



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

“Demografía de los rotíferos sésiles *Limnias cf ceratophylli* y *Limnias melicerta* (Rotifera: Gnesiotrocha) en relación con diferentes densidades del alga *Chlorella vulgaris*”

Tesis que para obtener el título de Licenciado en Biología

P R E S E N T A

Marco Antonio Jiménez Santos

Director de tesis:

Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma

Los Reyes Iztacala 2014

“Por mi raza hablará el espíritu”





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.

Agradecimientos

Principalmente a mi familia, mis padres y hermanos, por inculcarme los valores adecuados para enfrentar al mundo, por darme la libertad de elegir y dirigir mi vida apoyando y confiando en cada una de las decisiones que realicé en lo académico hasta hoy en día; por brindarme su cariño y comprensión, nunca dejaré de agradecerles lo que con tanto esfuerzo y dedicación hacen por mí.

A Dika, que a pesar del tiempo o la hora, fuiste la persona más importante que estuvo a mi lado, apoyando, acompañando, compartiendo y alegrando los momentos de esta etapa, por los consejos y la complicidad que se formó y fortaleció con el transcurrir de los meses. Te agradezco tantas anécdotas, diversos momentos, las charlas que solo nosotros entendemos, agradezco tu confianza y todo lo que eres y soy cuando el mundo desaparece; también agradezco el permitir acercarme a la bondadosa persona que estás formando, porque me hace reír, me hace ver aún lo divertido que es imaginar una lucha entre peluches sobre pequeños autos de juguete, Levi representa la inmadurez que se necesita para comprender el mundo de la vida adulta.

Al Dr. Sarma y a la Dra. Nandini por permitir mi estancia en el laboratorio de Zoología acuática, por todo su apoyo, por las enseñanzas que dejan tras una plática de cualquier tema, principalmente académico, por sus valiosos comentarios antes, durante y después de realizar este proyecto, porque son una fuente de inspiración de lo que se puede lograr con esfuerzo, con dedicación y constancia. Les agradezco el permitir terminar de manera satisfactoria esta parte de mi vida.

A la Dra. María del Rosario Sánchez, al Dr. Lugo Vázquez y al Dr. Arturo Rocha por aceptar la carga de revisar mi escrito, leerla, aconsejarme y compartir su conocimiento enseñando siempre la calidad de su profesión y humildad.

Al Dr. Wallace que en su estancia compartió su conocimiento al determinar las especies del presente trabajo.

A una gran amiga (Angélica) que junto a su esposo (Ángel), formó parte del equipo en tercer semestre que nos dejaría una gran amistad; por apoyarme y permitir ser parte de su pequeña familia que están formando.

A mis queridas amigas que siempre alegraron el día con sus inquietantes comentarios y su forma particular de ver la vida, sacarme de la rutina y compartir conmigo sus experiencias, confiar en mí y apoyarme en este camino: Monse, Sabiani, Marce, Brenda e Ilse.

A mis amigos y compañeros de la carrera que no describiré lo importantes que son porque sería cuento de nunca acabar, pero significaron tanto en este tiempo. Aldo, Yael, Sarai, Erick, Elisa, Anahí, Ivonne, Alecita.

A las personas del laboratorio que siempre aconsejaron, enseñaron y compartieron sus experiencias, su punto de vista y opinaron para bien acerca de este trabajo: Cristian, Ligia, Jorge, Michael, Sergio, Alma, Gerardo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por permitirme entrar a las aulas y laboratorios que tanto conocimiento me han proporcionado.

A todos los profesores que me enseñaron tanto y compartieron sus experiencias, valorando así el trabajo de todos en la Facultad.

Al CONACyT por apoyarme económicamente con el programa "Ayudante de Investigador Nacional Nivel III o Emérito" con número de expediente 9198.

El cuento es muy sencillo
usted nace
contempla atribulado
el rojo azul del cielo
el pájaro que emigra
el torpe escarabajo
que su zapato aplastará
valiente

usted sufre
reclama por comida
y por costumbre
por obligación
llora limpio de culpas
extenuado
hasta que el sueño lo descalifica

usted ama
se transfigura y ama
por una eternidad tan provisoria
que hasta el orgullo se le vuelve tierno
y el corazón profético
se convierte en escombros

usted aprende
y usa lo aprendido
para volverse lentamente sabio
para saber que al fin el mundo es esto
en su mejor momento una nostalgia
en su peor momento un desamparo
y siempre siempre
un lío

entonces
usted muere.

Currículum-Mario Benedetti

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
ANTECEDENTES	9
JUSTIFICACIÓN	12
HIPOTESIS	14
OBJETIVOS	15
MATERIALES Y MÉTODO	16
Medio de cultivo EPA.	16
Cultivo masivo de <i>Chlorella vulgaris</i>	16
Recolecta en campo	17
Experimentos de laboratorio.	18
Adaptación al medio EPA.	18
Crecimiento poblacional y Tabla de vida	19
RESULTADOS	23
DISCUSIÓN	42
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA.	47

RESUMEN

Los estudios sobre rotíferos sésiles en México se han enfocado en la diversidad y la distribución, pero aspectos ecológicos como la dinámica poblacional han recibido poca atención. Se evaluó la respuesta reproductiva de *Limnias* cf *ceratophylli* y *L. melicerta*, para esto, inicialmente se realizó un experimento del establecimiento y adaptación al medio EPA, mediante el uso de agua del sitio donde se recolectaron los organismos (Cantera Oriente, Ciudad Universitaria, México), agua del sitio más medio con agua ligeramente dura (EPA), y únicamente medio EPA, posteriormente se realizaron dos análisis experimentales para cada especie: crecimiento poblacional y tabla de vida, ambos a tres concentraciones de alimento *Chlorella vulgaris* en condiciones de laboratorio durante más de un mes. Se realizaron las pruebas en 30 ml de volumen con medio EPA, se establecieron cuatro réplicas, se reemplazó el medio y se hizo el conteo diariamente. Nuestros resultados muestran que para el establecimiento inicial del cultivo de *Limnias* es adecuado el uso de agua del sitio más medio EPA, debido a que se alcanzó una densidad de mayor en comparación con el uso único de medio EPA. En el crecimiento poblacional, se observó que el equilibrio fue a los 30 días aproximadamente sin ser esta la densidad máxima poblacional, a una concentración media y alta; la densidad máxima varió de 11 a 38 individuos y la tasa de crecimiento de 0.12 individuos por día a 0.16 individuos por día. Los parámetros de historia de vida variaron de acuerdo a la densidad de alimento, tendieron a ser menores conforme aumenta la densidad de alimento en el promedio de vida (23 a 34 días), esperanza de vida (23 a 33 días), tiempo generacional (10.6 a 13.7 días) y tasa de reproducción neta (19 a 27 neonatos por hembra al día), mientras que no presentó efecto significativo en la tasa de reproducción bruta (23 a 31 neonatos por hembra de vida) y en la tasa intrínseca de crecimiento (0.29 a 0.38). Se concluye que el uso del agua del sitio o agua del sitio más medio fisiológico EPA es adecuado para el establecimiento y adaptación de rotíferos sésiles; la microalga *C. vulgaris* es adecuada para el crecimiento de *Limnias* y la densidad de alimento tuvo un efecto en la respuesta reproductiva de ambas especies tanto en el crecimiento poblacional como en la tabla de vida, ya que se encontró, existe una relación directa entre la mayor densidad poblacional y la mayor concentración de alimento en el crecimiento poblacional, pero es inverso en los aspectos de tabla de vida, también *Limnias* tiene una esperanza de vida larga y cada especie se verá afectado de manera diferente de acuerdo a la densidad de alimento

INTRODUCCIÓN

El filo Rotífera está compuesto con aproximadamente 2000 especies, estos los podemos encontrar en su mayoría y con una gran abundancia, principalmente en cuerpos de agua dulce y en las zonas tropicales (Segers, 2008). Dentro del grupo, se presentan diversas formas de vida, los organismos de vida libre son parte de la mayoría, mientras que pocas especies (25), se aglomeran para formar verdaderas colonias de hasta más de 1000 individuos (*Lacinularia*, *Octotrocha*) y, aproximadamente 100 especies de rotíferos, tienen la peculiaridad de ser sésiles, por lo que suelen fijarse a un substrato, que de manera general lo hacen sobre plantas acuáticas (Wallace y Snell, 2010).

