementos de la ecuación general del balance de energía, así como considerar para el mismo, el sexo y la determinación por clase-talla, tomando en cuenta que la talla fue una variable significativa en la inversión de energía en metabolismo de rutina y producción. Es también recomendable tomar más de una medición de calidad del agua por mes, ya que, como se observó, esta varía significativamente en el tiempo.

## 12. LITERATURA CITADA

- Albañez, L. M. y Arreguín, F. 2009.** Modelling the spatial distribution of red grouper (*Epinephelus morio*) at Campeche Bank. México, with respect to substrate. *Ecological Modelling*. 220 (20): 2744-2750.
- Alcantar, L. A. 1985.** Estudio de las variaciones estacionales en la histología testicular del charal: *Chirostoma jordani*. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aranda, M. 2004.** Zona lacustre "Ejidos de San Gregorio Atlapulco". Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR). México. 13p.
- Ariza, A. J. 2008.** Evaluación de cuatro diferentes dietas en el crecimiento de *Chirostoma jordani*. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Beamish, F. W. H., A. J. Niimi y P.F. Lett. 1975.** Bioenergetics of teleost fishes: environmental influences, 189-209. In: Bolis, H.P Mandrell and K. Schmidt (Eds.) *Comparative physiology. Functional Aspects of Structural Materials*. North Holland.
- Beamish, F. y Trippel, E. 1990.** Heat increment: a static or dynamic dimension in bioenergetic models? *Transactions of the Americans Fisheries Society*. 119:649-661
- Bhattacharya, C. 1967.** A simple method of resolution into Gaussian components. *Biometrics*, 23:115-135.
- Blancas, A. G. A. 2002.** Efecto de los ciclos estacionales artificialmente comprimidos (temperatura y fotoperiodo), en el desarrollo gonádico del pez blanco (*Chirostoma humboldtianum*, Valenciennes, 1835 (Pisces: Atherinopsidae), Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México.
- Blancas, A. G. A., Figueroa, L. G. y Arredondo, F. J. L. 2003.** Primeras experiencias sobre el manejo de reproductores de pez blanco (*Chirostoma humboldtianum* Valenciennes, 1835) bajo condiciones controladas. Congreso Iberoamericano de Acuicultura. Civa 2003.

- Blancas, A. G. A., Figueroa, L. G., Barriga-Sosa I. A. y Arredondo, F. J. L. 2004.** Effects of an artificial photothermal cycle on the reproduction of the shortfin silverside, (*Chirostoma humboldtianum*, Valenciennes, 1835 (Pisces: Atherinopsidae). *Aquaculture*. 241:575-585
- Bradfield, A. E. y Solomon, D. J. 1972.** Oxicalorific coefficients for animals respiring nitrogenous substrates. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 43:837-841.
- Brett, J. R. y groves, T. D. 1979.** Physiological energetics. In: *Fish physiology*. Volume 8. Ed. By W. S. Hoar, D. J. Randall and Brett. Academic Press. New York 279-352.
- Bureau, B. P., Azevedo, P. A., Tapia-Salazar, M. y Cuzon, G. 2000.** Pattern and cost of growth and nutrient deposition in fish and shrimp: Potential implications and applications. In: Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M. A., Civera-Cerecedo, R., (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola*. 19-22. 2000. Mérida, Yucatán, México.
- Camargo, J. A., Alonso, A. y Salamanca, A. 2005.** Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58, 1255-1267.
- Cárdenas, R. R. 1982.** Descripción histológica del testículo de *Chirostoma jordani*. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo, D. B. G. 2013.** Efecto del EDTA sobre *Medicago sativa* L. y *Cynodon dactylon* L. en la extracción de metales pesados de suelo de Cuernavaca, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cházaro, O. S. 1989.** Estudio sobre algunos aspectos de la biología del charal *Chirostoma jordani* en el embalse Trinidad Fabela, estado de México. Tesis Licenciatura. Escuela nacional de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cházaro, O., Navarrete, S. y Sánchez, M. 1989.** Reproducción y crecimiento del Charal *Chirostoma jordani* (Woolman) del embalse Trinidad Fabela, estado

