



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**

**INSTITUTO DE BIOLOGÍA**

**ECOLOGIA POBLACIONAL DE *Cambarellus montezumae* EN  
XOCHIMILCO, MÉXICO, D.F.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

**Biol. Rebeca Concepción. Rangel Tapia**

Director de Tesis: **Dr. Fernando Álvarez Noguera**

**MÉXICO, DF.**

**ENERO, 2009**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

**AL POSGRADO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, POR INSTRUIRME PARA MI FORMACIÓN Y DESARROLLO PERSONAL Y PROFESIONAL.**

**AL PROGRAMA DE BECAS DE POSGRADO DEL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), POR APOYARME ECONÓMICAMENTE DURANTE MIS ESTUDIOS DE MAESTRÍA.**

**A LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO CON EL PROGRAMA DE FOMENTO A LA GRADUACIÓN DE LOS ALUMNOS DE POSGRADO DE LA UNAM, POR SU APOYO ECONÓMICO.**

**AL COMITÉ TUTORAL:**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. Fernando Álvarez Noguera**

**Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia**

**Dr. Luís Zambrano González**

**QUE GRACIAS A SU VALIOSA ASESORÍA  
HE ALCANZADO UNA META  
IMPORTANTE EN MI VIDA.**

## DEDICATORIAS

### A MIS PADRES

*Jorge Rangel y Magdalena Tapia*

Quienes me han dedicado su amor incondicional y me han apoyado para ser una persona de éxito.

### A MIS HERMANAS

*Mónica, Miriam y Gina*

Quienes se encuentran a mi lado en cada momento especial y me han apoyado totalmente con su amor y lealtad.

### A UNA PERSONA MUY ESPECIAL

*MyVr*

Quien es la paz y la tranquilidad de mi conciencia, la dicha y felicidad de mi corazón, la razón de mi existencia, de quien estoy profundamente enamorada.

### A MIS AMIGOS

Quienes siempre se encuentran en los momentos significativos (MyVr).

El vínculo que une a una verdadera familia  
consiste en el respeto, lealtad y AMOR.

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
IMPORTANCIA DE <i>CAMBARELLUS MONTEZUMAE</i>	<b>6</b>
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>10</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b>	<b>10</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>11</b>
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	<b>13</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>15</b>
PARÁMETROS ABIÓTICOS	<b>15</b>
ABUNDANCIA	<b>18</b>
COMPOSICIÓN DE TALLAS	<b>22</b>
<i>MACHOS</i>	<b>23</b>
<i>HEMBRAS</i>	<b>24</b>
CRECIMIENTO DIRECTO INDIVIDUAL	<b>26</b>
TABLA DE VIDA	<b>29</b>
MODELO DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY	<b>31</b>
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>35</b>
PARÁMETROS ABIÓTICOS	<b>35</b>
ABUNDANCIA	<b>37</b>
COMPOSICIÓN DE TALLAS	<b>37</b>
CRECIMIENTO DIRECTO INDIVIDUAL	<b>39</b>
TABLA DE VIDA	<b>39</b>
MODELO DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY	<b>39</b>
ESPECIES ENCONTRADAS EN EL LUGAR DE ESTUDIO	<b>40</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>42</b>
<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>43</b>
<b>APÉNDICE 1</b>	<b>48</b>
<b>APÉNDICE 2</b>	<b>51</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> pH en relación al número de individuos.	<b>15</b>
<b>Figura 2.</b> Temperatura con respecto al número de individuos.	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Concentración de oxígeno disuelto con respecto al número de individuos.	<b>16</b>
<b>Figura 4.</b> Porcentaje de saturación del oxígeno disuelto en relación al número de individuos.	<b>16</b>
<b>Figura 5.</b> Temperatura anual.	<b>17</b>
<b>Figura 6.</b> Número total de individuos de <i>C. montezumae</i> . Representación mensual.	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> A) Resultado del muestreo de <i>C. montezumae</i> a través del tiempo. B) Diagrama que muestra el porcentaje de abundancia por estaciones del año.	<b>18</b>
<b>Figura 8.</b> Regresión lineal entre la temperatura y el número de individuos.	<b>19</b>
<b>Figura 9. A.</b> Distribuciones por talla de <i>C. montezumae</i> en el muestreo anual. (septiembre/06 – marzo/07).	<b>20</b>
<b>Figura 9. B.</b> Distribuciones por talla de <i>C. montezumae</i> en el muestreo anual (marzo/07 – septiembre/07).	<b>21</b>
<b>Figura 10.</b> Distribución por talla de la población total de <i>C. montezumae</i> .	<b>22</b>
<b>Figura 11.</b> Talla de hembras y machos de <i>C. montezumae</i> .	<b>22</b>
<b>Figura 12.</b> Número de machos de <i>C. montezumae</i> .	<b>23</b>
<b>Figura 13.</b> Número de machos a través del tiempo	<b>23</b>
<b>Figura 14.</b> Número de hembras de <i>C. montezumae</i> por intervalos de dos milímetros.	<b>24</b>
<b>Figura 15.</b> Número de hembras a lo largo del periodo de muestreo.	<b>24</b>
<b>Figura 16.</b> Relación entre la talla de hembras ovígeras contra el número de huevecillos.	<b>25</b>
<b>Figura 17.</b> Relación de la talla individual antes de mudar contra el incremento de muda.	<b>26</b>
<b>Figura 18.</b> Relación de la talla individual antes de mudar contra el periodo de intermuda.	<b>26</b>
<b>Figura 19.</b> Relación entre la talla antes de mudar contra el Incremento de muda en hembras.	<b>27</b>

<b>Figura 20.</b> Relación entre la talla antes de mudar contra el Incremento de muda en machos.	<b>27</b>
<b>Figura 21.</b> Relación entre la talla antes de mudar contra el periodo de intermuda en hembras.	<b>28</b>
<b>Figura 22.</b> Relación entre la talla antes de mudar y periodo de intermuda en machos.	<b>28</b>
<b>Figura. 23.</b> Ajuste del modelo exponencial negativo para obtener el número de sobrevivientes ( $n_x$ ) de la tabla de vida.	<b>30</b>
<b>Figura 24.</b> Curva que describe la mortalidad de <i>C. montezumae</i> .	<b>30</b>
<b>Figura. 25.</b> Gráfico de Ford-Walford para valores medios estimados por el método de Bhattacharya.	<b>31</b>
<b>Figura 26.</b> Gráfico de Beverton y Holt para obtener los parámetros de crecimiento $k$ y $t_0$ con una $L_\infty = 49.5$ .	<b>32</b>
<b>Figura 27.</b> Gráfica que muestra la talla máxima obtenida por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.	<b>33</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de la Selección $r$ y Selección $K$ , según Pianka 1970 (Krebs, 1985).	<b>5</b>
<b>Tabla 2.</b> Tabla de vida de <i>Cambarellus montezumae</i> en Xochimilco, México, DF.	<b>29</b>
<b>Tabla 3.</b> Componentes gaussianos estimados y sus parámetros.	<b>31</b>
<b>Tabla 4.</b> Estimación de $L_{\infty}$ y $k$ mediante el método de Ford-Walford (STATA).	<b>31</b>
<b>Tabla 5.</b> Estimación de $k$ y $t_0$ por el método de Beverton-Holt (STATA).	<b>32</b>
<b>Tabla 6.</b> Tabla que muestra los datos utilizados para efectuar la ecuación de crecimiento, así como los obtenidos mediante la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy con una $L_{\infty} = 48.7\text{mm}$ , $k = 0.0971$ y $t_0 = 2.34$ .	<b>33</b>



## RESUMEN

En la presente tesis se realizó un estudio de dinámica poblacional de *Cambarellus montezumae*, en la pista de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe" ubicada en Cuemanco; Xochimilco, Distrito Federal. Durante un año, de septiembre de 2006 a septiembre de 2007, se efectuaron 24 muestreos quincenales donde se capturaron 1476 organismos; de los cuales 717 fueron hembras, 705 machos y 54 individuos indeterminados. Las principales características poblacionales se determinaron a través de los siguientes parámetros: abundancia, composición de tallas por sexo y a lo largo del muestreo, tasa de crecimiento individual directa y estimada, tallas de reproducción, fecundidad e intensidad de reclutamiento. Se construyó una tabla de vida para observar las principales variables que describen crecimiento y mortalidad. Se calculó la talla máxima a la que puede llegar *C. montezumae*, dentro del lugar de estudio, mediante el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, teniendo como resultado de 48.7 mm LT. Se identificaron las especies dominantes con las que coexiste el acocil; entre las más importantes están *Ambystoma mexicanum*, *Tamnophis* sp, *Cyprinus carpio*, *Oreochromis mossambicus*, *Centrocorisa* y *Belostoma*. Se midieron los principales parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno disuelto) a fin de conocer si tienen una relación con las principales variables demográficas. Los resultados indican que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la abundancia de *C. montezumae* por lo que el crecimiento poblacional aumenta en los meses cálidos. Sin embargo, la reproducción y el reclutamiento se presentaron en todo el año de colecta. La reproducción se manifiesta a edad temprana siendo los machos los primeros que alcanzan la madurez sexual. La mortalidad es alta en individuos jóvenes por lo que muy pocos llegan a edad reproductiva. Por lo tanto, *C. montezumae* es una especie que presenta, principalmente, características de la selección *r* para tener éxito en su hábitat.

## ABSTRACT

In this thesis a study on the population dynamics of *Cambarellus montezumae* was conducted at the "Virgilio Uribe" Rowing and Canoeing Canal located in Cuernavaca; Xochimilco, Distrito Federal. Twenty four samples were collected fortnightly for a year, from September 2006 to September 2007, in which a total of 1476 organisms were caught, 717 females, 705 males and 54 immature individuals. The main population characteristics were determined through the following parameters: abundance, size composition by sex and throughout the sampling, direct and estimated individual growth rate, size at maturity, fecundity and recruitment. A life table was built to observe the main variables that describe growth and mortality. The maximum size that can be reached by *C. montezumae* within the study site was calculated using von Bertalanffy's growth model, resulting in 48.7 mm TL. The dominant species that coexist with the crayfish were identified; among the most important are *Ambystoma mexicanum*, *Tamnophis* sp., *Cyprinus carpio*, *Oreochromis mossambicus*, *Centrocorisa* and *Belostoma*. The main physicochemical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen concentration and dissolved oxygen percentage of saturation) were measured to know if they have a relationship with the main demographic variables. The results indicate that temperature has a significant effect on the abundance of *C. montezumae*, as population growth increases in the warmer months. However, reproduction and recruitment were present throughout the year. The reproduction occurs at an early age, being the male the first to reach sexual maturity. Mortality is high in young individuals so that few reach reproductive age. Therefore, *C. montezumae* is a species that presents mainly features of  $r$  selection to succeed in their habitat.

## INTRODUCCIÓN

La evolución e historia de vida de los organismos puede explicarse mediante el estudio de dinámica poblacional. La información que se obtenga de dicho estudio se puede aprovechar para adquirir recursos biológicos y económicos. Del mismo modo, permite evaluar los efectos que tiene el deterioro ambiental sobre las poblaciones de los organismos en cuestión, resultando también significativo para el manejo y conservación de las especies.

Las poblaciones fluctúan dependiendo de la temporada, ya que en temporada de secas o de lluvias frías, la población decrece, generalmente, a causa de la temperatura, escasez de alimento, o depredación, generando cambios que son registrados en los principales parámetros demográficos (Chapman y Reiss, 1992). En poblaciones que no tienen restricción geográfica se puede realizar un estudio completo de dinámica poblacional, incluyendo las migraciones, mientras que en las poblaciones aisladas únicamente se puede estudiar la tasa de nacimiento y mortalidad (Molles, 1999).

Para efectuar un estudio de dinámica poblacional, se tienen que estimar los patrones de sobrevivencia, que pueden ser abordados de varias formas. La primera es construir una tabla de vida por "cohorte" registrando el mayor número de individuos que se requiera y que dependerá del estudio que se desee hacer. Se identifican a los individuos que nacieron al mismo tiempo, con el objetivo de efectuar un estudio de la tasa de crecimiento y de sobrevivencia desde su nacimiento hasta su muerte, este grupo se denomina cohorte. Sin embargo, puede ser complicado seguir este método, ya que muchos organismos tienen un prolongado ciclo de vida o son perennes o bien pueden ocupar diferentes hábitats durante las diferentes fases del ciclo de vida, por lo cual resultaría inaccesible para el investigador seguir a toda la cohorte (Chapman y Reiss, 1992; Molles, 1999). La segunda forma, es construir una tabla de vida estática, estimando la edad de las muestras del organismo en estudio. Se puede calcular la tasa de sobrevivencia mediante los datos

obtenidos sólo si se asume que la sobrevivencia y el número de nacimientos es constante; esto puede ser cierto si el número total de nacimientos en la población es el mismo y si la tasa de sobrevivencia es constante año con año. Estas suposiciones son poco frecuentes pero se puede utilizar la tabla de vida estática en poblaciones de especies que se han extinguido para obtener, al menos, un mínimo de información (Vandermeer y Goldberg, 2003). La tercera es determinar la distribución de edades dentro de una población, para lo cual, se capturan varios organismos, se crea dentro del laboratorio un ambiente con características similares a las de su medio, en el que se mantienen durante un tiempo determinado, dependiendo del ciclo de vida, se toman muestras y se determina su crecimiento. Así se puede estimar la sobrevivencia calculando las diferentes proporciones de individuos a través de las clases de edad. Esta técnica, también produce una tabla de vida estática y asume que la diferencia de individuos de una clase de edad a otra es resultado de la mortalidad (Molles, 1999).

Al paso del tiempo, se han realizado diversos estudios sobre la sobrevivencia de los organismos, utilizando los métodos antes mencionados. Se ha mostrado que existen ciertos patrones dentro de las curvas de sobrevivencia obtenidas, dependiendo del tipo de organismo. De esta manera los ecólogos propusieron tres categorías. La primera, llamada curva de sobrevivencia de tipo I, muestra una alta sobrevivencia de individuos juveniles y gran parte de la mortalidad en individuos viejos. La segunda curva de sobrevivencia de tipo II, observa una tasa constante de sobrevivencia que es independiente de la edad. Y la tercera curva de sobrevivencia, de tipo III; indica una alta mortalidad de individuos juveniles seguida de una alta tasa de sobrevivencia en adultos. No obstante, estas curvas de sobrevivencia, no pueden ser aplicadas a todas las poblaciones, puesto que varias de éstas, muestran formas intermedias entre las curvas (Chapman y Reiss, 1992; Molles, 1999; Millery y Ricklefs, 2000; Begon, 2006). Es conveniente englobar en un patrón general a una población porque resulta más sencillo identificar las características principales que presenten, haciendo factible realizar proyecciones concisas de ésta.

Uno de los cálculos importantes de la dinámica poblacional es el número de individuos de una población, denominado abundancia. La abundancia de una población depende de la cualidad intrínseca del hábitat, por lo que en la mayoría de los estudios, la abundancia local da a conocer con mayor detalle y realidad la conexión directa de la población con las interacciones ecológicas (Millery y Ricklefs, 2000). Asimismo, ayuda a comprender el modo en que cada uno de los factores que atañen a las interacciones ecológicas influye sobre la abundancia a través de las tasas de natalidad, mortalidad, dispersión y migración (Begon, 2006).

Con respecto a los patrones reproductivos, de crecimiento y mortalidad, cabe señalar que la categorización general de las especies como de selección  $r$  o  $k$ , puede ayudar en el análisis de una población determinada, ya que a través de aquella se pueden agrupar características relacionadas sobre la reproducción, sobrevivencia, mortalidad y tamaño de la población. Como una referencia, a continuación se presentan de manera resumida las características de cada tipo de estrategia evolutiva.