Los rotíferos sésiles se agrupan en las familias Atrochidae, Collothecidae y Flosculariidae, suelen ser abundantes (> 6 individuos \cdot mm⁻²), forman parte de la zona litoral y se pueden encontrar en lagos, estanques y ríos donde tienen una vida principalmente epifítica sobre macrófitas, aunque se pueden encontrar en otros substratos como algas filamentosas, animales como esponjas, entre otros (Pejler y Berzins, 1993); estos organismos sésiles han recibido poca atención (Wallace y Smith, 2013).

La biología de los rotíferos sésiles es similar a la biología de los organismos de vida libre o planctónicos, esta última se conoce mejor; son animales no segmentados y son invertebrados con simetría bilateral (Wallace, 1975; Wallace y Smith, 2013). El tamaño de estos organismos sésiles puede alcanzar tallas de hasta 3550 μ m (*Pentatrocha gigantea*) (Segers y Shiel, 2008). El cuerpo de estos organismos está compuesto por la corona, un tronco y un pie y como en todos los rotíferos, presenta dos características distintivas del filo: en la parte anterior se encuentra la corona, compuesta generalmente de dos anillos ciliados llamados trocas y el cíngulo (figura 1) que en rotíferos de vida libre es útil en la locomoción, función que no tiene en los rotíferos sésiles; a diferencia con los rotíferos de vida libre, los organismos sésiles, tienen un estadio larval, el cual, presenta una morfología diferente al adulto, con una corona poco desarrollada que le permite nadar y así buscar el sitio en el que se fijará (Wallace, 1980). La corona es de importancia taxonómica en todos los rotíferos y permite la formación de corrientes de agua, útiles en la alimentación de los rotíferos.

Un segundo carácter taxonómico importante es el mástax, formado por un conjunto de músculos y dientes que forman el trofi; existen diversos tipos de trofi, los cuales son de utilidad en la identificación por la variedad resultante de la historia evolutiva del filo, los de

tipo maleorramado y uncinado son lo que se encuentran presentes en los rotíferos sésiles (figura 2).

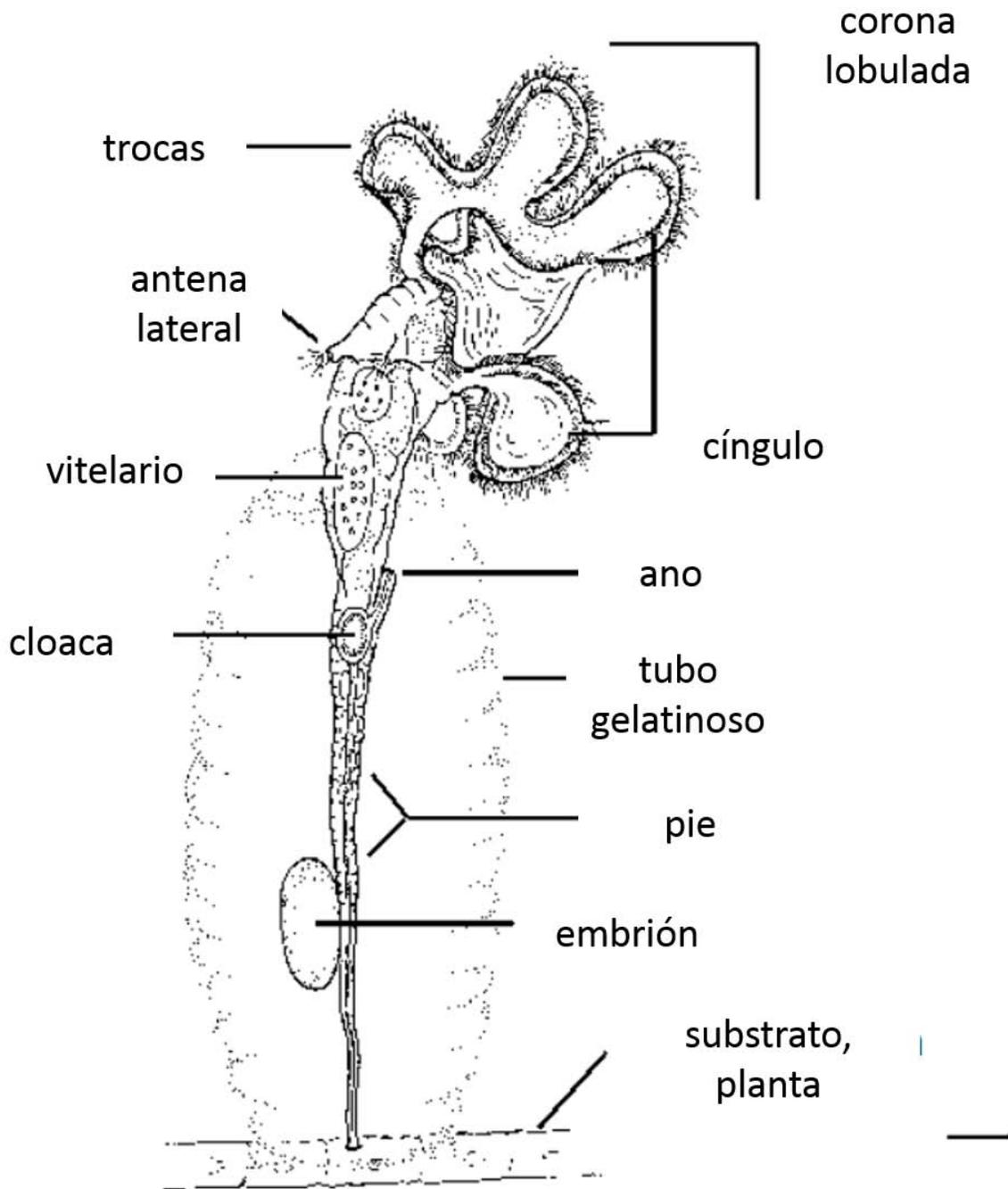


Figura 1 Esquema representativo de un rotífero sésil (modificado de Wallace y Snell, 2010).