- de México. Revista de Zoología, Escuela Nacional de estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. No. 1, 10-18.
- Cheng, S. y Chen, J. C. 2002.** Study on the oxyhemocyanin, deoxyhemocyanin, oxygen affinity and acid-base balance of *Marsupenaus japonicus* following exposure to combined elevated nitrite and nitrate. *Aquatic Toxicology* 61, 181-193.
- Cho, C.Y. y Kaushik, S. J. 1990.** Nutritional energetic in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Review Nutritional and Dietetics* 61:132-172.
- Contreras Ruiz, E. A. V. 2012.** Variables bióticas y abióticas como indicadores de heterogeneidad en el Lago d Xochimilco, Distrito Federal. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias Biológicas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- De Buen, F. 1945.** Investigaciones sobre ictiología Mexicana. An. Inst. Biol. Universidad Nacional Autónoma de México. México Distrito Federal: XIV. 475-532.
- Duncan, A. y Klekowski, R. Z. 1975.** Parameters of anenergy budget. In: Grodzinsky, W., Klekowsky, R. Z. and Duncan, A. *Methods for ecological energetics*. IBP 24. Blackwell Scientific Publication. Oxford.100 p.
- Escalera, G. y Moncayo, L. 1982.** Análisis trófico de *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) en el embalse Requena del estado de Hidalgo. Resúmenes del VI Congreso Nacional de Zoología. Mazatlán.
- Espina, S., Latournerié, J., Sánchez, A. y Vega, M. 1987.** Determinación de los elementos del balance energético en el pescado blanco adulto, *Chirostoma estor* J. (Pisces, Atherinidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México.15:185-194.
- Espinosa, P. H., Gaspar, P. y Fuentes, M. P. 1993.** Listados faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas mexicanos. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal.
- FAO. 2011.** Manual para extensionista en acuicultura. Ministerio de agricultura y ganadería-Viceministerio de ganadería. Paraguay. Pág. 20.

- Flores, R. G. A. 2009.** Análisis preliminar de algunos factores físico-químicos indicadores de la calidad del agua en Xochimilco. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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.
- García, E. 2003.** Modificaciones al sistema de clasificación de climas de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- García, P. G. M. 2010.** Estimación del balance energético del acocil *Cambarellus montezumae* en el lago de Xochimilco. Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- García, P. G. M. 2014.** Aspectos sobre el crecimiento y reproducción del acocil *Cambarellus (Cambarellus) montezumae* (Saussure, 1857): Un análisis Ecofisiológico. Tesis Maestría. División de Posgrado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gómez, M. J. L. y Ramírez de Arellano, D. T. 1982.** Contribución al conocimiento de la biología del charal *Chirostoma jordani* en la presa Taxhimay, estado de México. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, C. P. W. 2009.** Ontogenia de *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894) (Pisces: Atherinopsidae) en embriones de vida libre y larvas obtenidas bajo condiciones de laboratorio. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Grodzinsky, W. 1975.** Energy flow through a vertebrate population (52-239 p.). In: W. Grodzinsky, R.Z. Klekowsky, and A. Duncan (Eds.), Methods for Ecological Bioenergetics IBP Handbook No. 24. Blackwell, Oxford.
- Gutiérrez, B. D. 2010.** Bioenergética en juveniles de *Epinephelus morio* (Valenciennes, 1828). Tesis Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.



- Hernández, B. S. y Moncayo, M. E. 1980.** Contribución al conocimiento de la biología del charal *Chirostoma jordani* en cautiverio. Resúmenes del Congreso Nacional de Zoología Ensenada Baja California Norte.
- Hernández, J. L. E. 1991.** Variaciones de la dieta en *Chirostoma jordani* (Pices: Atherinidae) y *Yuriria alta* (Pices: Cyprinidae) en la presa Begonias, Gto. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- 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 Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ibáñez, A. L., García, C. y Torres, O. 2007.** Aspectos reproductivos de una población del charal *M. jordani* (Woolman) del lago de Metztitlán, Hidalgo. *Hidrobiológica* 18(1): 1-9
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008.** Cuaderno estadístico delegacional de Xochimilco, Distrito federal. Sistema Nacional de Estadística y Geografía. <http://www.inegi.org.mx>
- Islas, Y. J., Arana, F., y Pérez, R. 1995.** Estudio preliminar sobre la producción en cautiverio de *Chirostoma jordani* Woolman (Pisces: Atherinidae) de la zona lacustre de Xochimilco, D. F. Segundo Seminario Internacional de Investigación de Xochimilco. Asociación Internacional de Investigadores de Xochimilco A. C.
- Jiménez, B. M. L. y Gracia, G. A. 1995.** Evaluación de pesquerías multiespecíficas de charales (*Chirostoma* spp., Pisces: Atherinidae) del Lago de Pátzcuaro Michoacán. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ser- Zool.* 66(2):205-231.
- Jiménez, G. C. y Nava, V. J. L. 2008.** Efecto de tres diferentes dietas, sobre bioindicadores de producción (crecimiento), en la alimentación en cautiverio del charal *Chirostoma jordani* (Woolman 1894). Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Jobling, M. 1994.** Fish bioenergetics. Chapman and Hall. London. 309 p.
- Juárez, J. R. y Palomo, G. G. 1985.** Acuicultura. CECOSA, México.
- Kaiser, E. 1969.** San Francisco Bay-Delta water quality control program: final report to the State of California. Ed. California State, Water Resources control Board.
- Kincheloe, J. W., Wedemeyer, G. A. y Koch, D. L. 1979.** Tolerance of developing salmonid eggs and fry to nitrate exposure. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 23, 575-578.
- Krebs, C. J. 1989.** Ecological methodology. Harper Collins Publisher. 654 p.
- Latournerié, C. J. R. 2007.** Estudios Ecofisiológicos sobre el camarón café *Penaeus aztecus* (Ives) de la laguna de Tamiahua, Veracruz. Tesis de Doctor en Ciencias (Biología). División de Posgrado, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- López, R. R. M. 2004.** Análisis de los efectos del propionato de testosterona sobre la bioenergética de la tilapia *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) variedad roja. División de Posgrado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lot, H. y Quiroz, F. A. 1979.** La chinampa: un sistema agrícola que utiliza plantas acuáticas.
- Mares B. L; Pedroza, I; Morales, P; Sabanero, M; De Jesús, H; León, M. y Villagómez, Z. 2003.** Evaluación de dos tipos de presentación de alimentos en crías de pescado blanco, *Chirostoma estor*, en laboratorio. Informe final de Investigación. Inédito Inst. Nal. De la Pesca. 42p.
- Martínez, C. L. R. 1988.** Ecología de los sistemas acuícolas. A. G. T. Editor, S. A. México, 226p.
- Matthew, L. 1992.** Introduction to Aquaculture. John Wiley and Sons, Inc. Canada. 440 p.
- Medale, F., Aguirre, P. y Kaushik, S. J. 1991.** Energy Metabolism of Farm Animals. EAAP Publication No. 58. Institut fur Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, Zurich, Switzerland. 392-395.