Tabla 1. Características de la Selección  $r$  y Selección  $K$ , según Pianka 1970 (Krebs, 1985).

	SELECCIÓN $r$	SELECCIÓN $K$
Clima	Variable o impredecible	Relativamente constante o predecible.
Reproducción	A edad temprana semelparidad	Tardía y repetida Iteroparidad
Mortalidad	Alta e independiente de la densidad.	Baja y dependiente de la densidad.
Sobrevivencia	Tipo III.	Generalmente de los tipos I y II
Tamaño de la población	Variable a través de tiempo y sin equilibrio; baja capacidad para soportar las fluctuaciones del medio ambiente; comunidades no saturadas; recolonización. cada año.	Constante con el tiempo y en equilibrio; soporta las variables climáticas; comunidades saturadas y no es necesaria la colonización.
Tamaño corporal	Pequeño	Grande
Duración del ciclo vital	Menor de un año	Mayor de un año

Por lo que se refiere al tipo de selección que opera en *Cambarellus montezumae*, no existe trabajo de investigación alguno que lo especifique; lo que plantea la oportunidad de contrastar los resultados de este estudio con las generalizaciones que se han hecho acerca de esto. En principio *C. montezumae*, puede tener características tanto de la selección *r* como de la *K* porque se presenta en un clima “constante” o predecible con una duración del ciclo vital mayor a un año, características de la selección *k*. Por lo que respecta a su reproducción, ésta es rápida presentándose a una edad temprana, su sobrevivencia tipo III y dependiente de la edad; su mortalidad es alta e independiente de la densidad, el tamaño de su población es variable a través del tiempo y sin equilibrio; y su talla es pequeña (Álvarez y Rangel, 2007); características que pertenecen a la selección *r*. Con este contraste, resulta interesante determinar con más precisión cuales son las diferencias que presenta *C. montezumae* respecto de las generalizaciones existentes.

El presente estudio de la dinámica poblacional de *C. montezumae*, puede situarse como un estudio que será útil para entender las variaciones poblacionales en el mediano y largo plazo, sobre nuevos factores que tengan impacto sobre las poblaciones en el sistema lacustre de Xochimilco y como una línea de base para implementar un posible aprovechamiento de esta especie.

#### IMPORTANCIA DE *CAMBARELLUS MONTEZUMAE*

*Cambarellus montezumae* es presa de anfibios como las especies de ajolotes, endémicos de México, *Ambystoma mexicanum* y *A. tigrinum*; de ranas del género *Rana*; de peces como la carpa *Cyprinus carpio*, especie introducida en México (Hinojosa y Zambrano, 2004) y de los charales *Chirostoma jordani* y de reptiles como la culebra de agua *Tamnophis* sp. En México, *C. montezumae* es aprovechado de manera tradicional como alimento autóctono de origen dulceacuícola en baja escala en varios estados de la república, puesto que es una fuente importante de proteínas (Arana *et al.*, 1998).

Los acociles juveniles son filtradores de materia orgánica finamente fragmentada y consumidores de algas. Cuando crecen se adaptan para procesar el detritus, fraccionan las raíces de la vegetación riparia y las hojas que caen de los árboles, favoreciendo su degradación por parte de las bacterias (Holdich, 2002). Se sabe que la biomasa de algunas de las especies de macrofitas (*Elodea canadenses*, *Scirpus lacustris*, *Chara vulgaris* y *Potamogeton natans*) decrece con el aumento en la abundancia de los acociles *Pacifastacus leniusculus* y *Astacus astacus*, por lo tanto la composición de macrofitas difiere y está relacionada con la abundancia de estos acociles. De la misma manera pueden prevenir la dispersión de estas especies de macrofitas y causar una disminución de hojas flotantes de este tipo de vegetación (Nystrom *et al.*, 1996). *Cambarellus montezumae* es pieza fundamental como consumidor de especies macrofitas como *Elodea* sp., planta acuática que se encuentra disponible en su hábitat (Serna *et al.*, 2002).

Se ha demostrado que un incremento en la población de acociles crea un cambio en el tamaño y en la composición de especies de algunos invertebrados (Chironomidae, Gastropoda y Odonata) (Holdich, 2002). *Cambarellus montezumae* se alimenta de larvas de invertebrados, dentro de los insectos de Hemiptera (chinche y escorpión acuático), Coleoptera (escarabajo acuático), Odonata (libélula) y Phasmida (insecto palo); dentro de los crustáceos, de larvas de anostracos (*Artemia*), cladóceros (pulga de agua) y anfípodos (*Hyaella* sp.) y de rotíferos (Moctezuma, 1996).

Por lo tanto, se puede afirmar que *C. montezumae* tiene una influencia significativa en varios niveles tróficos, tanto como depredador como presa. No se ha propuesto cómo sería la dinámica en los cuerpos de agua que habita *C. montezumae*, si la especie fuera extirpada. Pero seguramente, dado que los acociles pueden tener una biomasa importante, traería consecuencias que afectarían la diversidad de especies al quitarle un eslabón crítico a las tramas tróficas.

Los animales poiquilotermos sobreviven dentro de un rango definido de temperatura por lo que una variación en ésta, tiene como resultado un cambio en el consumo de oxígeno del organismo y por ende, un mayor gasto de energía metabólica. En los acociles la habilidad para tolerar los cambios de temperatura varía de acuerdo a la familia a la cual pertenezca. Los miembros de la familia Astacidae presentan baja tolerancia a los límites letales de temperatura en contraste con los acociles pertenecientes a la familia Cambaridae. Por ejemplo, la reproducción del astácido *Astacus astacus* se limita por bajas temperaturas ya que requiere un mínimo de 15 °C durante al menos 3 meses para reproducirse, en cambio los acociles del género *Procambarus* pueden sobrevivir y reproducirse en lagos del hemisferio norte y sobrevivir al invierno en Europa (Holdich, 2002).



## ANTECEDENTES

Aún cuando *C. montezumae* es un componente crítico dentro del ecosistema lacustre, se conoce poco acerca de su biología. Hasta ahora son escasos los estudios que se han realizado; sin embargo, algunas investigaciones han aportado aspectos significativos de dicho organismo. En síntesis los estudios hasta ahora realizados se han enfocado a: a) determinar el efecto de la temperatura sobre el crecimiento de *C. montezumae* (Cornejo, 1991; Escobar, 1991; Barbosa, 1998; Rodríguez y Carmona, 2002), encontrándose que temperaturas alrededor de los 20 °C son las más favorables para la especie; b) determinar su importancia como alimento de subsistencia a baja escala y dentro de las tramas tróficas (Moctezuma, 1996; Arana *et al.*, 1998), puesto que es una especie que interviene en varios niveles tróficos y es capturado para consumo humano en algunas regiones; y c) en su papel ecológico desde varios puntos de vista (Salazar, 1999; Hinojosa y Zambrano, 2004), como puede ser su interacción con especies introducidas como las carpas. Rangel (2004) con el objetivo de proporcionar información sobre su biología efectuó un estudio poblacional de este acocil. Concluyó que hubo un reclutamiento continuo en la población, asimismo todas las tallas estuvieron siempre presentes, con un máximo de 41.5 mm en hembras y de 36.9 mm en machos y no se encontró una relación significativa entre la abundancia y los parámetros abióticos. Los estudios citados se describen en el Apéndice 1

Siendo *C. montezumae* una especie de amplia distribución que puede mostrar altas abundancias estacionales, que es utilizado como alimento por una amplia variedad de organismos, incluyendo al ser humano, y que interactúa también posiblemente como depredador de un alto número de especies, queda claro que el conocimiento que se tiene sobre su biología es limitado.

## **OBJETIVO GENERAL**

Efectuar un estudio sobre la dinámica poblacional de *Cambarellus montezumae* en la pista de remo y canotaje "Virgilio Uribe" Xochimilco. México D.F., para establecer los cambios estacionales que ocurren en abundancia, composición de tallas, tasa de crecimiento individual, patrón de reclutamiento, época de reproducción y fecundidad. Aunado a estas variables poblacionales, determinar si existe relación entre los principales parámetros, como temperatura, concentración de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y pH con la abundancia.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. A partir de datos de campo, realizar un estudio del crecimiento individual considerando todas las fases del desarrollo, desde la eclosión hasta la fase adulta.
2. Describir los cambios estacionales en abundancia, composición de tallas y tasa de crecimiento de *C. montezumae*.
3. Construir una tabla de vida para poder realizar comparaciones futuras entre la misma población y otras poblaciones de *C. montezumae*.
4. Establecer si existe una relación significativa entre las variables de calidad del agua consideradas y la abundancia.

## METODOLOGÍA

Área de muestreo. Se efectuó una colecta preliminar para delimitar el área de muestreo y los parámetros abióticos a medir. El sitio de colecta se estableció tomando en cuenta que *C. montezumae* prefiere los ambientes sedimentarios del tipo pantanoso, provistos de vegetación acuática enraizada, flotante y/o sumergida, donde el aporte de residuos de origen animal y vegetal es abundante (Holdich, 2002). El área de estudio se encuentra en el canal de entrenamiento de la Pista Olímpica de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe", que se sitúa en Cuemanco, Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, D.F., a 26 km del centro de la capital. Se ubica a los 19°17'31.25" N y 99°06'09.92" W, a una altitud de 2235.115 m, posee una longitud de 1,200 m de largo y 30 m de ancho (Alva, 1996). El área de estudio se situó entre el kilómetro 3 y 3.8, cubriendo un área de aproximadamente 30 m<sup>2</sup> y una profundidad de 1.10 m, ya que en esta zona se localizó vegetación riparia y se tiene un ingreso de materiales orgánicos a la pista, tales como: hojas, polen, semillas, ramas de los árboles y sedimentos predominantes como limos y arcillas.

Colecta. Para contar con un estimado de la abundancia poblacional, se realizó un programa de 24 muestreos quincenales para la colecta de acociles. Se estandarizó el esfuerzo de colecta con una red de cuchara de 2 m de longitud y de base 50 x 40 cm con una luz de malla de 0.5 mm, durante 1 hora (10:00 -11:00 am), muestreando en la orilla y sobre la superficie del cuerpo acuático. Se utilizó un multisensor de calidad de agua de la marca Hydrolab, modelo DataSonde 4 para la medición de los parámetros abióticos, temperatura, pH, porcentaje de saturación del oxígeno disuelto y concentración de oxígeno disuelto. Se efectuó un análisis de la base de datos sobre la temperatura tomada, durante todo el día, con un sensor HOBO Pendant Temp durante el año de 2006 (Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología, UNAM). De los datos que registró el sensor se tomaron los valores mínimo, máximo y promedio de todos los viernes de cada mes. Para conocer la fauna de acompañamiento, en el proceso de colecta se tomaron muestras de insectos y peces que posteriormente fueron identificados, y se observó la presencia de otros organismos que se encuentran en el cuerpo lacustre.

Análisis poblacional. Para generar la tabla de vida, se midió la talla de los acociles empleando un vernier con precisión de 0.5 mm para organismos mayores de 10 mm y un microscopio estereoscópico Olympus SZH-10 para organismos menores de 10 mm. Todos los organismos fueron sexados y se determinó el estadio del ciclo de vida del macho (juvenil, forma I, forma II) de acuerdo a los procesos apicales del primer par de pleópodos y de los ganchos de los isquios del tercer y cuarto par de pereiópodos (Rojas, 2003). Para las hembras, éstas se determinan únicamente como hembras o hembras ovígeras. Se estableció la longitud total en las hembras ovígeras, se contó el número de huevecillos y en 10 de ellas (5 de campo y 5 de laboratorio) se midió el diámetro de 10 huevecillos por puesta con un reglilla micrométrica y microscopio de disección.

Mantenimiento en el laboratorio. Para cuantificar el crecimiento directo individual, se colocaron 109 organismos en recipientes individuales dentro de un acuario a lo largo de 1 año, para medir directamente el incremento de muda. El incremento de muda se refiere al aumento de talla que presenta un individuo al momento de mudar. Para obtener los parámetros de reproducción, se mantuvieron dentro de un acuario a machos forma I y a hembras sexualmente maduras para obtener puestas, como también, estimar la fecundidad y el tiempo de incubación. Asimismo, se dio seguimiento a los organismos recién eclosionados para calcular la edad de las primeras clases de talla.

Todos los organismos se mantuvieron en acuarios con un volumen de 20 L y una densidad de 20 individuos por acuario, siempre fueron alimentados con pelets sumergibles de la marca Tetramin, el cual es utilizado como alimento para peces y presenta los siguientes nutrientes en 55g: proteína 47%, grasa 10%, fibras 2%, y fósforo 0.8%. El agua se mantenía a temperatura ambiente con una mínima de 15 °C en época de lluvias frías (diciembre-febrero) y una máxima de 20 °C en temporada de secas y lluvias calientes (marzo-septiembre), el pH 7.5, concentración de oxígeno disuelto > 4 mg/l. Estas condiciones se encontraron dentro de los intervalos normales que se observan en el lugar de colecta.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para establecer la relación entre la temperatura, concentración de oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto y pH con la abundancia se realizó un análisis de regresión lineal con el número total de individuos por mes y el parámetro abiótico de cada mes, para lo cual se utilizó el programa estadístico STATA (Intercooled Stata 9.1).

El estudio de la composición de tallas y abundancia se basó en el análisis de histogramas, para los que se determinaron clases de talla de 2 mm. Con la finalidad de reducir la dispersión de los datos se utilizó la fórmula para fijar el intervalo de clase aproximado ( $\text{valor máximo} - \text{valor mínimo} / \text{número de clases}$ ). El número de clases se calculó mediante la fórmula de Sturge (Prem, 2007). Se comparó la diferencia de tallas y la edad de reproducción entre sexos con una prueba de Mann-Whitney (McCleery *et al.*, 2007). Para el análisis de la fecundidad se utilizó una correlación entre el número de huevecillos y la longitud total (mm) de la hembra ovígera y se contrastó la fecundidad entre las hembras ovígeras de campo y laboratorio con una prueba de t-Student. Este análisis estadístico (prueba de t-Student) se estimó para muestras independientes y varianzas desiguales (Guerra *et al.*, 1998 e Infante *et al.*, 2005).

El análisis del crecimiento directo individual se efectuó mediante la medición de los incrementos de muda. La manera de analizar estos datos es relacionando el incremento de muda total de cada uno de los individuos con la talla antes de mudar (Álvarez *et al.*, 1995). Para obtener la tasa de crecimiento mensual y diaria se calculó el promedio del total de incremento de muda de cada uno de los organismos, los cuales cubrieron el intervalo total de tallas observado en el campo. Se efectuó una prueba de Mann-Whitney para observar si existe una diferencia significativa entre juveniles y adultos sobre el incremento de talla y periodo de intermuda (McCleery *et al.*, 2007).

Con los datos obtenidos se construyó una tabla de vida estática para describir los índices de mortalidad y sobrevivencia por edades de la población de campo (Krebs, 1985; Chapman y Reiss, 1992; Molles, 1999; Millery y Ricklefs, 2000; Begon, 2006).

Para estimar los parámetros de mortalidad y sobrevivencia, se debe establecer el intervalo de edad ( $x$ ), que puede ser en años para animales con alta longevidad y en días para los menos longevos. Se utilizó el valor de la tasa promedio mensual de 2.535 mm LT de *C. montezumae* para estimar la edad (30 días) y el intervalo de talla para la tabla de vida. Este valor se presenta en Álvarez y Rangel (2007) obtenido mediante un análisis de Bhattacharya. Se realizó un ajuste exponencial negativo para obtener los datos referente al número de sobrevivientes ( $n_x$ ), para lo cual, se tomaron los datos a partir del intervalo de 14 mm de la población total del muestreo, ya que en éste se adquirió una  $r^2$  significativa. Y se efectuaron los procedimientos correspondientes para obtener  $x$  = edad en días,  $n_x$  = número de sobrevivientes,  $l_x$  = proporción de organismos sobrevivientes,  $d_x$  = número de individuos que mueren durante el intervalo  $x$  a  $x + 1$ ,  $q_x$  = índice de mortalidad y  $e_x$  = esperanza promedio de vida. Las fórmulas para obtener  $l_x$ ,  $d_x$ ,  $q_x$  y  $e_x$  se presentan en el apéndice 2.