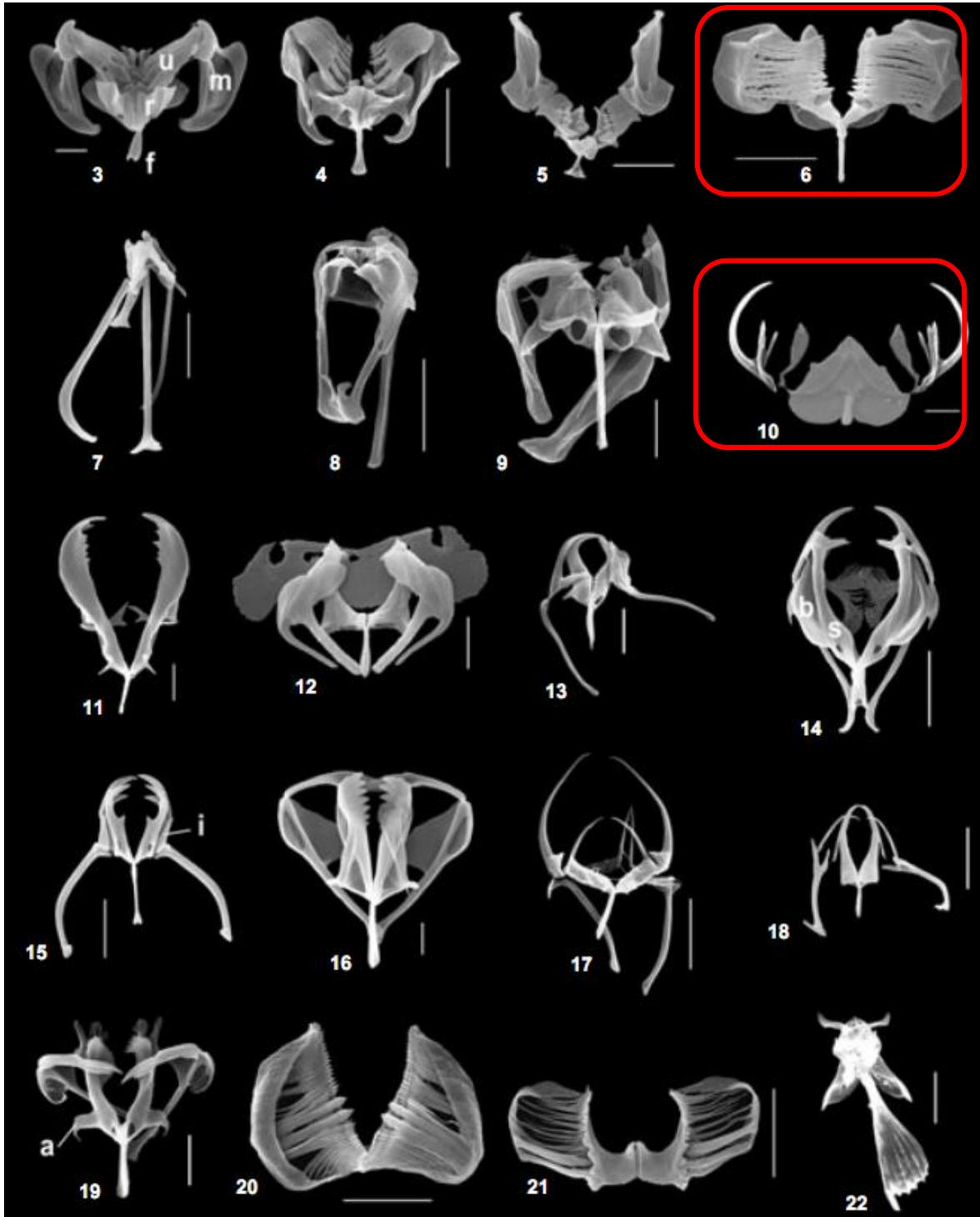


Figura 2 Diversidad y Tipos de trofi que se encuentran en los rotíferos, remarcados con rojos los pertenecientes a rotíferos sésiles, superior derecha: maleorramado (Flosculariidae), debajo: uncinado (Collotheceidae) (Tomado de Fontaneto *et al.*, 2008).

En los organismos planctónicos de la clase Monogononta, el ciclo de vida involucra una alternación entre el modo asexual y sexual de la reproducción. Cuando ocurre la reproducción sexual, hay un cambio de la producción partenogenética de hembras diploides a la producción partenogenética de machos haploides. Los machos pueden fertilizar a los huevos haploides de las hembras, los cuales pueden desarrollar machos si no han sido fertilizados. Los cigotos diploides se desarrollan en huevos de resistencia de paredes gruesas, que permiten a la población permanecer en un estado de inactividad durante largos periodos (Wallace y Snell, 2010).

La fase partenogenética asexual del ciclo de vida es conocida como amíctica, mientras que, la fase sexual es llamada mítica. Estos tipos de reproducción suelen ser de manera diferencial; es decir, cuando un organismo inicia la fase sexual, sólo producirá huevos míticos, de lo contrario sólo producirá huevos amícticos; además, existe un tercer tipo de fenómeno que es la alternancia de la producción de machos para la fertilización de huevos, y posteriormente, el retorno a la producción de hembras. Esto se conoce como anfoterismo y suele presentarse en el género *Sinantherina* (Rico-Martínez y Walsh, 2013)

El ciclo de vida de los rotíferos planctónicos y sésiles difieren en un aspecto (figura 3): los huevos de la hembra del rotífero sésil se desarrollarán en larvas, las cuales seleccionarán un sustrato, se fijarán a él y se presentará una metamorfosis para desarrollar la forma adulta, mientras que los huevos de las hembras de rotíferos planctónicos no presentan un estadio larval (Wallace, 1975).

Las larvas de los rotíferos sésiles se fijarán a un sustrato dependiendo de las características físicas y químicas del sitio y del agua (Kutikova, 1995; Wallace *et al.*, 2006). El rotífero sésil adulto tiene la capacidad de formar una estructura alrededor del cuerpo, la cual varía según la especie, puede ser de un material translucido y gelatinoso (*Collotheca* y *Stephanoceros*), o de aspecto granuloso debido a las partículas presentes en el agua o a la asociación con otros organismos, como protozoos, (*Ptygura* y *Beauchampia*); algunos adhieren en el tubo gelatinoso, bolas de poco tamaño formadas por restos fecales (*Floscularia*, *Ptygura*). Dentro del género *Limnias*, la especie *L. ceratophylli* construye un tubo rígido al cual se le adhiere materia suspendida, obteniendo así, un color oscuro y textura granulosa. En la especie *L. melicerta* se forma un tubo con una serie de anillos colocados de manera consecutiva. En general, la característica de formar un tubo, podría ser para evitar la depredación (Wallace y Snell, 2010).