- Miller, R. R., Minckley, W. L. y Norris, S. M. 2005.** Freshwater fishes of México. The University of Chicago Press, Chicago. USA.
- Miranda, G. 2002.** Estudio biológico para la reproducción en laboratorio y estanques del charal *Chirostoma jordani* del Lago de Xochimilco. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Miranda, L. A. I. 2015.** Acelga, Romerito y Pasto Bermuda, extractoras de sodio y potasio de suelos salinos de Cuemanco. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarrete, S. N. 1981.** Contribución a la biología del charal (*Chirostoma jordani*) de la presa Taxhimay. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarrete, S. N., Sánchez, R. y Rojas, M. L. 1996.** Selección del zooplancton por el charal *Chirostoma jordani* (Atheriniformes: Atherinidae). Rev. Biol. Trop., 44(2):757-761.
- Navarrete, S. N., Jacobo, S. D. y Aguilar, A. 2009.** Alimentación de *Menidia jordani* en el embalse la Goleta, Estado de México. Laboratorio de producción de peces e invertebrados acuáticos. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Rev. Zool. 20:1-6-2009.
- Navarrete, S. N., Contreras, R. G. y Jacobo, S. D. 2010.** Situación de *Menidia jordani* (Pisces: Atherinopsidae) en el Embalse la Goleta, Estado de México. Laboratorio de Producción de Peces e Invertebrados. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Navarrete, S. N. y Contreras, R. G. 2010.** Crecimiento y mortalidad del charal (*Menidia jordani*) en el estanque Guillermo Lagunes (GL), estado de México. Revista de Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 17(3): 407-410. 2011
- Nelson, J. S., E. J., Crossman, H. Espinosa P., L. T. Findley, C. R. Gilbert, R. N. Lea, N. E. Mandrak, R. L. Mayden. 2004.** Common and scientific names of fishes from the United States, Canadá, and México. American Fisheries Society Special Publication 29, Bethesda, Maryland.