Para la estimación del crecimiento, a partir del análisis de frecuencias de tallas, se empleó el método de Bhattacharya para calcular los componentes gaussianos (valores medios de longitud) por medio de versiones actualizadas del programa estadístico STATA (Intercooled Stata 9.1). Los valores medios de longitud, se utilizan para estimar los parámetros de crecimiento ( $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$ ). Para estimar la Longitud asintótica ( $L_\infty$ ) se aplicó el Gráfico de Ford-Walford utilizando el programa estadístico. Posteriormente se obtuvieron el parámetro de curvatura ( $k$ ) y el parámetro de condición inicial ( $t_0$ ) mediante el Gráfico de Beverton-Holt. Con los valores de los parámetros de crecimiento se realizó la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy para obtener la talla máxima (Salgado *et al*, 2005; Sparre y Venema, 1997). El análisis para la estimación de la talla máxima se detalla en el apéndice 2.

# RESULTADOS

## PARÁMETROS ABIÓTICOS

Las variables abióticas no presentaron una correlación con respecto a la abundancia a excepción de la temperatura. El mínimo de pH fue de 6.8 en febrero-abril y el máximo de 9.3 en diciembre, arrojando un promedio anual de  $7.6 \pm 0.8$  (Fig. 1). La temperatura presentó un máximo de 23 °C en septiembre y un mínimo de 16 °C en diciembre, presentando un promedio anual de  $20 \pm 2$  °C (Fig. 2).

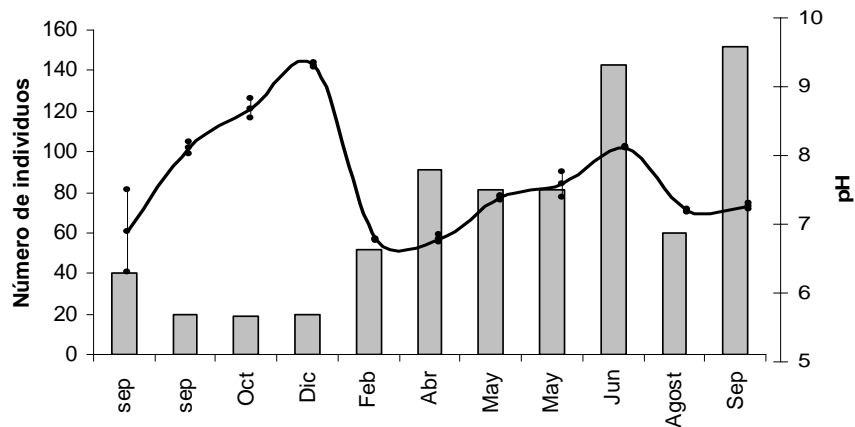


Figura 1. pH (línea) en relación al número de individuos (barras).

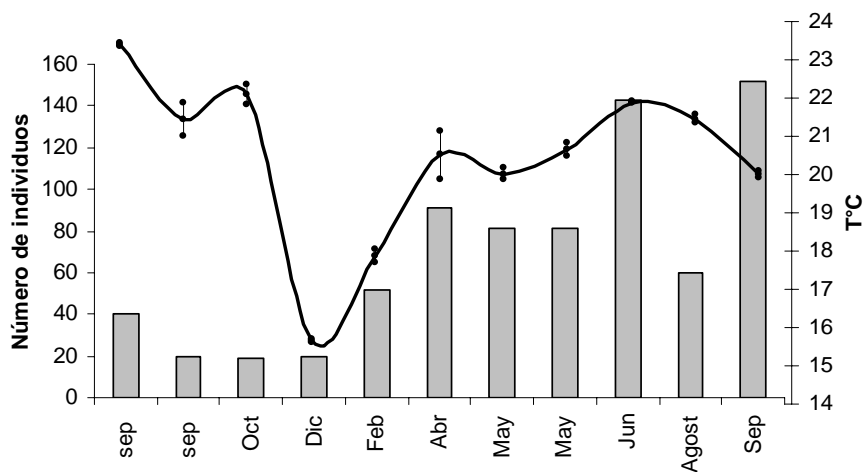


Figura 2. Temperatura (línea) con respecto al número de individuos (barras).

El valor mínimo de la concentración de oxígeno disuelto fue de 4.8 mgO<sub>2</sub>/L en mayo y el máximo de 14.5 mgO<sub>2</sub>/L en junio, presentando un promedio anual de 8.7 ± 3.2 mgO<sub>2</sub>/L (Fig. 3). El mínimo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto fue de 62.2% en mayo y el máximo de 204.8% en junio, con un promedio total de 115.5 ± 43.9% (Fig. 4).

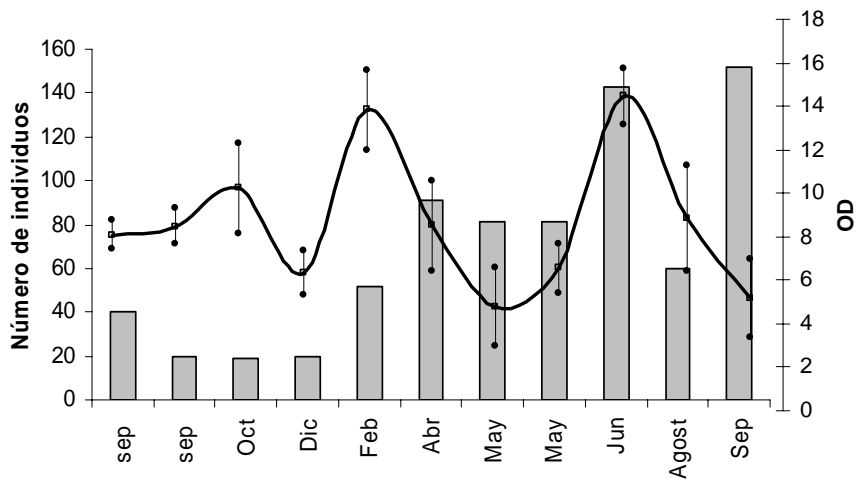


Figura 3. Concentración de oxígeno disuelto (línea) con respecto al número de individuos (barras).

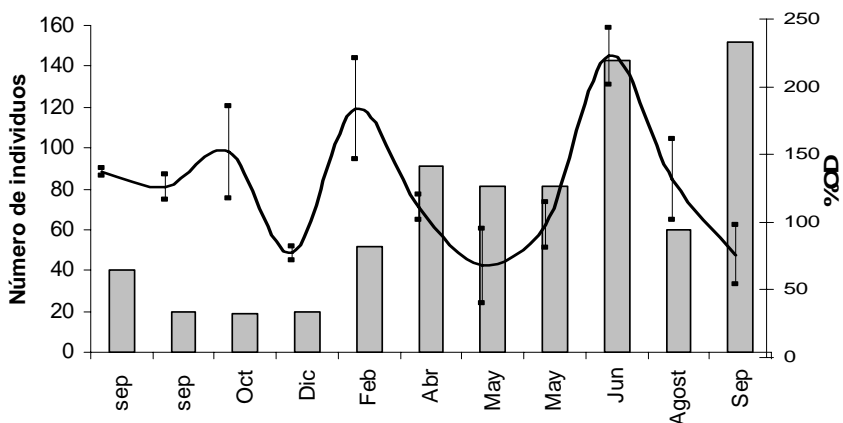


Figura 4. Porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (línea) en relación al número de individuos (barras).



Con respecto a la temperatura tomada en el año 2006 (de febrero a noviembre considerando todo el día, para todos los viernes), se registró un máximo de 30.7 °C en la última semana de abril y un mínimo de 10.9 °C a mediados de marzo, con un promedio anual de  $21.7 \pm 3.2$  °C (Fig. 5).

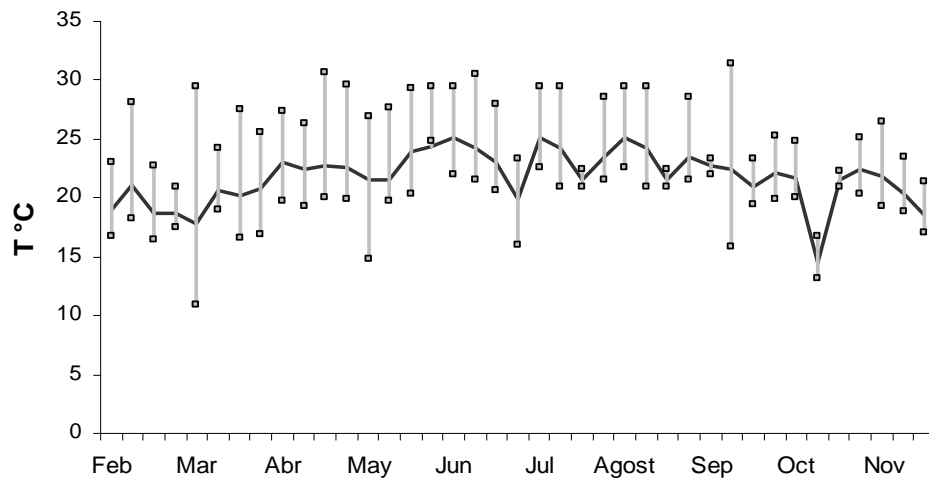


Figura 5. Temperatura anual. Se muestra el promedio (línea central), el máximo y mínimo (puntos) de un día a la semana.

## ABUNDANCIA

Se capturaron 1476 organismos a lo largo de 24 muestreos; de los cuales 717 fueron hembras, 705 machos y 54 individuos indeterminados. La cantidad de individuos varió en todas las muestras, sin embargo se aprecia un aumento de marzo a junio y una posterior disminución. El mayor número de individuos se capturó en septiembre con un total de 152 acociles, lo cual corresponde a la vigésima cuarta colecta. En diciembre se obtuvo la menor cantidad de individuos con un total de 20 (Fig. 6).

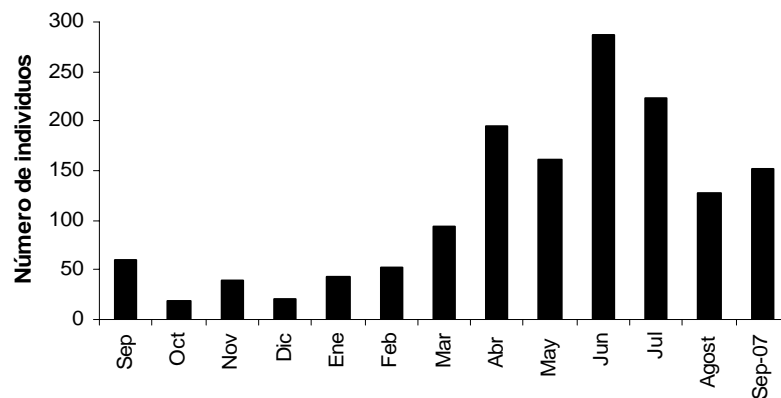
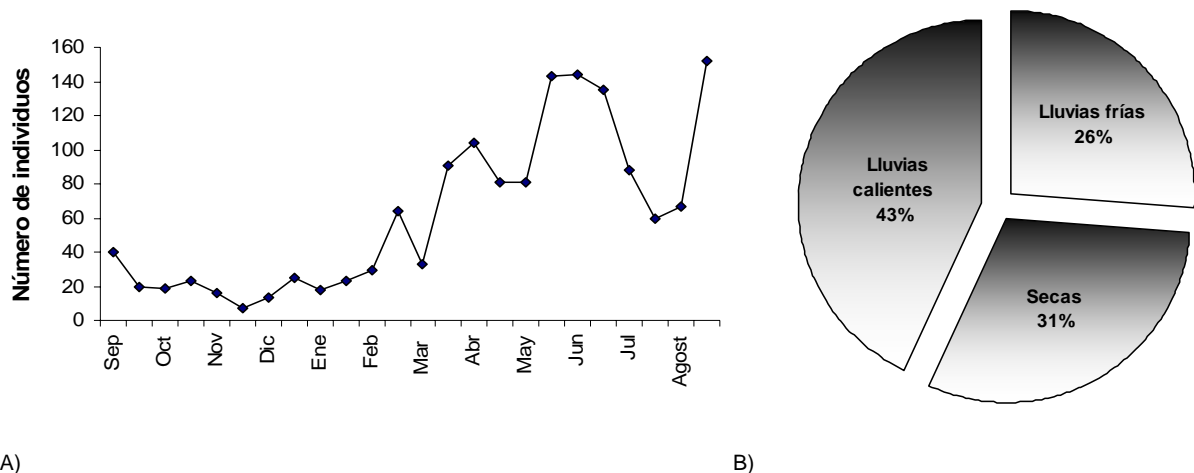


Figura 6. Número total de individuos de *C. montezumae*. Representación mensual.

El muestreo a partir de abril sugiere un aumento en la población a lo largo del año, teniendo en época de secas y lluvias calientes un porcentaje mayor de individuos que a principios de la temporada de lluvias frías (Fig. 7).



A)

B)

Figura 7. A) Resultado del muestreo de *C. montezumae* a través del tiempo. B) Diagrama que muestra el porcentaje de abundancia por estaciones del año.

La relación entre la abundancia y la temperatura fue significativa ( $p = 0.0273$ ). Se advierte que al aumentar la temperatura, en un intervalo de 15.6 a 23.3 °C, el número de individuos crece con respecto a la misma (Fig. 8).