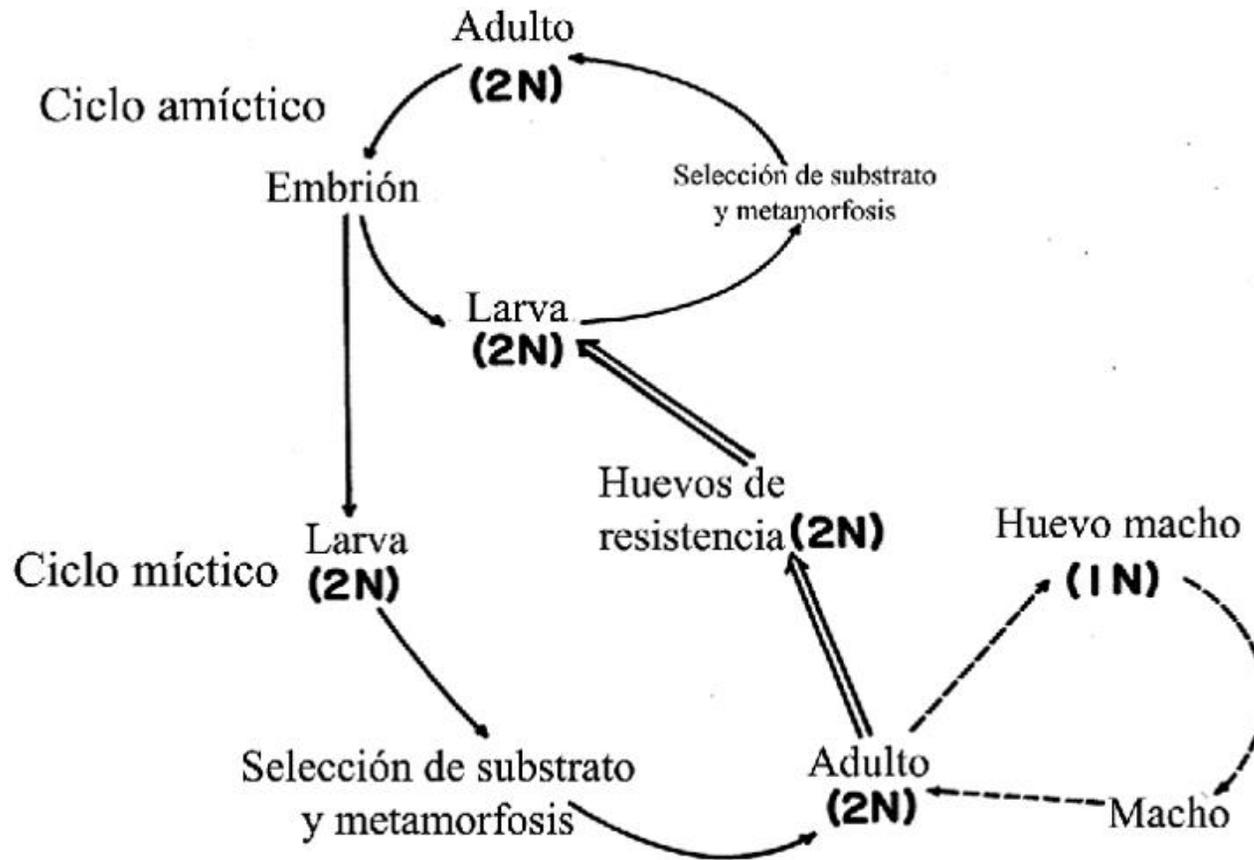


Figura 3. Esquema del ciclo de vida en los rotíferos sésiles (modificado de Wallace, 1975).

En México son escasos los estudios de rotíferos sésiles y los existentes principalmente están enfocados en la taxonomía, siendo algunos de los géneros reconocidos en el país: *Collotheca*, *Conochilus*, *Ptygura*, *Sinantherina* y *Limnias*, este último se reportó para el estado de Chihuahua (*L. ceratophylli*) y para el sureste de México en Yucatán (*L. melicerta*) (García-Morales y Elías-Gutiérrez, 2004; Wallace *et al.*, 2008).

Limnias ceratophylli y *L. melicerta* se encuentran sobre una gran diversidad de substratos (Meksuwan *et al.*, 2014), principalmente macrófitas, la planta acuática carnívora del género *Utricularia* se ha registrado como substrato de diversas especies de rotíferos sésiles que, mediante un circuito de retroalimentación positiva de absorción de nutrientes y liberación, provoca el aumento en el crecimiento de algunas algas, las cuales estarán disponibles como nutrientes para la planta y organismos que se encuentren alrededor (Ulanowicz, 1995; Meksuwan *et al.*, 2014).

El alimento tiene un papel importante en el crecimiento de los organismos y en consecuencia sobre la reproducción y la regulación de la población ya que la cantidad y el tipo de alimento disponible afectarán la dinámica de la población (King, 1967; Thor *et al.*, 2002; Peña-Aguado *et al.*, 2005) además, si la densidad de individuos que alcanza la población es mayor, se puede inferir que la dieta presenta un efecto favorable en comparación con un menor crecimiento debido a las condiciones del alimento.

En los rotíferos sésiles, aún se desconoce la respuesta biológica en función del hábitat y el alimento que consumen (Edmondson, 1945; Wallace y Edmondson, 1986). Y, aunque se sabe que en algunos rotíferos sésiles (*Ptygura*, *Floscularia*), existe preferencia alimentaria por algas en comparación con bacterias o levaduras, este tipo de alimentación no es general del grupo (Wallace y Starkweather, 1983; Wallace y Starkweather, 1985).

Las microalgas como alimento para rotíferos han sido de gran importancia, debido a sus características nutricionales y al papel ecológico que tiene en los cuerpo de agua, siendo parte de la red trófica acuática (Meza, 2000; Peña-Aguado *et al.*, 2005). Como se mencionó, *Utricularia* forma un hábitat que favorece el crecimiento de algas, entre las cuales se ha reportado la presencia de microalgas del género *Chlorella* (Peroutka *et al.*, 2008; Alkhalaf *et al.*, 2009). En México se conoce poco sobre la distribución del alga *Chlorella* y sólo se ha encontrado en Yucatán, Michoacán, Oaxaca y Morelos (Hernández y Tapia, 1987; Mora-Navarro *et al.*, 2004; López-Adrián y Barrientos-Medina, 2005; Moreno-Ruíz *et al.*, 2008). Por el bajo costo de producción, fácil cultivo y por el contenido

en nutrientes se ha utilizado como suplemento alimenticio, antioxidante, en bio-remediación, biocombustibles, acuicultura y ecotoxicología, además se ha utilizado para el cultivo de rotíferos de vida libre y se ha empleado en el laboratorio en bioensayos para conocer el efecto que tiene sobre la dinámica de poblaciones de rotíferos zooplanctónicos y litorales (Sarma y Nandini, 2001; Garduño-Solórzano *et al.*, 2009; Wallace y Snell, 2010; Oliva-Martínez *et al.*, 2014).

Además, la calidad nutritiva se puede evaluar, en relación a la respuesta biológica de los organismos que la consumen en experimentos de dinámica poblacional, ya sea en campo o en el laboratorio (Nandini y Rao, 1998). Los estudios de dinámica poblacional de rotíferos tratan de explicar los factores que cambian la estructura y el tamaño de la población como son la regulación, el tamaño y el promedio de la abundancia poblacional, mediante la cuantificación de la contribución reproductiva, la mortalidad, supervivencia, entre otros factores. Debido a que algunos rotíferos se pueden cultivar fácilmente y manipular para el desarrollo de experimentos, han sido utilizados para investigaciones de dinámica poblacional en animales siendo común el análisis de crecimiento poblacional y tabla de vida (Wallace y Snell, 2010).

En la dinámica poblacional de rotíferos, la temperatura es el principal factor que tiene un efecto sobre el desarrollo de los animales, seguido de la disponibilidad de alimento como el factor biótico más importante en la regulación del crecimiento poblacional de rotíferos, que además, las especies tienen requerimientos de alimento diferentes para su reproducción (King, 1967).

El efecto de *C. vulgaris*, sobre aspectos demográficos como crecimiento poblacional y tabla de vida de rotíferos, se evalúa en rotíferos, principalmente del género *Brachionus* (Peña-Aguado *et al.*, 2005) además, se conoce, puede presentar diversos efectos sobre rotíferos litorales y perifíticos herbívoros (*Lepadella*, *Euchlanis* y *Lecane*), que se alimentan tanto de bacterias y detritus como de algas (*Scenedesmus* y *Chlorella*) (Gulati *et al.*, 1987; Sarma *et al.*, 2006; Serrania-Soto y Sarma, 2009; Espinosa-Rodríguez *et al.*, 2012). Mientras que en rotíferos sésiles, se desconoce los efectos de las microalgas, además, el estudio del comportamiento alimentario se puede desarrollar en el laboratorio y así, poder explicar algunos aspectos que relacionen a estos organismos, su presencia, distribución y abundancia en la naturaleza (Starkweather, 1980; Salt, 1987).