- Olvera, B. 2004.** Aspectos poblacionales de *Chirostoma jordani* (Woolman) (Pisces:Atherinidae), en el sistema lacustre de Xochimilco. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Olvera, B. M., Gómez, M. J., Peña, M. B., Gaspar, D. M. y Pérez, C. 2009.** Reproductive biology of *Menidia jordani* (Atheriniformes: Atherinopsidae) in Xochimilco Lake, México. Ciencia Pesquera. Vol. 17. Núm. 2.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2005.** Contaminación ambiental. Una visión desde la química. 3ª edición. Thomson Editoriales Spain Paraninfo.
- Paulo- Maya, J. 2000.** Situación actual sobre el conocimiento de la biología del género *Chirostoma* (Swaison). Tesis doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Paulo, M. P., Figueroa, L. G. y Soria, B. M. 2000.** Peces dulceacuícolas mexicanos XIX *Chirostoma humboldtianum* (Atheriniformes:Atherinopsidae). Zoología Informa. ENCB-Instituto Politécnico Nacional. (3):59-7
- Pérez, S. L. A. 1982.** Piscicultura: ecología, explotación e higiene. Manual Moderno. México. 54p.
- Ramírez, C. H. F., Luna, P. V. M. y Arredondo, F. J. L. 2009.** Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Vol. 8(1):93-99.
- Ramos, B. R., García, C. N. E., Ortega, E. H. M. y Krasilnikov, P. 2011.** Artificial Chinampas Soils of Mexico City: Their Properties and Salinization Hazards. Spanish Journal of soil Science. Vol. 1 (105) 1-16.
- Rangel, T. R. C. 2009.** Ecología poblacional de *Cambarellus montezumae* en Xochimilco, México, D.F. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramesh, R. K. y De Laune, R. D. 2008.** Biogeochemistry of wetlands Science and Applications. CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida.
- Rojas, C. P. M; Mares, B; Morales, P; Sabanero, M; Hernández, Z; León y León, J. 2000.** Desarrollo y crecimiento de larvas de pescado blanco

*Chirostoma estor* Jordan. Informe final de Investigación. Proyecto CONACYT- Instituto Nacional de la Pesca.

- Salazar, R. O. 2012.** Estudio monográfico sobre el estado actual del género *Chirostoma* (“Peces blancos y charales”), del Altiplano Mexicano. Biología, ecología y pesquerías. Seminario de Titulación. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Saldívar, H. S. 2007.** Aspectos tróficos del charal *Chirostoma jordani* (Atherinopsidae) en el Canal Nacional del Lago de Xochimilco. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, M. R. 1995.** Selección del plancton por peces del género *Chirostoma*. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias biológicas. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, P. S. 1992.** Biología reproductiva del charal blanco *Chirostoma grandocule* (Steindachner, 1894 Pisces: Atherinidae), del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Tesis de Licenciatura Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Sánchez, R. R. 2008.** Estudio del potencial reproductivo del charal *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894), mediante la evaluación del líquido seminal y descripción morfológica del espermatozoide, en condiciones de cautiverio. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Santacruz, B. J. 2011.** Invertebrados asociados a *Eichhornia crassipes* (Marts) *Solms* en el lago de Xochimilco, México D.F. Tesis Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sasso, Y. L., Gutiérrez, M. R., y Casas, S. S. 1997:** Estudio de factibilidad técnica, económica y financiera para el cultivo del pescado blanco en Jalisco. SEMARNAP. Subsecretaría de Pesca. Dirección General de Acuacultura. Acuagranjas. Consultores en Acuacultura S. A de C. V- México.

- Scott, G. y Crunkilton, R. L. 2000.** Acute and chronic toxicity of nitrate to fathead minnows (*Pimephales promelas*), *Ceriodaphnia dubia*, and *Daphnia magna*. Environmental Toxicology and Chemistry 19, 2918-2922.
- Secretaría del Medio Ambiente. 2004.** Programa de manejo: Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, Propuesta 204. Administración pública del Distrito Federal.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2015.** smn.cna.gob.mx. Consultada en octubre de 2015.
- Schmidt-Nielsen, K. 1997.** Animal Physiology Adaptation and Environment, 5th ed. Cambridge University. Press, Cambridge.
- Soto, G.E. 1993.** Depredación selectiva de *Chirostoma jordani*, sobre el zooplancton, en el embalse Ignacio Allende Guanajuato. Tesis Maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional.
- Talbot, C. 1985.** Laboratory Methods in Fish Feeding and Nutritional Studies, 125-154. (P. Tayler and P. Calow, ed). In: Fish energetics: news perspectives. Croom Helm Publishers, London.
- Vega M. E., F. Díaz y S. Espina. 2004.** Balance energético de juveniles de *Chirostoma estor estor* (Jordan, 1879) (Pisces, Atherinopsidae) en relación con el tamaño corporal. México. Hidrobiológica 14 (42): 113-120
- Weatherley, A. H. y Gil, H. S. 1987.** The Biology of Fish Growth. Academic Press, N. Y., 443 p.
- Wootton, R. J. 1990.** The Ecology of Teleost Fishes. Academic Press. London. 387 p.
- Yip, S. W., y Wong, M. G. 1977.** The effects of sewage sludge on the growth rate of carp, *Cyprinus carpio* L. Environmental Pollution (1970) Vol. 14, 127-132.
- Zambrano, L., Perrow, M., Macías-García, C., Aguirre-Hidalgo, V. 1998.** Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in Central México. Journal of aquatic Ecosystem Stress and recovery (Formerly Journal of Aquatic Ecosystem Health) (6). 281-288.