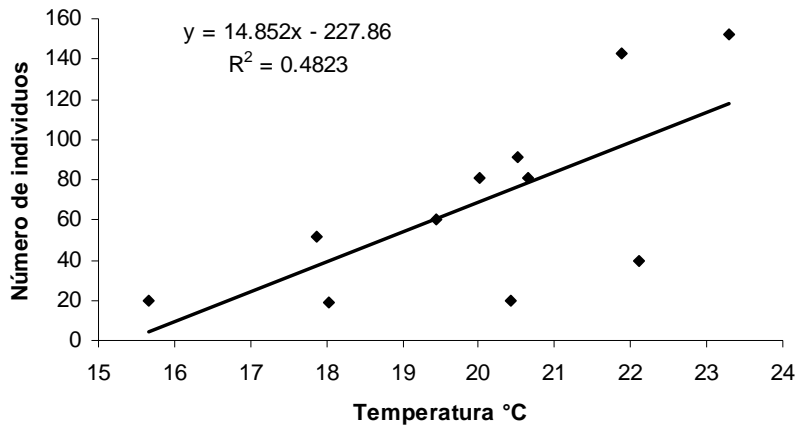
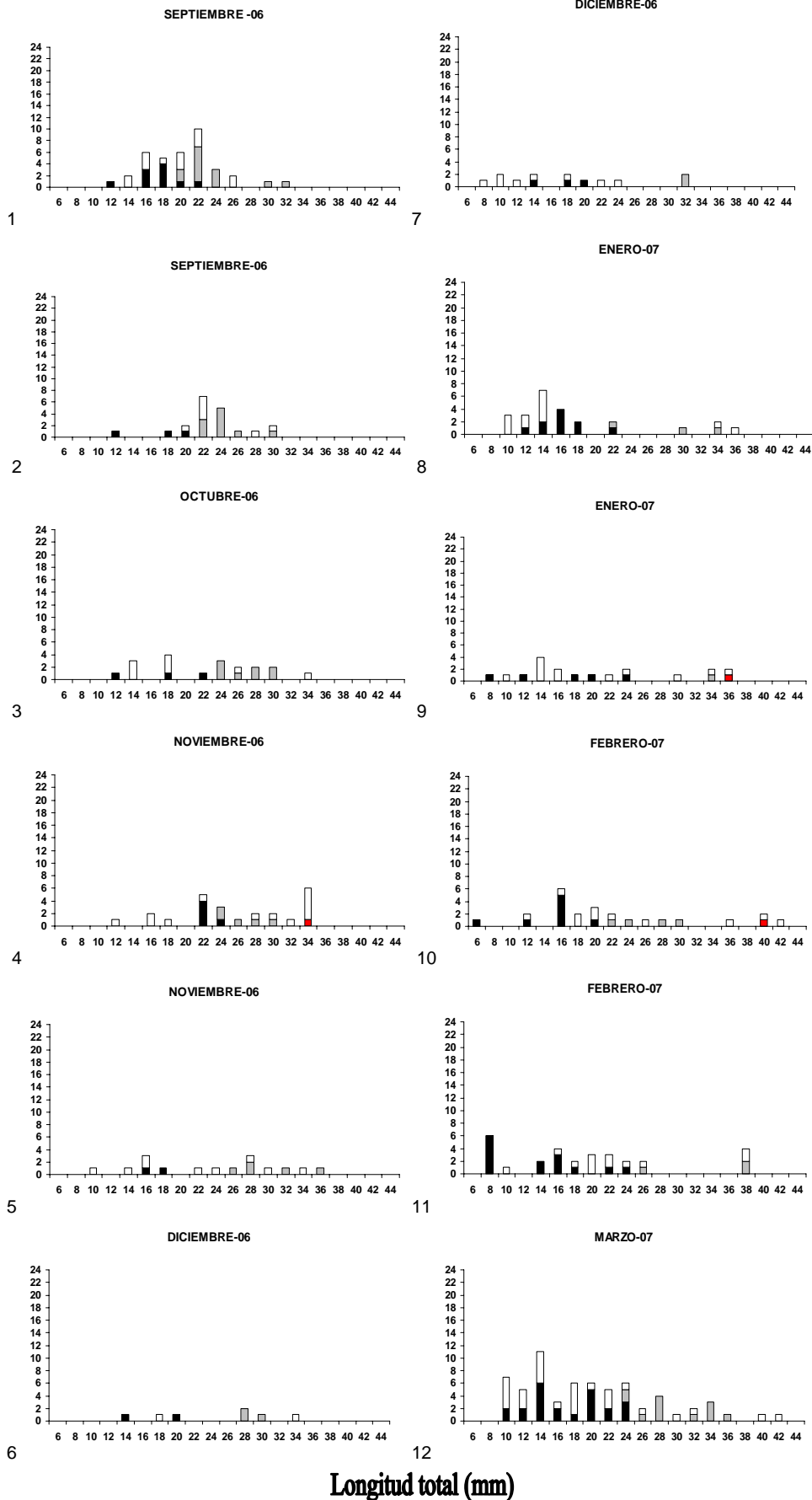


Figura. 8. Regresión lineal entre la temperatura y el número de individuos.

Los histogramas de distribución por talla muestran que en la temporada de lluvias frías la población se encuentra latente y es probable que las hembras ovígeras colectadas en los meses de noviembre, enero y febrero sean las precursoras de la nueva generación que nace durante la temporada de secas. En la época de secas aumentó la población, a partir de abril se tiene una mayor cantidad de acociles juveniles pero en temporada de lluvias calientes comienza a incrementar el número de individuos de mayor talla y se encuentra una cantidad considerable de hembras y machos reproductivos con un total del 21.2% de la población muestral de ésta temporada. A principios de la temporada de lluvias frías, gran parte de la población son individuos sexualmente maduros. Se capturaron organismos entre 6 y 8 mm LT, e individuos entre 9 y 12 mm LT en todo el año; lo que confirma la existencia de un reclutamiento continuo, comparado con lo que reportan Arana *et al* (1998) y Rangel (2004).

En los histogramas que a continuación se presentan, se puede observar el aumento de la población muestral en la temporada de lluvias calientes (Fig. 9).

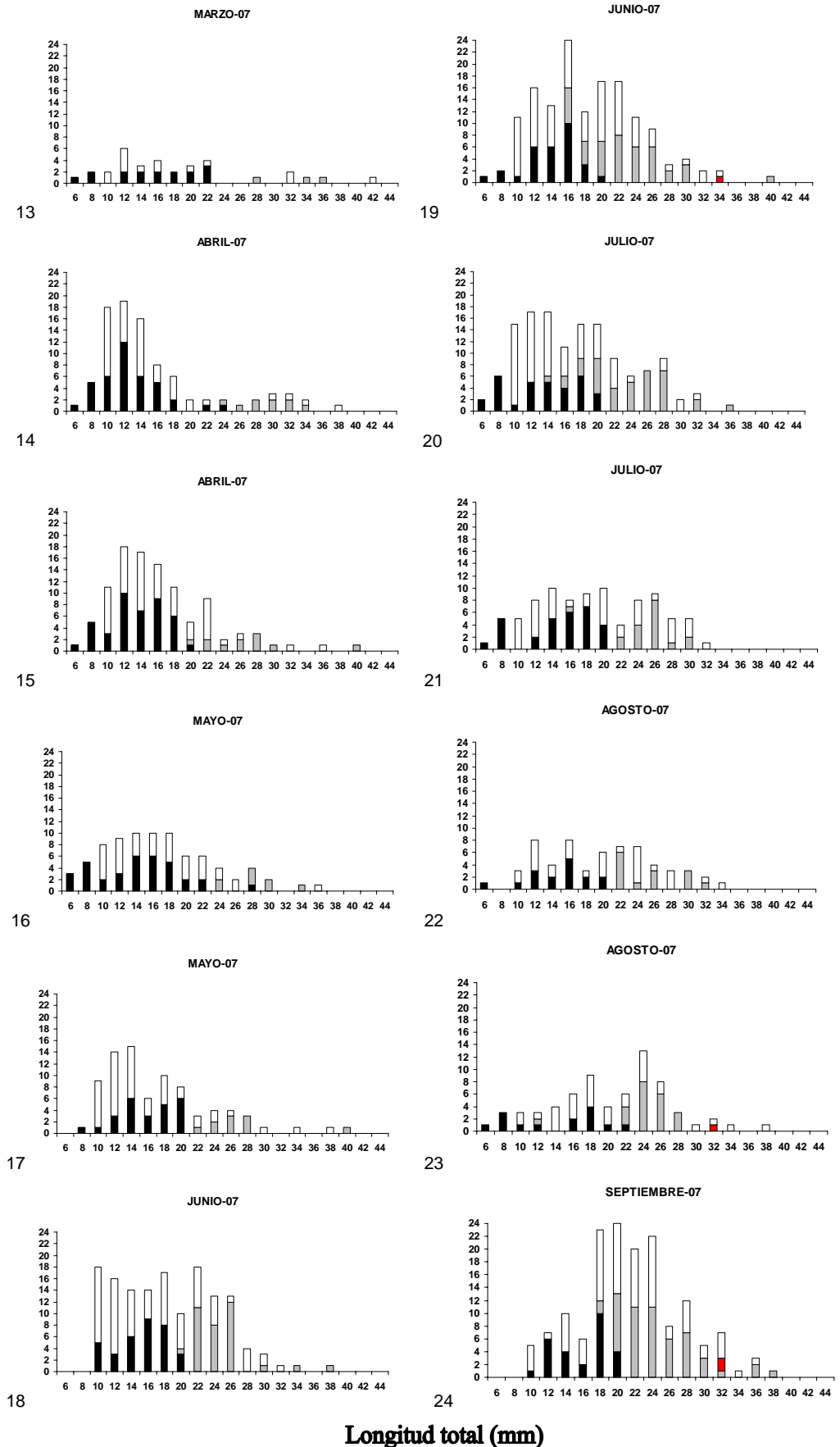
Número de individuos



Longitud total (mm)

Figura 9. A. Distribuciones por talla de *C. montezumae* en el muestreo anual (septiembre/06 – marzo/07).

Número de individuos



Longitud total (mm)

Figura 9 B. Distribuciones por talla de *C. montezumae* en el muestreo anual (marzo/07 – septiembre/07). Las barras en negro indican -juveniles, en gris- machos, en blanco- hembras y en rojo- hembras ovígeras.

## COMPOSICIÓN DE TALLAS

Las tallas de los organismos capturados variaron desde 5.9 hasta 44 mm LT, siendo las clases más abundantes de 12 a 22 mm LT. Existe un sesgo en la clase de 8 mm LT ya que por su talla, éstos se encuentran resguardados entre las vainas de la vegetación riparia, por lo cual son de difícil captura. Los datos de talla de 6 mm fueron tomados en laboratorio, solo 13 individuos de 101 se colectaron en campo (Fig. 10).

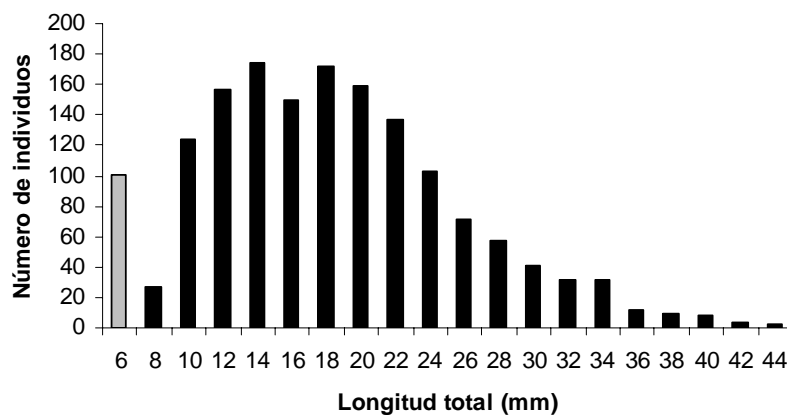


Figura 10. Distribución por talla de la población total de *C. montezumae*. La barra en gris muestra a los individuos obtenidos en laboratorio.

Las hembras exhibieron un intervalo de talla de 10 a 44 mm, mientras que los machos tuvieron una talla de 10 a 41 mm LT (Fig. 11).

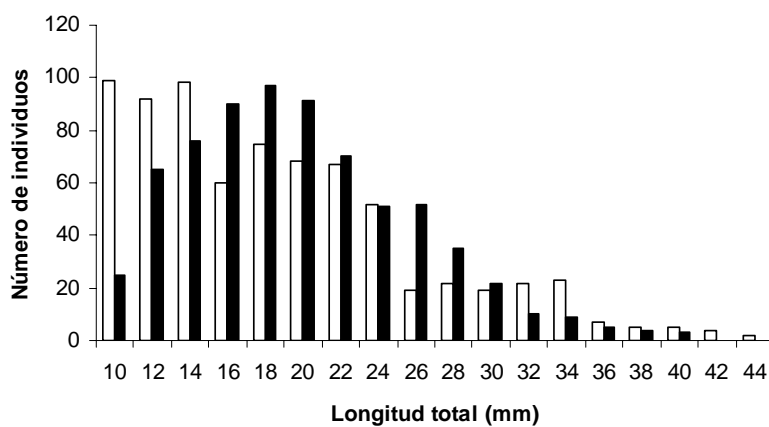


Figura 11. Talla de hembras y machos de *C. montezumae*. Número de hembras (columna blanca) y machos (columna negra) representados en el muestreo total de *C. montezumae*.

## MACHOS

En lo que se refiere a los distintos estadios de los machos, de 10 a 25 mm LT fueron juveniles, de 14 a 37.7 mm LT corresponden a los machos forma II, y finalmente de 16.4 a 41 mm LT pertenecen a los machos forma I (Fig. 12).

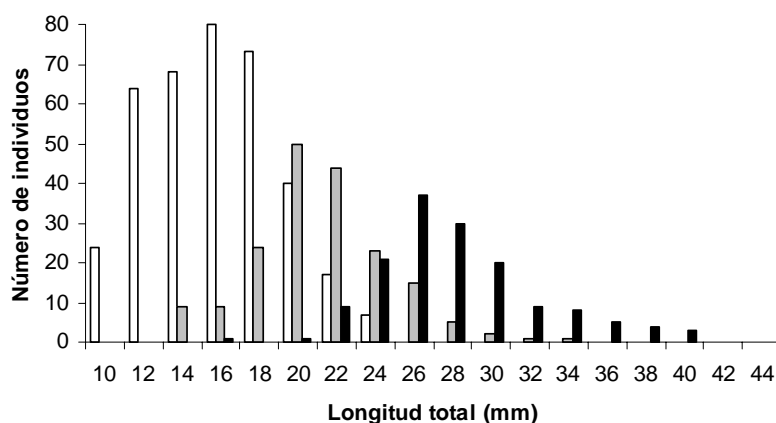


Figura 12. Número de machos de *C. montezumae*. Machos juveniles (columnas blancas), machos forma II (columnas grises) y machos forma I (columnas negras).

Cada uno de los diferentes estadios de machos se observaron durante todo el periodo de muestreo. Los machos juveniles se encontraron en baja proporción durante el periodo de septiembre a febrero, mientras que en el transcurso de marzo a junio su número aumentó considerablemente. Con respecto a los machos forma I y forma II, su número fue escaso durante la temporada de lluvias frías y de secas (septiembre-06 a mayo-07); no obstante, en época de lluvias calientes (junio a septiembre-06) el número de individuos incrementó significativamente. Tanto los machos forma II como los machos forma I se encuentran en menor número con respecto a los machos juveniles (Fig. 13).

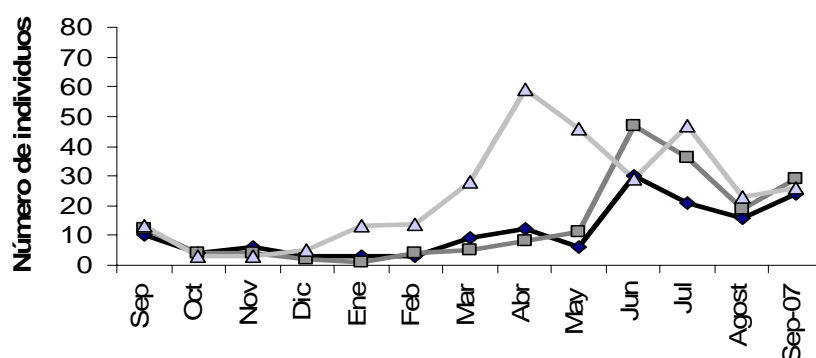


Figura 13. Número de machos a través del tiempo. Machos juveniles (gris claro), machos FII (gris oscuro) y machos FI (negro).

## HEMBRAS

En relación a las hembras, su talla varió de 10 a 44 mm LT (Fig. 14). Las hembras más grandes (38 a 44 mm) aparecieron en los meses de enero, febrero, marzo y mayo. La población muestral de hembras comienza a incrementar en el mes de marzo y a disminuir a principios de agosto. En cuanto a las hembras ovígeras se localizaron en menor proporción en los meses de noviembre, enero, febrero, junio, agosto y septiembre, su talla varió de 22 a 44 mm,  $\bar{x} = 34.3 \pm 4.8$  mm LT (Fig. 15).