ANTECEDENTES

Un trabajo considerado como excepcional (Hutchinson, 1978), es el que realizó Edmondson (1945), en el que aprovechó la peculiaridad que tiene *Floscularia conífera* de producir un tubo conformado de pequeñas esferas que integran material suspendido del medio, utilizó un colorante natural carmín, recolectó plantas acuáticas (*Utricularia*) y colocó dicho colorante, a las 24 y 48 horas recolectó y fijó las plantas, observó en el tubo de los organismos la relación entre la longitud de las zonas coloreadas y la longitud total. Con esto determinó la tasa de crecimiento, tasa de reproducción y además identificó los elementos necesarios para crear la tabla de vida de *F. conífera* tanto para individuos solitarios y coloniales. Determinó que la tasa de crecimiento corporal varió de 154µm a 334µm por día, el periodo de maduración varió de 3.8 a 2.4 días y el crecimiento aumentó cuando se presentaron colonias, lo cual, no tuvo un efecto sobre la supervivencia de los organismos.

King y Miracle (1980) señalaron que los estudios sobre la dinámica poblacional en rotíferos permiten el análisis bajo condiciones experimentales, el efecto de diversos factores ambientales por ejemplo: alimento, temperatura, depredación, competencia, entre otros, acerca del aprovechamiento de los recursos o el efecto de condiciones adversas para el desarrollo de una población.

Posteriormente, para conocer la alimentación de rotíferos sésiles y determinar un método para evaluar esto, Wallace y Starkweather (1983) determinaron las tasas de aclaramiento de 3 rotíferos sésiles y 4 de vida libre *in situ* mediante técnicas de marcaje radioactivo de células: alga (*Chamydomonas*), bacteria (*Enterobacter*) y una levadura (*Rhodotorula*). Encontraron que todas las especies se alimentaron con los tres tipos de alimento de manera diferencial, por lo que reportan que en *Ptygura* existe una preferencia de los 3 tipos de alimento, siguiendo un orden: alga > bacteria > levadura. En *Floscularia conífera*, el comportamiento es diferente, siendo igual el consumo de alimento con una ligera preferencia por la bacteria. Consecutivamente se realizó el ensayo, pero esta vez *in vitro*, Wallace y Starkweather (1985) midieron las tasas de aclaramiento de 10 rotíferos siguiendo la metodología del marcaje radioactivo de células: alga (*Chlamydomonas*) y

levadura (*Rhodotorula*). Dentro de sus resultados, reportan para *L. melicerta* una relación entre el tamaño del cuerpo y la tasa de aclaramiento. Midieron una baja tasa de consumo de levadura y no lograron registrar consumo de algas.

Los experimentos en rotíferos planctónicos y litorales se realizaron mediante el análisis de crecimiento poblacional y tabla de vida, y en algunos casos se realizaron de manera separada. Se ha manipulado el tipo de alimento, determinado el efecto sobre diversas especies zooplanctónicas y se ha variado la densidad del alimento o alguna variedad de factores, entre los trabajos de este tipo se pueden mencionar:

Sarma y Nandini (2001) mediante un análisis de tabla de vida del rotífero *Brachionus variabilis*, evaluaron el efecto del alimento *Chlorella vulgaris* a diversas concentraciones (de 0.25×10^6 a 4×10^6 céls·ml⁻¹) a 25°C. La densidad del alimento tuvo efecto significativo en las diferentes variables de historia de vida, en la tasa reproductiva neta y en la esperanza de vida promedio, presentaron altos valores, los cuales correspondieron a una concentración de 1×10^6 céls·ml⁻¹.

Mediante el análisis de crecimiento poblacional y tabla de vida, los rotíferos *B. macracanthus* y *Platyias quadricornis* se alimentaron con diversas concentraciones del alga *C. vulgaris* (de 0.5×10^6 a 4×10^6 céls·ml⁻¹), encontraron que las variables de historia de vida tuvieron un aumento como el de abundancia, en razón al aumento de la densidad de alimento en ambos rotíferos (Sarma y Nandini, 2002).

Algunos rotíferos litorales de los géneros *Brachionus*, *Lecane* y *Platyias*, presentan tasas de crecimiento similar (*B. macracanthus* y *L. quadridentata*) cuando se alimentan con *C. vulgaris* a diferentes concentraciones (de 0.5×10^6 a 1.6×10^6 Céls*ml⁻¹) en estado viva y muerta, mientras que *P. quadricornis*, crece mejor al tener detritus como alimento (Enríquez-García *et al.*, 2003).

En organismos del zooplancton (Cladóceros y rotíferos) se observó que *C. vulgaris* tiene un impacto mayor sobre el crecimiento de los rotíferos, en comparación con el alga *Scenedesmus* y la levadura *Saccharomyces* (Peña-Aguado *et al.*, 2003).

Además entre cladóceros y rotíferos, estos pueden tener mejor influencia por parte del alimento siendo mejor en uno u otro tipo de organismo, se ha evaluado sobre cladóceros y rotíferos, el efecto que tiene *C. vulgaris* y *S. acutus* en diferentes proporciones y determinaron que los rotíferos pueden presentar un mejor crecimiento con *Chlorella* (Flores-Burgos *et al.*, 2003).

Sarma *et al.* (2006) realizaron un estudio de dinámica poblacional con los rotíferos litorales *Lecane inermis* y *Lepadella rhomboides*, en el cual usaron 4 concentraciones (de 0.1 a 0.8 X10⁶ céls·ml⁻¹) de alimento *C. vulgaris*, los autores encontraron que *L. inermis* crece mejor a una concentración baja (0.1 x10⁶ céls·ml⁻¹) y *L. rombooides* a densidades intermedias (0.2 x10⁶ y 0.4x10⁶ Céls.ml⁻¹). Además, una concentración alta resulta en la reducción del crecimiento poblacional en ambas especies.

JUSTIFICACIÓN

Dado que los rotíferos se han utilizado para diversos fines de investigación, en algunos casos es necesario desarrollar cultivos, por ejemplo, para análisis moleculares, evolutivos, neurofisiológicos, entre otros, siendo necesario el uso de individuos monoclonales (Bozovic y Enesco, 1986; Gladyshev y Arkhipova, 2010; Hochberg y Lilley, 2010; Jiménez-Contreras *et al.*, 2013), además se requiere una gran cantidad de organismos para realizar dichos estudios, lo cual se logra con métodos de cultivo en el laboratorio a través del uso de elementos adecuados y óptimos como es el alimento, además de que éste último juega un papel importante en la regulación de las poblaciones y determinan el estado reproductivo que pueden tener, lo cual podrá explicar algunos aspectos como su distribución y abundancia en el medio natural (Edmondson, 1945; King 1967; Wallace y Snell, 2010).

Ya que *Chlorella vulgaris* ha demostrado ser un recurso adecuado para el desarrollo de experimentos con rotíferos, variando las concentraciones de alimento para conocer la cantidad idónea y evaluar la calidad nutritiva de esta, mediante el efecto sobre el crecimiento poblacional y tabla de vida (Peña-Aguado *et al.* (2003), además de ser una microalga común, pero no abundante de los cuerpos de México (Garduño-Solórzano *et al.*, 2009), se eligió esta microalga para el desarrollo del presente trabajo.