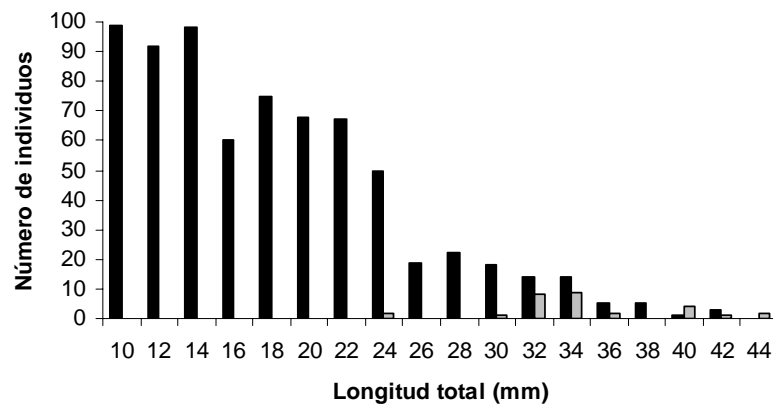


Figura 14. Número de hembras de *C. montezumae* por intervalos de dos milímetros; las columnas en blanco indican a las hembras ovígeras.

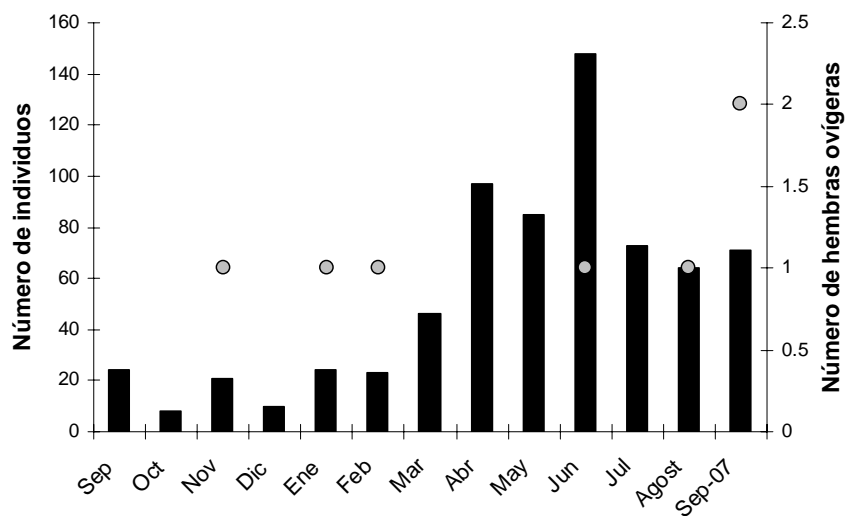


Figura 15. Número de hembras a lo largo del periodo de muestreo. Los puntos en gris indican a las hembras ovígeras.



Su fecundidad fluctuó de 11 a 103 huevecillos ( $\bar{x} = 45.5 \pm 21.9$ ) a nivel poblacional muestral y de laboratorio (Fig. 16). El diámetro de los huevecillos fue de 1.4 a 1.7 mm. La variación fue de 0.1 - 0.2 mm de diámetro en los huevecillos, pertenecientes a la misma hembra. La mayoría de éstos fueron esféricos; sin embargo, se observaron algunos ovales con un promedio de 1.4 x 1.5 mm.

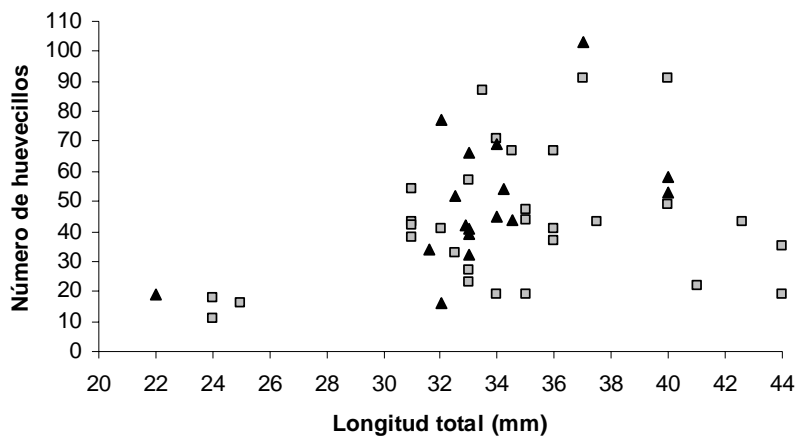


Figura 16. Relación entre la talla de hembras ovígeras contra el número de huevecillos. Los triángulos en negro señalan a las hembras ovígeras colectadas en campo y los cuadros en gris indican a las hembras ovígeras obtenidas en laboratorio.

Se hallaron 5 hembras ovígeras en 6 meses de colecta (noviembre, enero, febrero, junio, agosto y septiembre) y 8 en laboratorio (además de los anteriormente mencionados, marzo y abril); exhibiendo una reproducción continua durante todo el año.

## CRECIMIENTO DIRECTO INDIVIDUAL

Se cuantificó el crecimiento directo individual durante un periodo correspondiente a los meses de septiembre a marzo. Se estimó el incremento de muda (Fig. 17) como también el periodo de intermuda (Fig. 18) en 109 organismos, los cuales presentaron en promedio 3 mudas dando un total de 327. El incremento mínimo de muda mensual correspondió a 0.15 mm LT, mientras que el incremento máximo fue de 4.56 mm LT. El promedio de incremento mensual de la tasas calculadas fue  $\bar{x} = 1.4 \pm 1.1$  mm LT; y de incremento diaria de  $\bar{x} = 0.05 \pm 0.04$  mm LT.

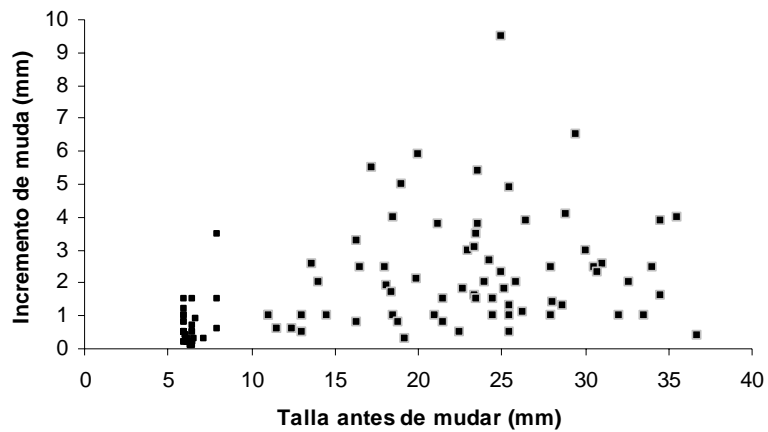


Figura 17. Relación de la talla individual antes de mudar contra el incremento de muda. Los rombos representan a los juveniles.

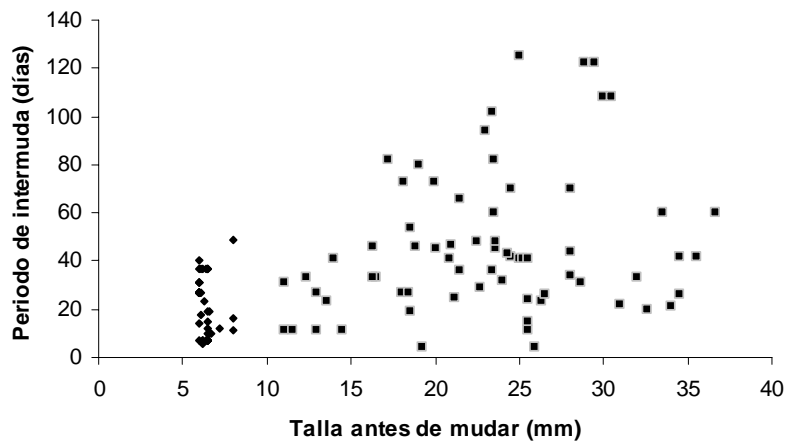


Figura 18. Relación de la talla individual antes de mudar contra el periodo de intermuda. Los rombos representan a los juveniles.

En hembras, el incremento mínimo de muda fue de 0.20 mm LT y el máximo de 3.93 mm LT con un promedio de incremento de  $\bar{x} = 1.63 \pm 0.99$  mm LT (Fig. 19). Para los machos correspondió a un mínimo de 0.47 y un máximo de 4.56 mm LT, con un promedio de incremento de  $\bar{x} = 1.85 \pm 1.13$  mm LT (Fig. 20). En el análisis estadístico (prueba de t-Student) no se encontró una correlación significativa ( $p = 0.3967$ ), por lo tanto, en promedio, los machos no presentan una tasa de crecimiento mayor que las hembras.

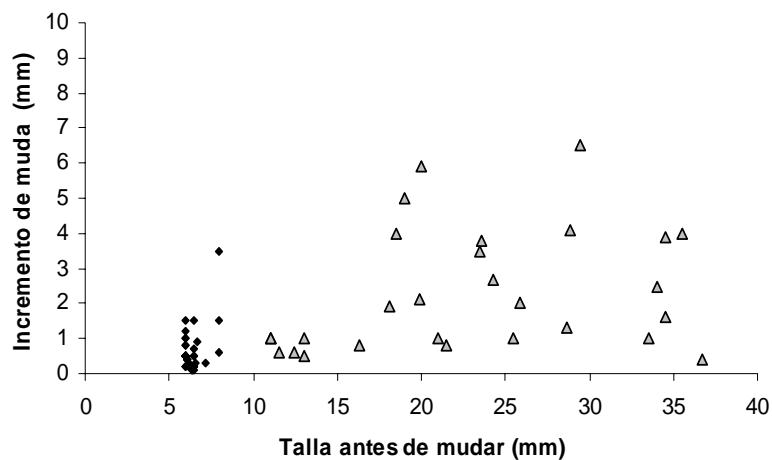


Figura 19. Relación entre la talla antes de mudar contra el Incremento de muda en hembras. Los triángulos muestran a las hembras y los rombos a los juveniles.

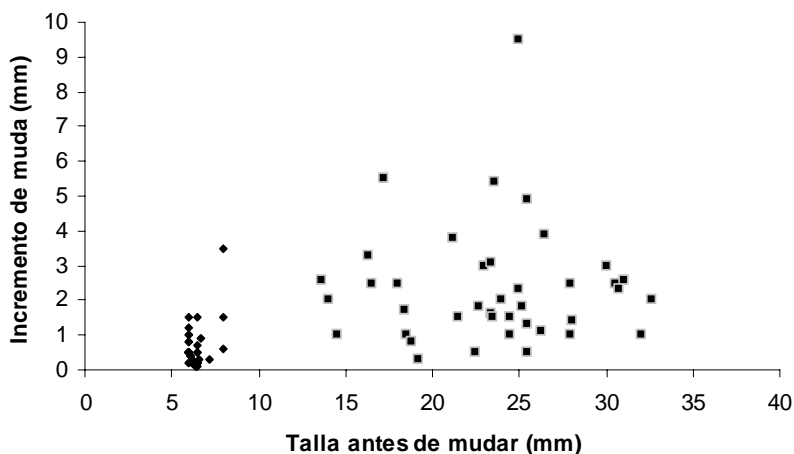


Figura 20. Relación entre la talla antes de mudar contra el Incremento de muda en machos. Los cuadros muestran a los machos y los rombos a los juveniles.

En hembras, el periodo mínimo de intermuda fue de 4 días y el máximo de 122 con un promedio de  $\bar{x} = 45.8 \pm 30.2$  (Fig. 21). Para los machos correspondió a un mínimo de 4 y un máximo de 125 días, con un promedio de  $\bar{x} = 45.6 \pm 29.4$  (Fig. 22).

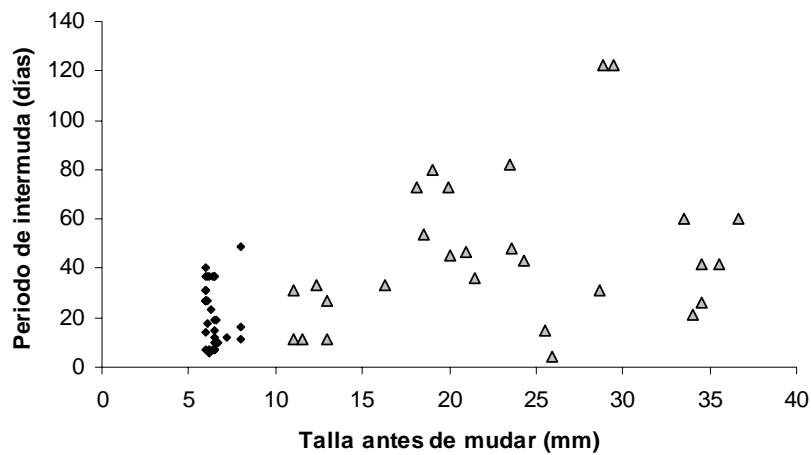


Figura 21. Relación entre la talla antes de mudar contra el periodo de intermuda en hembras. Los triángulos indican a las hembras y los rombos a los juveniles

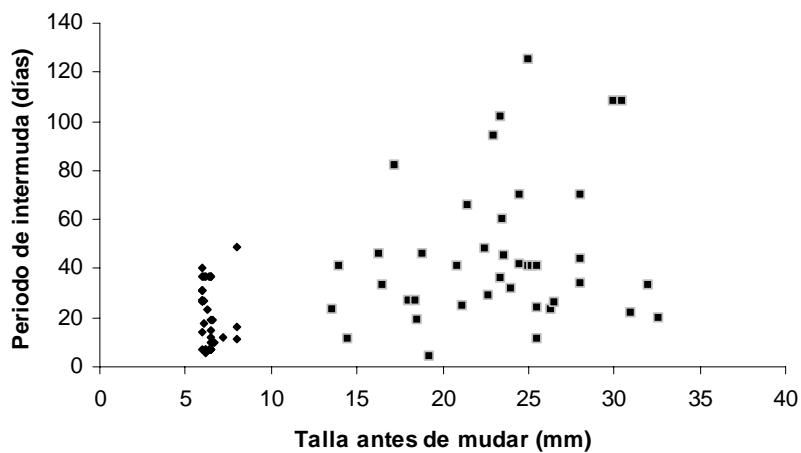


Figura 22. Relación entre la talla antes de mudar y periodo de intermuda en machos. Los cuadros muestran a los machos y los rombos a los juveniles.

## TABLA DE VIDA

Tabla 2. Tabla de vida de *Cambarellus montezumae* en Xochimilco, México, DF:  $x$  = edad en días,  $n_x$  = número de sobrevivientes,  $l_x$  = proporción de organismos sobrevivientes,  $d_x$  = número de individuos que mueren durante el intervalo  $x$  a  $x + 1$ ,  $q_x$  = índice de mortalidad y  $e_x$  = esperanza promedio de vida.

Días (t)	$n_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$e_x$
15	1242.7	1	169.9	0.14	3.9
30	1072.8	0.863	273.3	0.25	3.4
60	799.6	0.643	203.7	0.25	3.4
90	595.9	0.480	151.8	0.25	3.4
120	444.1	0.357	113.1	0.25	3.4
150	331.0	0.266	84.3	0.25	3.4
180	246.7	0.198	62.8	0.25	3.4
210	183.8	0.148	46.8	0.25	3.3
240	137.0	0.110	34.9	0.25	3.3
270	102.1	0.082	26.0	0.25	3.2
300	76.1	0.061	19.4	0.25	3.2
330	56.7	0.046	14.4	0.25	3.1
360	42.3	0.034	10.8	0.25	3.0
390	31.5	0.025	8.0	0.25	2.8
420	23.5	0.019	6.0	0.25	2.6
450	17.5	0.014	4.5	0.25	2.4
480	13.0	0.010	3.3	0.25	2.0
510	9.7	0.008	2.5	0.25	1.5
540	7.2	0.006	1.8	0.25	0.9
570	5.4	0.004	1.4	0.25	0.0
600	4.0	0.003	0.0	0.00	

Se tomó los datos a partir del intervalo de 14 mm de la población total del muestreo porque en éste se obtuvo una  $r^2 = 0.9313$  significativa (Fig. 23).

El porcentaje de mortalidad poblacional muestral de *C. montezumae*, en el año de estudio fue de 25% mientras que la mortalidad por semana fue de 6.25%. (Tabla 2). La curva de sobrevivencia de *C. montezumae* es diagonal del tipo III, por lo cual presenta una alta mortalidad de individuos juveniles y baja mortalidad en adultos (Fig.24).

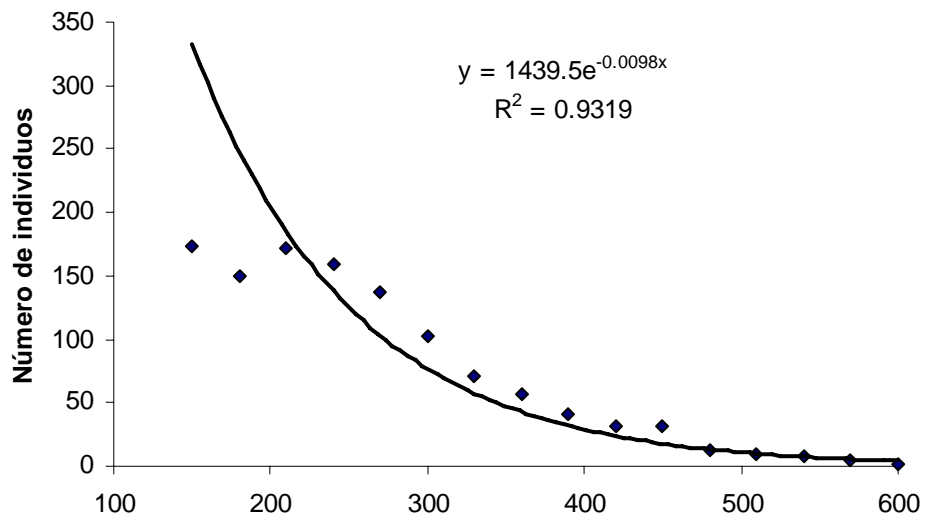


Figura. 23. Ajuste del modelo exponencial negativo para obtener el número de sobrevivientes ( $n_x$ ) de la tabla de vida.

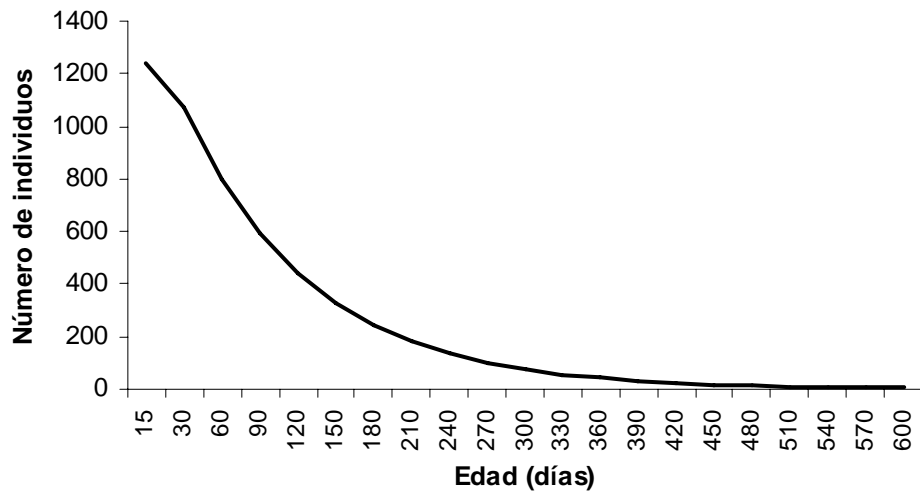


Figura 24. Curva que describe la mortalidad de *C. montezumae*.

## MODELO DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY

Los componentes Gaussianos ajustados a las frecuencias observadas se resumen en la tabla 3. El método de Ford-Walford reporta una  $L_{\infty} = 49.567$  y una  $k = 0.1732$  (Tabla 4; Fig. 25).

Tabla 3. Componentes gaussianos estimados y sus parámetros.

COMPONENTE	INTERVALO DE DATOS UTILIZADO	MEDIA	DESV ESTÁNDAR	No. De INDIVIDUOS
1	1-16	7.59	1.0102	35
2	26-28	11.46	1.4140	284
3	48-54	17.56	2.0657	445
4	87-91	27.6	1.4131	141
5	123-126	37.3	1.4367	23
6	137-148	41.9	0.8228	3

Tabla 4. Estimación de  $L_{\infty}$  y  $k$  mediante el método de Ford-Walford (STATA).

Intercepto =	23.6645	Pendiente =	-.3265
$r^2 =$	0.6079	$r^2$ Ajustada=	0.30395
$L_{\infty} =$	49.567	$K =$	0.1732

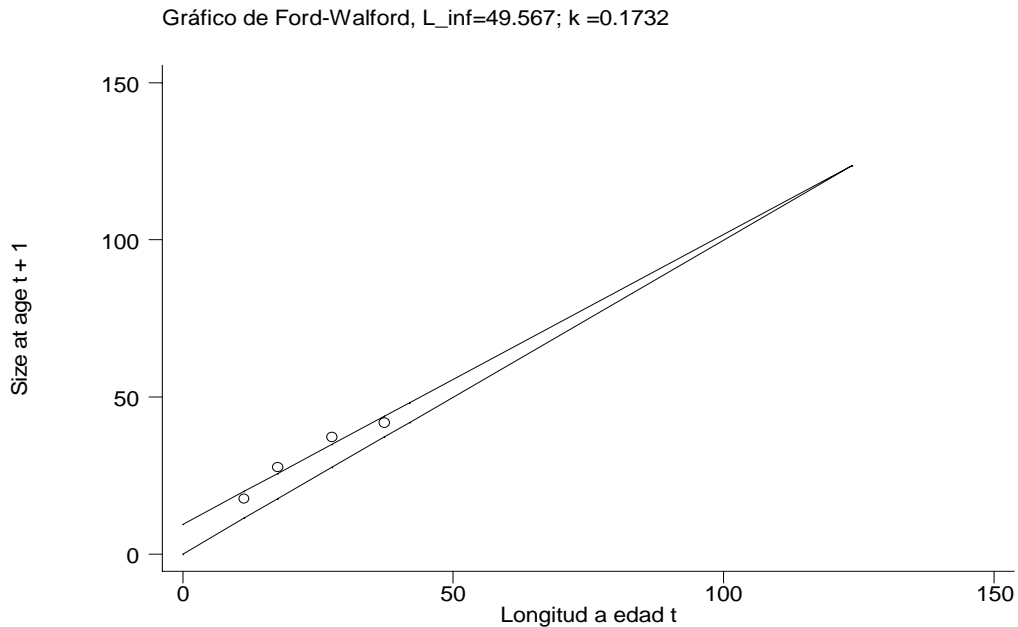


Figura. 25. Gráfico de Ford-Walford para valores medios estimados por el método de Bhattacharya.

Para obtener los parámetros de crecimiento  $k$  y  $t_0$ , se realizó el gráfico de Beverton-Holt (Tabla 5; Fig. 26), donde se sustituyen los valores de edad (días) correspondientes, los valores medios de talla (tabla 3) y el valor de  $L_\infty$  adquirido por el Gráfico de Ford-Walford.

Tabla 5. Estimación de  $k$  y  $t_0$  por el método de Beverton-Holt (STATA)

<b>Intercepto =</b>	<b>4.0310</b>	<b>Pendiente =</b>	<b>-0.062</b>
$r^2 =$	0.9599	$r^2$ Ajustada =	0.9499
<b>K =</b>	<b>0.0971</b>	$t_0 =$	<b>2.34</b>

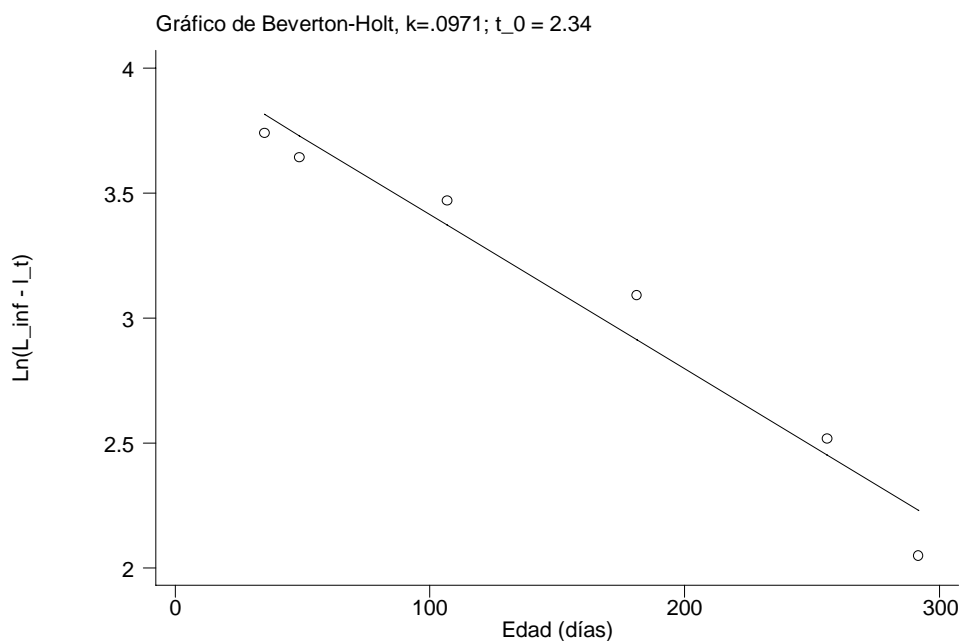


Figura 26. Gráfico de Beverton y Holt para obtener los parámetros de crecimiento  $k$  y  $t_0$  con una  $L_\infty = 49.5$ .

Conociendo los parámetros de crecimiento, se sustituyen los valores en la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy con el objetivo de obtener la talla máxima que dio como resultado un total de 48.7 mm LT (Tabla 6; Fig. 27).



Tabla 6. Tabla que muestra los datos utilizados para efectuar la ecuación de crecimiento (primera y segunda columna) así como los obtenidos mediante la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (tercera columna) con una  $L_{\infty} = 48.7\text{mm}$ ,  $k = 0.0971$  y  $t_0 = 2.34$ .

Longitud total (mm)	Edad (días)	Datos obtenidos de la ecuación de Von Bertalanffy (mm)
4.5	15	9.5
6.5	30	16.6
8.5	60	22.4
10.5	90	27.2
12.5	120	31.1
14.5	150	34.4
16.5	180	37.0
18.5	210	39.2
20.5	240	41.0
22.5	270	42.5
24.5	300	43.8
26.5	330	44.8
28.5	360	45.6
30.5	390	46.3
32.5	420	46.9
34.5	450	47.3
36.5	480	47.7
38.5	510	48.0
40.5	540	48.3
42.5	570	48.5
44.5	600	48.7

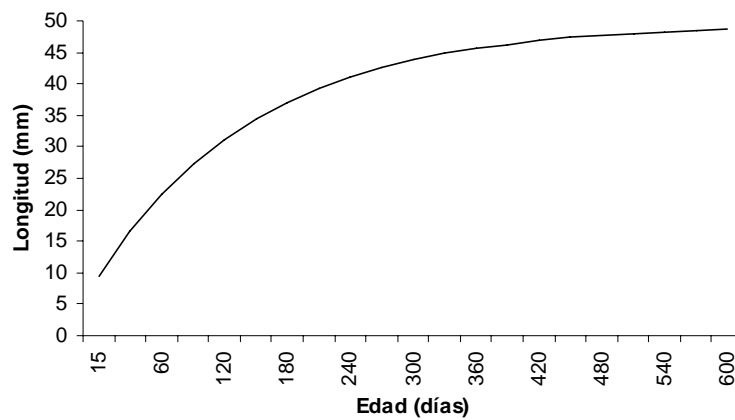


Figura 27. Gráfica que muestra la talla máxima obtenida por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

## ESPECIES ENCONTRADAS EN EL LUGAR DE ESTUDIO

Se identificaron cuatro órdenes de insectos representativos de la región. El orden Odonata comprende dos familias representadas por sus larvas, Zygoptera con tres géneros, *Apanisagrion*, *Nehalennia* y *Telebasis*; y Anisoptera con un género *Oplonaeshna*. El orden Hemiptera presentó tres familias con individuos adultos; familia Corixidae con el género *Centrocorisa*, familia Nepidae, con la especie *Ranatra Fabricius*; y la familia Belostomatidae con el género *Belostoma*. En el orden Coleoptera (escarabajos acuáticos) se registraron dos familias, Hydrophiloidea género *Tropisternus* sp. (larva y adulto); y Dytiscidae género *Cybister* (adulto). Y del orden Diptera (moscas y mosquitos), familia Chironomidae, sólo se identificó a nivel de familia por su complejidad (Cummins, 1996). Asimismo se reconocieron a las especies de vertebrados que habitan al cuerpo dulceacuícola de Xochimilco como lo es el ajolote endémico de México (*Ambystoma mexicanum*), la culebra de agua (*Tamnophis* sp.) y a los peces introducidos como la carpa común (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*).

## DISCUSIÓN

### PARÁMETROS ABIÓTICOS

En los ecosistemas lénticos, el nivel de oxígeno puede variar tanto estacional como diurnamente desde un estado sobresaturado hasta cerca de un estado anóxico. Los acociles que habitan aguas calientes o tropicales como los camaridos y parastacidos, generalmente no requieren altos niveles de oxígeno disuelto para sobrevivir. Sin embargo, su crecimiento es lento en comparación con los astacidos que viven en aguas frías. Holdich (2002) indica que los acociles pueden soportar bajas concentraciones de oxígeno (menos de 4.0 mgO<sub>2</sub>/L) ya que tienen una molécula compensatoria que incrementa la eficiencia de transporte de oxígeno dentro de la hemolinfa, denominada hemocianina. Asimismo, menciona que De Fur *et al.*, (1990) descubrieron que el genoma de los acociles genera variantes de dicha molécula, cada una con diferentes propiedades para compensar el transporte de oxígeno cuando este fluctúa a través del tiempo. McMahon y Wilkes (1983) señalan que *O. rusticus* asoma a la superficie una cámara branquial para permitir el paso del aire a través del escafnatito hacia las branquias con el objetivo de compensar la hipoxia. En este estudio, el valor mínimo de concentración de oxígeno disuelto (4.8 mgO<sub>2</sub>/L), obtenido en mayo, se encuentra en el límite inferior del nivel aceptable para soportar una diversidad de vida acuática (4.1-7.9 mgO<sub>2</sub>/L). La mayor parte del tiempo, se mantuvo por arriba de 6 mgO<sub>2</sub>/L e incluso en el mes de junio se presentó una sobresaturación de oxígeno disuelto (14.5 mgO<sub>2</sub>/L). De la misma forma, el valor mínimo del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (62.2%) se encuentra en el límite negativo (60%) para la sobrevivencia de los seres vivos, no obstante, el máximo registrado en junio (204.8%) rebasa el límite superior de saturación del oxígeno disuelto (125%); pese a esto, es el mes en que se registró un número de 287 individuos. Las causas principales de sobresaturación de oxígeno pueden ser efecto de la temperatura  $\bar{x} = 20 \pm 2$ , de la altitud 2,235.115 m y de la cantidad de algas fotosintéticas que se encuentran en el cuerpo lacustre. Por lo anterior, se deduce que *C. montezumae* puede soportar variaciones en los niveles de oxígeno por lo que, no tiene un impacto significativo sobre la presencia de este acocil ( $p = 0.422$  OD mg/L y  $p = 0.433$  OD%).