El estudio de dinámica poblacional tanto en campo como en el laboratorio se ha dirigido al estudio de ciertas especies, principalmente del género *Brachionus* (Wallace y Snell, 2010; Snell, 2014), por lo que estudios de rotíferos sésiles son escasos a pesar de ser abundantes en el campo.

Las evaluaciones de laboratorio con rotíferos se basan en una gran variedad de parámetros ecológicos, tales como: tasa de filtración y alimentación, crecimiento somático y poblacional, depredación e interacciones de competencia y demografía (Snell y Janssen, 1995). Con estos aspectos se da una serie de información necesaria para el entendimiento del rol que juegan diversos aspectos bióticos y abióticos sobre las poblaciones (Kammenga y Laskowski, 2000). Solo en los métodos demográficos, se proporciona variables de historia de vida en una edad específica. La respuesta de los rotíferos ante algún tipo de alga puede ser evaluada usando diferentes criterios como el crecimiento poblacional y tabla de vida demográfica (Nandini y Rao, 1998; Nandini y Sarma, 2000), debido a que el efecto sobre el consumo de alimento es reflejado en la tasa

de crecimiento poblacional (r) (Halbach, 1973); en la mayoría de estudios, solo se considera uno de estos criterios a la vez, por lo que se reduce la comprensión de las estrategias de historia de vida del zooplancton (Sarma y Nandini, 2002).

El crecimiento poblacional nos proporciona cómo es el desarrollo de una población en condiciones controladas para poder evaluar el efecto del alimento y determinar su densidad máxima poblacional en cultivo con un efecto densodependiente sobre individuos o varias generaciones simultáneas que se encuentran en un cultivo de crecimiento, lo cual, puede tener un efecto sobre la población en su regulación o en respuestas fisiológicas de saturación que, de acuerdo a la literatura, puede provocar la acumulación de elementos tóxicos para los organismos y provocar su descenso o la producción de huevos de resistencia que, además están relacionados con el nivel trófico y la producción primaria de los sistemas acuáticos, que proporcionarán el recurso disponible para su crecimiento y reproducción (King, 1967; Pourriot y Snell, 1983; Snell, 1987; Wallace *et al.*, 2006; Wallace y Snell, 2010). Este método no puede resolver algunos aspectos como el efecto de la supervivencia y reproducción (Krebs, 1985).

El análisis de tabla de vida nos proporciona información adicional al crecimiento poblacional, ya que en éste último, se sigue una población con individuos de diferentes edades, que representa una condición en el campo, además de proporcionar información sobre la fecundidad y la mortalidad a una edad específica; la tabla de vida maneja una cohorte de neonatos, el cual, se puede encontrar representado en el campo si un cuerpo de agua no es permanente. En la época sin agua se puede encontrar huevos de resistencia, que una vez vuelvan las condiciones adecuadas, los huevos eclosionarán y se presentará una cohorte de neonatos, estos tendrán una dinámica como la tabla de vida, la cual nos proporcionará aspectos como la supervivencia específica de la edad y patrones de reproducción (Pourriot y Snell, 1983; Bell, 1984; Snell, 1987; Hairston *et al.*, 2000; Brendonck y De Meester, 2003; Schröder, 2005; Nakazawa y Kuwamura, 2011; Weisse *et al.*, 2013).

HIPOTESIS

Considerando que el alimento (*C. vulgaris*) sea adecuado en los rotíferos sésiles seleccionados del género *Limnias*, se espera que la tasa de crecimiento (r), aumente con la disponibilidad de alimento (de 0.25×10^6 a 1×10^6 céls·ml⁻¹) y exista entre las especies, una diferencia significativa en los experimentos de crecimiento poblacional y tabla de vida.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de *C. vulgaris* sobre el patrón de crecimiento poblacional y tabla de vida demográfica de los rotíferos sésiles seleccionados.

Objetivos particulares

Evaluar la adaptación gradual del rotífero sésil *Limnias cf ceratophylli* al medio fisiológico EPA, al emplear agua del sitio de muestreo y medio de cultivo EPA bajo condiciones de laboratorio

Determinar la tasa de crecimiento poblacional y abundancia máxima de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* alimentados con la microalga *C. vulgaris* a diferentes concentraciones bajo condiciones de laboratorio

Determinar la supervivencia específica de la edad y esperanza de vida de los rotíferos sésiles *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* alimentados con *C. vulgaris* a diferentes densidades bajo condiciones de laboratorio.

Determinar el patrón de reproducción, mediante la fecundidad, tasa de reproducción neta, tasa de reproducción bruta ponderada, tiempo generacional y la tasa intrínseca de crecimiento de los rotíferos *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta*, alimentados con distintas concentraciones de *C. vulgaris* en condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Medio de cultivo EPA.

Se modificó el medio fisiológico de cultivo de zooplancton (Anonymous, 1985) y se llevó el medio al tipo de agua ligeramente dura mediante los siguientes reactivos, los cuales se expresan para un total de 20 litros de agua destilada:

Reactivo	Cantidad en g·L ⁻¹
NaHCO ₃	1.9
CaSO ₄	1.2
MgSO ₄	1.2r
KCL	0.04

Cultivo masivo de *C. vulgaris*

Se cultivó la microalga *C. vulgaris* en el medio basal Bold (Borowitzka y Borowitzka, 1988) con pH de 7.5, el cual fue enriquecido con bicarbonato de sodio (Sarma, 1996) en botellas transparentes de dos litros. El cultivo se mantuvo a temperatura de 20 °C, con aireación y luz continua. Posterior a 7 días, se retiraron las botellas y se mantuvo en refrigeración durante unos días (4 aproximadamente) para permitir la sedimentación de las células y así poder decantar y obtener un concentrado del alga. La determinación de la densidad de células se realizó con el uso de una cámara de Neubauer y se ajustó para las concentraciones requeridas mediante la siguiente fórmula:

$$C_1V_1=C_2V_2$$

El medio basal Bold se realizó con los siguientes reactivos:

Reactivo	Cantidad en g·L ⁻¹
NaNO ₃	250
MgSO ₄	75
K ₄ HPO ₄	75
NaCl	25
EDTA 30g + 31 g de KOH·L ⁻¹	
H ₃ BO ₃	1.42
CaCl ₂	25
Elementos traza:	
ZnSO ₄	8.82
MnCl ₂	1.44
MoO ₃	0.71
Co(NO ₃) ₄	0.49
Co(NO ₃) ₂	0.49

Recolecta en campo

Se realizó en la Cantera Oriente (Ciudad Universitaria - UNAM, México) en el mes de agosto del 2013, se tomaron plantas y substratos de la parte litoral en un cuerpo de agua relativamente estancada, de la zona sureste del área de amortiguamiento A3 (Lot, 2007) (Figura 4). El sustrato se agitó moderadamente en un recipiente con agua del sitio, durante cinco minutos aproximadamente, después se regresó el sustrato al cuerpo de agua, el agua del recipiente se filtró utilizando una malla con apertura de 50 µm, concentrándose en frascos de plástico de 500 ml para su revisión posterior en el laboratorio y aislamiento de los rotíferos sésiles seleccionados del género *Limnias*, los cuales habían sido determinadas en muestras recolectadas del sitio (González-Gutiérrez, com. pers.). Además se recolectó agua del sitio filtrada con una malla con apertura de 20 µm, la cual se mantuvo en refrigeración para su uso posterior en el establecimiento de cultivo y adaptación al medio EPA.



Figura 4. Cantera oriente, Ciudad Universitaria, México. Zona de amortiguamiento A3, se señala el área de recolecta (Tomado de Google earth, 2014).

Experimentos de laboratorio.

Adaptación al medio EPA.

Debido a la necesidad de mantener condiciones estándar, en el cultivo de zooplancton y en particular de rotíferos, se ha utilizado el medio EPA, agua moderadamente dura (Wallace *et al.* 2006; Anonimous, 1985).

Las muestras de campo, se revisaron con un microscopio estereoscópico (marca Nikon SMZ645), separando los rotíferos sésiles individuales de interés, con estos se realizó un ensayo para el establecimiento del cultivo y adaptación al medio EPA. El ensayo se realizó en recipientes de plástico a una cantidad final de 50 ml de medio de crecimiento bajo diferentes condiciones: a) agua del sitio de muestreo filtrada con una malla de 20 μm de apertura, b) agua del sitio filtrada más medio fisiológico EPA y c) sólo medio fisiológico EPA. En cada tratamiento se agregó alga *C. vulgaris* a una concentración de 0.5×10^6 céls·ml⁻¹; cada 24 horas se retiraron 20 ml de medio y se agregó la misma cantidad de medio fresco de cada tratamiento respectivamente, transcurridos 15 días se remplazaron

los tratamientos por medio EPA. El crecimiento poblacional se registró cada 24 horas y se realizó el análisis de Normalidad () y Homocedasticidad (prueba de Bartlett), se prosiguió con el análisis de varianza (ANDEVA) junto con una prueba de Tukey de comparación múltiple, se utilizó el Software SigmaPlot® (versión 11.0) y se determinó la densidad máxima y la tasa de crecimiento poblacional (r) con la fórmula:

$$r = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$$

Donde:

N_0 = Densidad poblacional inicial

N_t = Densidad poblacional después de tiempo t

T= Tiempo en días

En los tratamientos donde un pico de abundancia de la población no era evidente, la tasa de crecimiento se calculó a partir de la pendiente entre $\ln N_t$ y el tiempo.

El tratamiento con mayor reproducción de acuerdo a la abundancia máxima obtenida, se mantuvo como cultivo para la producción y obtención de estadios juveniles, los cuales se utilizaron para los experimentos de crecimiento poblacional y tabla de vida.

Crecimiento poblacional y Tabla de vida

Se realizó el análisis de crecimiento poblacional y tabla de vida por separado y simultáneamente por cada especie de rotífero sésil, se utilizaron rotíferos juveniles del cultivo que fueron establecidos previamente, se formaron los tratamientos con diferentes concentraciones de alimento (0.25×10^6 , 0.5×10^6 y 1.0×10^6 céls·ml⁻¹) con una población inicial de 5 individuos. Se usaron recipientes transparentes de plástico con capacidad de 50 ml, las pruebas se realizaron en 30 ml de volumen usando medio fisiológico EPA a temperatura ambiente ($22 \pm 2^\circ\text{C}$) durante más de un mes. Para cada concentración de alimento se establecieron 4 repeticiones (Calow, 1998). El medio se reemplazó después de 24 horas y se añadió medio fresco con alimento según el tratamiento (Pérez-Legaspi y Rico-Martínez, 1998).

En el crecimiento poblacional, los individuos se contaron diariamente y los recién nacidos fueron devueltos a los recipientes, para la tabla de vida, se registraron diariamente los nacimientos y éstos fueron retirados junto a los individuos muertos para seguir la cohorte inicial, hasta la muerte del último individuo.

El crecimiento poblacional se registró cada 24 horas. Se determinó la densidad máxima poblacional y la tasa de crecimiento poblacional (r) con la fórmula ya mencionada anteriormente.

Se analizó la Tabla de vida con el fin de obtener el promedio de vida, esperanza de vida, tasa reproductiva bruta y neta, tiempo generacional y tasa de incremento poblacional. Para obtener las variables de historia de vida antes mencionadas, se realizaron con base a diversas fórmulas (Krebs, 1985; Pianka, 1988):

Tasa de reproducción bruta:

$$\sum_0^{\infty} m_x$$

Tasa de reproducción neta:

$$R_0 = \sum_0^{\infty} l_x m_x$$

Tiempo generacional:

$$T = \frac{\sum l_x m_x * x}{R_0}$$

Tasa de incremento poblacional:

$$R = \frac{\ln R_0}{T}$$

También usando forma iterativa:

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-rx} l_x m_x = 1$$

Donde l_x , m_x , R_0 , T , R y r representan: edad de supervivencia específica de la edad, fecundidad, tasa de reproducción neta, tiempo generacional, tasa finita de crecimiento y la tasa intrínseca de crecimiento poblacional.

Para el crecimiento poblacional, la densidad se estimó diariamente, obteniendo la densidad máxima para cada tratamiento y se calculó la tasa de crecimiento poblacional por día (r).

Los resultados se analizaron mediante un análisis de Normalidad () y Homocedasticidad (prueba de Bartlett) y se prosiguió con ANDEVA junto con una prueba de Tukey. Se utilizó el programa de computadora SigmaPlot® (versión 11.0).