Uno de los factores importantes para el crecimiento de los acociles es el calcio, (carbonato de calcio y bicarbonato de calcio), ya que necesitan una alta cantidad de estas sales durante la postmuda para reemplazar el calcio cuticular que perdieron durante la fase de muda, por lo cual la mayoría de las especies de acociles se ven afectados negativamente por aguas ácidas a un pH = 5.5 (Appelberg, 1989), sin embargo, hay diferencias de sensibilidad entre especies. Berill et al., (1985) mencionan que *Cambarus robustus* es menos sensible a la acidificación que *C. bartonii* y *Orconectes propinquus* ya que estas especies estaban ausentes en lagos con un pH = 5.6, en cambio *Cambarus robustus* se encontraba presente en lagos con un pH entre 4.7 a 5.6. La pista de Remo y Canotaje, recibe agua de la planta tratadora de aguas negras del Cerro de la Estrella para subir el nivel del agua en época de secas, en consecuencia, a la pista ingresan nutrientes inorgánicos como sales, fósforo, nitratos y nitritos, como también metales pesados (Alva, 1996). Por lo anterior se sugiere que el pH, aunque no se mostró constante, no se relacionó con la abundancia ( $r^2 = 0.0059$ ), ya que el cuerpo lacustre es un medio básico que soporta la sobrevivencia de *C. montezumae*.

La temperatura también afecta al crecimiento de los acociles por lo tanto a la tasa de reproducción, ya que se ha observado que las especies que habitan en temperaturas por arriba de los 25°C, como los cambaridos, presentan un crecimiento lento en comparación a aquellos que habitan aguas frías. Una alta variabilidad en la temperatura, o valores que rebasen el intervalo óptimo (generalmente con un promedio de  $20 \pm 5$  °C), retrasa el periodo de muda e incrementa la mortalidad en el transcurso de ésta (Holdich, 2002). No obstante, se ha observado que en ciertas especies del género *Procambarus* la muda ocurre en intervalos de tiempo más cortos a altas temperaturas (25-30 °C) porque el metabolismo de estos acociles se acelera por lo que la tasa de reproducción aumenta, en cambio al descender la temperatura a menos de 14 °C la fase de muda se inhibe y la tasa de mortalidad aumenta (Waterman, 1960). En relación a este estudio, la temperatura presentó un efecto significativo sobre *C. montezumae* ( $p = 0.0311$ ). Se observó que en diciembre, el mes en que se colectó la mínima cantidad de individuos con un total de 20, se presentó el valor mínimo de temperatura con 16 °C.

En contraste, en los meses de junio y septiembre, donde se obtuvo la mayor cantidad de individuos, en el primero de ellos 287 y en el segundo 152, se mostró una temperatura entre 20 y 22 °C, respectivamente. En conclusión, a partir de los resultados obtenidos se deriva que la temperatura es el único factor de los considerados en este estudio que afecta la abundancia de *C. montezumae*.

## ABUNDANCIA

En cuanto a la abundancia de *C. montezumae* se puede observar que a finales de la época de lluvias calientes (octubre-noviembre) y durante la temporada de lluvias frías se mantuvo por debajo de 30 individuos con un mínimo de 20; no obstante, en la temporada de secas y lluvias calientes, el número aumentó considerablemente a más de 60 individuos por muestra, con un máximo de 152. Se advierte un aumento rápido en la población en los meses cálidos, por lo que se considera que ésta transita por un periodo favorable para su incremento, situación que se define como característica propia de la selección *r*.

## COMPOSICIÓN DE TALLAS

En el año de colecta, se encontraron todos los estadios de ciclo de vida de los machos, lo cual sugiere que no hay estacionalidad en los patrones de reproducción, aunque durante el periodo de secas y lluvias calientes existe un periodo en el que se acentúa la reproducción, independientemente de que ésta se de todo el año. Las hembras presentaron mayor talla que los machos, 44 y 41 mm LT respectivamente; esto es comparable con lo obtenido por Arana *et al.* (1998) quienes reportan 50 mm en hembras y 46 mm en machos; asimismo en *Procambarus clarkii* la talla máxima de hembras fue de 63.8 mm y en machos 61.1 mm (Scalici & Gherardi, 2007). Del mismo modo, las hembras alcanzan la madurez sexual a mayor talla que los machos, 22 y 16 mm respectivamente; esto podría deberse al mayor costo energético que representa el desarrollar ovarios con respecto al desarrollo de la gónada masculina.

No obstante lo anterior, en promedio, en general, no existe diferencia en las tallas ( $p > 0.05$ ),  $\bar{x} = 19.5 \pm 7.4$  en hembras y  $\bar{x} = 20.2 \pm 6.1$  en machos; mientras que si las hay entre las tallas a las que se alcanza la madurez sexual siendo mayor el de las hembras ( $T = 4343$ ,  $p < 0.001$ ; hembras  $\bar{x} = 34.8 \pm 4.7$  y machos  $\bar{x} = 28 \pm 4.2$ ).

Holdich (2002) señala que las hembras pueden ser ovígeras a partir de los 24 mm, lo cual concuerda con lo observado en el laboratorio; sin embargo, en el campo se observó una hembra ovígera de 22 mm, pero en general presentaron mayor talla con un intervalo de 24 a 44 mm. Es importante mencionar, que durante el periodo de investigación se colectó un bajo número de hembras ovígeras y toda vez que el número que se incrementó con hembras que se volvieron ovígeras en el laboratorio, las tallas son similares.

Tanto las hembras de talla entre 22 y 26 mm LT como las de 41 y 44 mm LT exhibieron baja cantidad de huevos, entre 11 a 19 y 19 a 49 ( $\bar{x} = 32.5 \pm 16.7$ ), respectivamente. En cambio, en el intervalo de talla entre 31 y 35 mm LT, se observa una concentración de hembras reproductivas que son las que aportan mayor cantidad de huevecillos, de 16 a 103 ( $\bar{x} = 49.4 \pm 20.5$ ). Es probable que en el caso de las hembras jóvenes se esté canalizando más energía al crecimiento sacrificando la fecundidad y que en las hembras más grandes las últimas puestas ya no cuenten con la cantidad de energía que tienen las puestas de hembras de tallas intermedias.

Las hembras colectadas en campo mostraron mayor número de huevos que las obtenidas en laboratorio, sin embargo, en promedio la fecundidad no fue significativamente diferente ( $t = 0.8252$ ,  $p = 0.2089$ ; en campo  $\bar{x} = 42.8 \pm 12$  y en laboratorio  $\bar{x} = 38 \pm 17$ ). Arana *et al* (1998) obtuvieron una fecundidad máxima de 124 huevecillos en hembras con una longitud total de 50 mm. Lo que es comparable a los datos de este estudio ya que, la fecundidad máxima fue de 103 huevecillos en hembras con LT de 44 mm.

## CRECIMIENTO DIRECTO INDIVIDUAL

Huner y Barr (1984), Hobbs (1991) Anger (2001) y Holdich (2002) señalan que el crecimiento y desarrollo de los acociles es discontinuo porque solo incrementan su talla y peso en el periodo que muda el individuo y que el crecimiento es más rápido y mayor en los individuos jóvenes que en los adultos. En este estudio, se observa que los acociles jóvenes de *C. montezumae*, exhiben un incremento de muda mayor y un periodo de intermuda menor en comparación a los adultos. La estadística indica que existe diferencias significativas entre las tallas ( $T = 2414.5$ ,  $p = < 0.001$ ; incremento de talla y  $T = 1905.5$ ,  $p = 0.044$ ; periodo de intermuda).

## TABLA DE VIDA

La mortalidad de *C. montezumae* por semana, es similar a la del *Procambarus clarkii* (3 a 13%) y *Procambarus acutus acutus* (7 a 9%) (Romaine y Lutz, 1989). Como se demostró en la curva de supervivencia, los juveniles tienen una alta mortalidad, comprobándose que el número de acociles que llegan a una edad reproductiva es pequeño en comparación con el número de acociles que nacen.

## MODELO DE CRECIMIENTO DE VON BERTALANFFY

La talla máxima obtenida mediante el modelo de crecimiento de von Bertalanffy fue de 48.7 mm LT; por otra parte, se efectuó el mismo análisis con el valor máximo de talla de 50 mm LT obtenido por Arana *et al.* (1998), resultando una talla máxima de 49.2 mm LT, lo que sugiere que *C. montezumae* puede alcanzar esta talla, aunque en el presente estudio no se encontraron este tipo de individuos. Es interesante que exista variación geográfica en este atributo, pues puede estar indicando diferencias tanto en la fecundidad como en la longevidad de los individuos. Las causas probables pueden estar asociadas con factores como la depredación, contaminación o alimentos bajos en nutrientes.

## ESPECIES ENCONTRADAS EN EL LUGAR DE ESTUDIO

Los monitores biológicos que se localizaron en el área de estudio indican que el sistema acuático es léntico, con niveles variables de concentración de oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Los dos géneros de coleópteros encontrados en Xochimilco demuestran atributos que caracterizan a estos individuos como tolerantes a la contaminación orgánica de esta zona (Pérez, 2004). La presencia de *Ciprinus carpio* afecta el hábitat ya que resuspende el sedimento, lo que aumenta la cantidad de sólidos en el agua generando eutroficación (Hinojosa y Zambrano, 2004), esto provoca la disminución en la tasa de sedimentación de los nutrientes por lo que tiene como consecuencia la ausencia de efemerópteros y tricópteros en el cuerpo acuático. La temperatura durante el año es variable con un mínimo de 10.9 °C y un máximo de 30.7 °C, por lo que se potencializa la ausencia de estos dos géneros de insectos poco tolerantes. Las especies de odonatos hallados en el área de estudio señala que el pH del agua es alcalino ( $\bar{x} = 7.6 \pm 0.8$ ) ya que en medios ácidos estos están ausentes (Rosenberg y Resh, 1993). Todos los ordenes de insectos se caracterizaron en la Clase II (facultativo) de acuerdo al Índice Biótico de Beck (Carbajal, 2000), lo cual demuestra que pueden soportar fluctuaciones en los principales parámetros abióticos.

La interpretación de los datos nos indica que en promedio, *Cambarellus montezumae* alcanza la madurez sexual a los  $405 \pm 21.2$  días (13.5 meses) en las hembras y  $285 \pm 21.1$  (9.6 meses) en los machos; no obstante, se encontraron casos extremos de reproducción puesto que se colectó un macho forma I de 16 mm LT y una hembra ovígera de 22 mm LT. Aunque la reproducción es constante durante el periodo anual, hay un aumento en la reproducción ya que los reclutas se presentaron en la temporada de secas y lluvias calientes.



En cuanto a las relaciones tróficas, se observó que *C. montezumae* se alimenta de larvas de quironómidos y de una especie de caracol acuático, mientras que, es probable que el género de hemiptero *Centrocorisa* se este alimentando de los huevecillos de las hembras ovígeras porque en repetidas ocasiones se les observó adheridos a éstas.

En resumen, la estrategia que *C. montezumae* utiliza para ser exitoso en su medio, se presenta con características de la selección  $r$ , con una única excepción que es propia de la  $k$ . Por una parte siendo una especie de tamaño corporal pequeño su nivel de mortalidad es elevado, aunque en la fase adulta la mortalidad se estabiliza, este acocil es presa fácil para sus depredadores y por tal razón son pocos los individuos que llegan a edad reproductiva. Esta podría ser la razón de que tengan una reproducción a edad temprana y con un gran número de huevecillos. Independientemente de lo anterior, la población experimenta periodos favorables de crecimiento poblacional rápido, en relación con la temperatura. Por otro lado, su ciclo de vida es mayor a un año, característica de la selección  $k$ .

## CONCLUSIONES

1. Se capturaron 1476 organismos a lo largo de 24 muestreos; de los cuales 717 fueron hembras, 705 machos y 54 individuos indeterminados.
2. Se advierte un aumento y un crecimiento poblacional rápido en los meses cálidos.
3. Las hembras alcanzan la madurez sexual a los  $\bar{x} = 405 \pm 21.2$  días y los machos a los  $\bar{x} = 285 \pm 21.1$ .
4. Las hembras ovígeras presentan una fecundidad de 11 a 103 huevecillos y exhiben una reproducción continua durante todo el año.
5. La reproducción es constante durante el periodo anual, sin embargo hay un pico de reproducción ya que los reclutas se presentaron en la temporada de secas y de lluvias calientes.
6. Se estima que hay un promedio de incremento mensual de la tasas calculadas de  $\bar{x} = 1.4 \pm 1.1$  mm LT; y de incremento diaria de  $\bar{x} = 0.05 \pm 0.04$  mm LT.
7. El porcentaje de mortalidad poblacional mensual es de 25% y del 6.25% por semana. La curva de sobrevivencia (tipo III) indica un índice alto de mortalidad en individuos jóvenes y bajo en individuos adultos.
8. Se obtuvo una talla máxima de 48.7 mm mediante el Modelo de Crecimiento de von Bertalanffy.
9. La temperatura presentó un efecto significativo sobre el crecimiento poblacional de *C. montezumae*.
10. *Cambarellus montezumae* se alimenta de larvas de quironómidos y de una especie de caracol acuático, es probable que el género de hemíptero *Centrocorisa* se esté alimentando de los huevecillos de las hembras ovígeras porque en repetidas ocasiones se les observó adheridos a éstos.

## LITERATURA CITADA

**Alva, M. 1996.** la calidad del agua en Pista de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe" México D.F. con base en el contenido de nutrimentos y factores físicos. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco, 35p.

**Álvarez, F y R. Rangel. 2007.** Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista mexicana de Biodiversidad* 78: 431-437.

**Anger, K. 2001.** *Crustacean issues. The Biology of Decapods: Crustacean larvae.* Balkema publishers 14: 7-42.

**Appelberg, M. 1989.** Evaluating water quality criteria for freshwater: exemplified by the impact of acid-stress. In: *Crayfish Culture in Europe.* Edited by J. Skurdal, K. Westman y P.I. Bergan. 476p.

**Arana, F., R. Pérez y A. Malpica. 1998.** Cambáridos de tres embalses del Estado de Tlaxcala, México (Crustacea: Decapoda). *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 48: 23-35.

**Barbosa, M. 1998.** Aplicación de modelos estadísticos al estudio de crecimiento del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) en condiciones de laboratorio. Tesis Especialidad (Especialidad en Estadística Aplicada), Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, 32 p.

**Begon, M., J. L. Harper y C. Townsend. 2006.** *Ecology. From Individuals to Ecosystems.* Fourth edition. Edited by Blackwell, 738 p.

**Berill, M., Hollett, L., Margosian, A. y J. Hudson. 1985.** Variation in tolerance to low environmental pH by the crayfish *Orconectes rusticus*, *O. propinqqus*, and *cambarus robustus*. *Canadian Journal of Zoology*, 63: 2586-2589.

**Carbajal, J., S. Hernández y G. de la Lanza. 2000.** Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Instituto nacional de Ecología. Ediciones Plaza y Valdés, 633 p.

**Colivaux, P. 1993.** *Ecology 2*. John Wiley and Sons, 688 p.

**Cornejo, A. 1991.** Selección térmica del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea: Astacidae) y su correlación con algunos índices fisiológicos: diferencias estacionales. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, 71 p.

**Cummins, K y R. Merrit. 1996.** *An Introduction of the aquatic insects of North America*. Edited by Kendall and Hunt , 862 p.

**Chapman J. y Reiss M. 1992.** *Ecology. Principles and Applications*. Cambridge University, 294 p.

**DeFur, L., Mangum, C. y Reese, J. (1990).** Respiratory responses of the blue crab *Callinectes sapidus* to long-term hypoxia. *Biological Bulletin*, 178: 46-54.

**Escobar, R. 1991.** Crecimiento y producción del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea Astacidae), empleando alimento vegetal. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 84 p.

**Guerra, T., M. Marques y J. López. 2005.** *Cuaderno de Problemas de Probabilidad y Estadística*. Facultad de estudios Superiores Zaragoza, UNAM, 254 p.

**Hinojosa, D. y L. Zambrano. 2004.** Interactions of common carp (*Cyprinus carpio*) with benthic crayfish decapods in shallow ponds. *Hydrobiology* 515: 115-122.

**Hobbs, H.H. 1991.** *Decapoda. Ecology and classification of North American freshwater invertebrates.* Academic Press, London, 823-858 pp.

**Holdich, D. M. 2002.** *Biology of freshwater crayfish.* Blackwell Science, Oxford England, 702 p.

**Huner, J.V. y J.E. Barr. 1984.** *Red swamp crawfish. Biology and exploitation.* Louisiana Sea Grant, Center for Wetland Resources, Louisiana State University, Baton Rouge, 78 p.

**Infante, S., G. Pérez y Z. Lara.1998.** *Métodos Estadísticos.* Editorial Trillas, 643 p.

**Krebs, C. 1985.** *Ecología. Estudio de la Distribución y la Abundancia.* Harla, 753 p.

**McCleery, R., T. Watt y T. Hart. 2007.** *Introduction to Statistics for Biology.* Third Edition. Edited by Chapman & Hall/CRC, 273p.

**McMahon, B y J. Wilkens. 1983.** Emergence responses and aerial ventilation in normoxic and hypoxic crayfish *Orconectes rusticus*. *Physiological Zoology*: 56: 133-141.

**Millery G. y R. Ricklefs. 2000.** *Ecology, Fourth Edition.* W. H. Freeman and Company New York, 822 p.

**Moctezuma, A. 1996.** Bases biológicas y técnicas para el cultivo del acocil *Cambarellus montezumae*. Tesis de Maestría. Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Marinas, 58 p.

**Molles, M. 1999.** *Ecology. Concepts and Applications.* McGraw-Hill, 509 p.

**Nystrom, P. y J. Strand. 1996.** Grazing by native and an exotic crayfish on aquatic macrophytes. *Freshwater Biology* 36: 673-682.

**Nystrom, P., C. Bronmark y W. Graneli. 1996.** Patterns in benthic food webs: a role for omnivorous crayfish?. *Freshwater Biology* 36: 631-646.

**Prem, M. 2007.** Introductory statistics. Edited by Wiley & Sons, 615p.

**Rangel, R. 2004.** Estudio poblacional de *Cambarellus montezumae* en la Pista de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe", Xochimilco; México, D.F. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 50 p.

**Rodríguez, M y C. Carmona. 2002.** Balance energético del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustácea: Astacidae: Cambaridae). Pérdida de energía en la tasa metabólica. *Universidad y Ciencia* 18(36): 128-134.

**Rojas, Y. 2003.** Revisión taxonómica de las especies de *Cambarellus* (*Cambarellus*) (Crustacea: Decapoda: Astacidae: Cambaridae): Análisis morfológico. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 179 p.

**Romaire, R y Lutz, C. 1989.** Population Dynamics of *Procambarus clarkii* (Girard) and *Procambarus acutus acutus* (Girard) (Decapoda: Cambaridae) in Commercial Ponds. *Aquaculture* 81: 253-274.

**Rosenberg, D. y V. Resh. 1993.** *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Edited by Chapman Hall, 488.

**Salazar, I. 1999.** Estudio sobre el efecto tóxico y genotóxico sobre el acocil *Cambarellus montezumae*. Tesis de Licenciatura, facultad de Estudios Superiores Cuautitlan, Universidad Nacional Autónoma de México, 50 p.

**Salgado, I., J. Gómez y B. Mendoza. 2005.** *Métodos Actualizados para Análisis de datos Biológico – Pesqueros*. Facultad de estudios Superiores Zaragoza, UNAM, 240 p.

**Scalici, M. y Gherardi, F. 2007.** Structure and dynamics of an invasive population of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a Mediterranean wetland. *Hidrobiología* 583: 309-319.

**Sparre, P. y S. Venema. 1997.** Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, 306.1. Rev.2. Roma, FAO: 420p.

**Vandermeer, J. y Goldberg, D. 2003.** Population Ecology. First Principles. Edited by Princeton University, 280 p.

**Waterman, T. 1960.** The Physiology of Crustacea. Volume 1: Metabolism and Growth. Academic Press, New York and London. 670p

## APÉNDICE 1

Se presentan con mejor detalle los estudios que se mencionan en los antecedentes.

Escobar (1991) en su investigación evaluó el crecimiento y producción de acociles juveniles de *C. montezumae*, alimentándolos con el alga *Egeria densa* bajo cinco niveles de ración y los mantuvo a dos temperaturas, 17 y 23 °C, para observar el efecto de ésta sobre el crecimiento. Determinó que el crecimiento tuvo una relación significativa con respecto a la temperatura y los niveles de ración, y las curvas de sobrevivencia se encontraron entre 11 y 55%.

Cornejo (1991) estudió la preferencia térmica del acocil *C. montezumae* para dos estadios de desarrollo (juvenil y adulto) y sexo, en dos diferentes temporadas (lluvias calientes y frías). Observó que en la temporada de lluvias calientes, los dos estadios de vida prefieren un intervalo de temperatura entre 19 a 31 °C, las hembras optan por un rango de 22 a 29 °C y los machos entre 15 a 32 °C. Y en la temporada de lluvias frías las hembras seleccionaron un intervalo entre 15 a 32 °C, los machos juveniles de 10.5 a 27 °C y los adultos de 22 a 30 °C. Por último, midió el consumo de oxígeno a 20, 25 y 30 °C; y registró que a 20 °C los juveniles consumen 47 mgO<sub>2</sub>/g.P.s x día y los adultos 79.6 mgO<sub>2</sub>/g.P.s x día, a 25 °C consumen 84.7 mgO<sub>2</sub>/g.P.s x día y 56.7 mgO<sub>2</sub>/g.P.s x día respectivamente, y a 30 °C el metabolismo aerobio decreció para satisfacer la demanda de energía.

Moctezuma (1996), realizó una investigación en relación a las bases biológicas y técnicas para el cultivo de *C. montezumae lermensis*, donde expone la importancia del acocil en la alimentación tradicional de las comunidades rurales así como la necesidad de conservación por ser una especie endémica de México.



Arana *et al.* (1998) efectuaron una investigación sobre *Cambarellus montezumae* en tres embalses del estado de Tlaxcala donde desarrollaron una revisión taxonómica de las especies de *Cambarellus* con el objetivo de encontrar la importancia que tienen estos organismos dentro de la cadena trófica, puesto que son depredadores activos que transforman la materia orgánica en los cuerpos dulceacuícolas, de igual forma es aprovechado como alimento autóctono para habitantes de las zonas rurales.

Barbosa (1998) hizo un experimento para observar el efecto que tienen la temperatura y los distintos niveles de porcentaje de nutrientes (proteínas, lípidos y carbohidratos) sobre el crecimiento de *C. montezumae*. Concluyó que no hubo una relación significativa entre la temperatura y la talla de este organismo; asimismo indica que los individuos de menor talla exhiben una tasa de crecimiento superior que los de talla mayor; y que el porcentaje óptimo de nutrientes es el siguiente: proteínas de 30% a 40%, lípidos no deben ser mayor al 10% y los carbohidratos entre 5 y 20%, con base al peso corporal de un ejemplar promedio.

Salazar (1999) efectuó un experimento en el que uso a *C. montezumae* para observar el daño tóxico y genotóxico del pesticida dieldrín (hidrocarburo clorado) utilizando una técnica de medición para los niveles de la lipoperoxidación así como un bioensayo de electroforesis unicelular en gel (técnica del cometa). En el cual, se determinó que el pesticida dieldrín es genotóxico y probablemente tóxico para este acocil, asimismo se deduce que puede tener un efecto potencial para sus depredadores.

Rodríguez y Carmona (2002) realizaron un balance energético del acocil *C. montezumae* para determinar la pérdida de energía de la tasa metabólica en acociles juveniles. Los organismos fueron alimentados con la planta acuática *Elodea sp.* Concluyeron que a una temperatura de 17 °C los acociles presentan mejor desarrollo y crecimiento, en cambio a 23 °C el crecimiento es lento y tienen una mayor tasa metabólica, además el alimento proporcionado (*Elodea sp.*) no fue óptimo para el crecimiento de esta especie.

Hinojosa y Zambrano (2004) realizaron una investigación sobre los efectos que tiene la carpa *Cyprinus carpio* (especie exótica) sobre el acocil *C. montezumae lermensis* (especie endémica) en embalses de bordos del municipio de Acambay, Estado de México. Este estudio es trascendental para modificar la percepción que se tiene sobre la carpa como depredador esencial del acocil, ya que la conclusión, que obtiene el investigador, indica que el acocil no es un alimento significativo para este animal. Sin embargo, se mantiene un efecto negativo indirecto de la carpa hacia el acocil porque ésta modifica el entorno a través del incremento de nutrientes sobre el medio, generando turbidez en el agua. Asimismo, destruye las plantas enraizadas que son el hábitat apropiado para los acociles, causando consecuencias sobre la distribución y abundancia de este animal endémico.

Rangel (2004) realizó un estudio poblacional de *C. montezumae* en la pista Olímpica de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe", en Xochimilco, México DF., con el objetivo de conocer más acerca de su biología; calculó la tasa de crecimiento poblacional a través de un análisis morfométrico de tres variables (longitud total, longitud de cefalotórax y longitud del abdomen). Igualmente, clasificó a los individuos por sexo para estimar la proporción sexual de la población, utilizó un modelo de regresión lineal para observar el comportamiento de la fecundidad (número de huevos) con respecto a la talla de la hembra y determinó la relación entre los parámetros abióticos (temperatura, pH y concentración de oxígeno disuelto) sobre la abundancia de organismos. Por último, concluyó que hubo un reclutamiento continuo en la población, asimismo todas las tallas estuvieron siempre presentes, con un máximo de 41.5 mm en hembras y de 36.9 mm en machos y no se encontró una relación significativa entre la abundancia y los parámetros abióticos.

## APÉNDICE 2

Fórmulas para obtener la proporción de individuos, el índice de mortalidad y la esperanza media de vida con la finalidad de efectuar una tabla de vida (Krebs, 1985; Millery y Ricklefs, 2000; Molles, 1999)

$l_x$  = proporción de individuos que sobreviven al tiempo 1

$$l_x = \frac{n_x}{n_0}$$

$d_x$  = número de organismos que murieron en el periodo que va de  $x$  a  $x + 1$

$$d_x = n_0 - n_1; n_1 - n_2; n_2 - n_3 \dots$$

$q_x$  = índice de mortalidad

$$q_x = \frac{d_x}{n_x}$$

La esperanza media de vida adicional ( $e_x$ ), se calcula con el promedio de individuos vivos en cada conjunto de edad ( $L_x$ ) y con la sumatoria acumulativa de estos promedios, denominado  $T_x$ , es decir:

$$e_x = \frac{T_x}{L_x}$$

Para estimar  $L_x$  y  $T_x$  se emplean las siguientes fórmulas:

$$L_x = \frac{n_x + n_{x+1}}{2}$$

$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x$$

Se describe el análisis para la estimación de crecimiento a partir del análisis de frecuencias de tallas y del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

En 1938 el biólogo-matemático von Bertalanffy desarrolló un modelo matemático para calcular el crecimiento individual, el cual toma en cuenta la talla de un individuo como una medida de la edad.

$$L_t = L_\infty (1 - \exp [-k (t - t_0)])$$

En la ecuación  $L_t$  es la longitud determinada en el tiempo (edad). Las constantes de crecimiento son: ( $L_\infty$ ) "*longitud asintótica*", es decir, la talla media de un individuo muy viejo (en sentido matemático: *infinitamente viejo*); ( $k$ ) "*parámetro de curvatura*", establece la prontitud con la que el individuo alcanza su talla máxima, la cual está relacionada con la tasa metabólica y ( $t_0$ ) denominado "*parámetro de condición inicial*", representa al tiempo "teórico" en el que el individuo inicia su crecimiento y biológicamente, en las especies de animales, no es sencillo descifrarlo porque inicia en la etapa larval en ovíparos y embrionaria en vivíparos, entonces al eclosionar el organismo ya presenta una talla; la cual puede ser tomada como la talla inicial (Salgado *et al.*, 2005; Sparre y Venema, 1997).

Para el análisis de frecuencias de tallas se empleó el método de Bhattacharya para calcular los componentes gaussianos (valores medios de longitud) por medio de versiones actualizadas del programa estadístico STATA (Intercooled Stata 9.1 este programa calcula las diferencias logarítmicas en función de los centros de clase del histograma utilizado y dibuja tendencias lineales con pendiente negativa (Salgado *et al.*, 2005). Posteriormente, se efectuaron dos gráficos para obtener la estimación de las constantes de crecimiento de von Bertalanffy. El primero, denominado Gráfico de Ford-Walford, se utilizó para obtener la longitud asintótica ( $L_\infty$ ). Este gráfico está basado sobre la curva de crecimiento con  $t_0$  igual a cero y se puede estimar por medio de los datos de longitud media con la suposición de que las modas están separadas por intervalos uniformes de tiempo, los datos para dibujar el gráfico son  $L(t)$  como

variable independiente (para un intervalo de tiempo constante) contra  $L(t+\Delta t)$  como variable dependiente. El segundo, denominado Gráfico de Beverton-Holt, se efectuó para adquirir una mejor estimación de los valores de  $k$  y  $t_0$ . Este método requiere de una estimación de  $L_\infty$  por lo que se utilizó el valor de la longitud asintótica obtenida mediante el gráfico de Ford-Walford. Los dos gráficos se efectuaron por medio del programa estadístico STATA mediante versiones actualizadas en Salgado *et al*, 2005)

Una vez adquiridos los valores de  $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$ , se sustituyen en la ecuación de von Bertalanffy y se realiza la gráfica de crecimiento con el fin de obtener la talla máxima que pueden alcanzar los individuos de una población (Fig. 26).

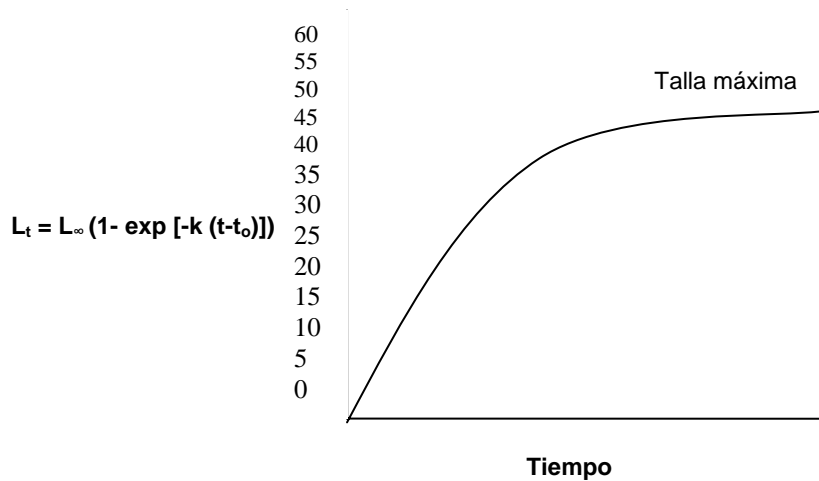


Figura 26. Gráfica de crecimiento asintótico de von Bertalanffy