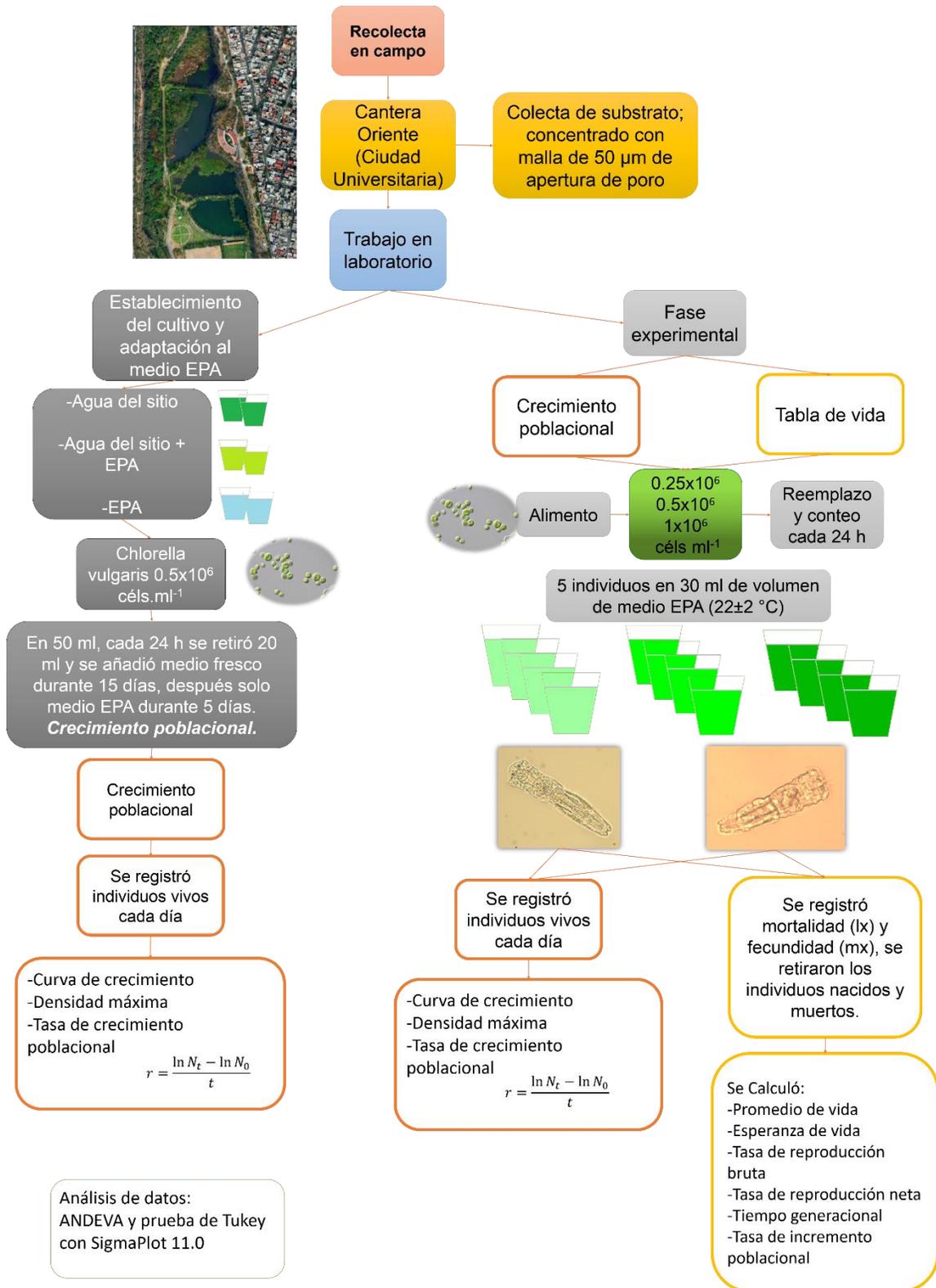


Diagrama 1. Diagrama experimental del proyecto.

RESULTADOS

Adaptación al medio EPA.

Los resultados obtenidos del crecimiento poblacional de *L. cf ceratophylli*, para el establecimiento y adaptación al medio EPA, se presentó un desarrollo mayor en el medio que tenía agua del sitio más medio EPA, y el menor crecimiento en la población ocurrió con el uso único de medio EPA (figura 5). La máxima densidad poblacional, los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$), encontrando la mayor densidad se presentó en el tratamiento con agua del sitio más EPA ($6 \text{ Ind}\cdot\text{ml}^{-1}$) y el tratamiento con EPA fue el que presentó menor abundancia ($1 \text{ Ind}\cdot\text{ml}^{-1}$) (figura 6). La tasa de crecimiento (figura 7), muestra que en el tratamiento de agua del sitio más EPA, presentó una mayor tasa de crecimiento (0.29 por día) en comparación con los otros 2 tratamientos (0.26 por día con sólo medio del sitio y 0.23 para el medio con sólo EPA) por lo que el cultivo con mayor cantidad de individuos que se obtuvo, se siguió y se mantuvo sólo con medio EPA para su uso posterior en experimentos.

Crecimiento poblacional

Las figuras 8 y 9 muestran que el crecimiento poblacional de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* son afectados por la concentración de alimento *C. vulgaris*; ambas especies aumentaron su población al aumentar la disponibilidad de alimento. Según se observa, las curvas de crecimiento de *Limnias* se observa, presentaron un lento crecimiento alcanzando el equilibrio después de 3 semanas en las diferentes concentraciones de *C. vulgaris*, sin embargo se puede observar que a la concentración de $1 \times 10^6 \text{ céls}\cdot\text{ml}^{-1}$, ambas especies mantuvieron su población a una densidad alta.

La disponibilidad de alimento incrementó la abundancia máxima de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* a una concentración de $0.25 \times 10^6 \text{ céls}\cdot\text{ml}^{-1}$ de *C. vulgaris*, alcanzaron una densidad de 17 y 11 $\text{Ind}\cdot\text{ml}^{-1}$ respectivamente, en cuanto al alimento a una concentración mayor ($1 \times 10^6 \text{ céls}\cdot\text{ml}^{-1}$), la densidad alcanzó 38 y 16 $\text{Ind}\cdot\text{ml}^{-1}$ respectivamente (figura 10). Estadísticamente, las 3 concentraciones de alimento tuvieron un efecto significativo en la especie *L. cf ceratophylli*, mientras que para *L. melicerta*, hubo diferencia significativa entre la menor y mayor concentración, pero no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$) sobre la abundancia máxima a una concentración media ($0.5 \times 10^6 \text{ céls}\cdot\text{ml}^{-1}$) y alta de *C. vulgaris* (Tabla 1, ANDEVA).

La tasa de crecimiento poblacional (figura 11), también muestra una tendencia de acuerdo a las densidades máximas, la tasa de crecimiento poblacional r de *L. cf ceratophylli* varió de 0.12 a 0.16 por día y para *L. melicerta* osciló entre 0.14 y 0.15, en general conforme aumentó la densidad de alga, también aumentó la r , estadísticamente la densidad de alga fue significativo ($p < 0.001$) en el caso de *L. cf ceratophylli*, pero para *L. melicerta*, la diferencia se presentó entre una densidad baja y alta, mientras que a una densidad media y alta, no existen diferencias significativas (Tabla 3, ANDEVA)

Tabla de vida demográfica

Las curvas de supervivencia de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta*, expuestos a diferentes concentraciones de *C. vulgaris* se muestra en la figura 12. De manera general, en ambas especies de rotíferos, la supervivencia tiene una forma rectangular, lo que implica una vida prolongada, que en el caso de los rotíferos sésiles estudiados es de hasta más de 30 días en ambas especies; sin embargo, con el aumento en la concentración de alimento en el medio, la supervivencia se disminuyó significativamente en *L. cf ceratophylli*, mientras que en *L. melicerta* se vio poco marcada esta tendencia. La mortalidad de la cohorte se observó que inicia a partir de los 15 días en adelante para *L. cf ceratophylli* y de 20 días para *L. melicerta*.

Las curvas de fecundidad a edad específica de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta*, expuestos a diferentes concentraciones de *C. vulgaris* se muestra en la figura 13. La reproducción comenzó al tercer día en *L. cf ceratophylli* y en *L. melicerta* inició al 5° día; la densidad máxima se alcanzó entre la primera y segunda semana del experimento en ambas especies, posteriormente disminuyó la reproducción independientemente de la concentración de alimento. En *L. cf ceratophylli* la reproducción no varió de manera significativa entre las concentraciones de 0.25×10^6 y 0.5×10^6 céls·ml⁻¹, sin embargo, a una concentración de 1×10^6 céls·ml⁻¹ la reproducción inicial fue mayor en comparación con las dos concentraciones anteriores, prosiguiendo con una reducción en la reproducción, En cambio, *L. melicerta* disminuye su reproducción con el aumento en la concentración de *C. vulgaris*.

Las variables demográficas seleccionadas de *L. cf ceratophylli* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*, se muestran en las figuras 14 y 15. Las diversas variables demográficas de ambas especies muestran una relación inversa con el aumento en la concentración de *C. vulgaris* en el medio. Estadísticamente las variables demográficas

fueron significativamente influenciadas por el alimento (Tabla 4). El promedio de vida de *L. cf ceratophylli* varió de 23 a 28 días, la esperanza de vida de 22.8 a 28.05, el tiempo generacional de 10.68 a 12.82 días, la tasa reproductiva bruta de 27.96 a 30.97, la tasa reproductiva neta de 24.5 a 27.05 y la tasa de incremento poblacional de 0.36 a 0.38 por día.

Las variables demográficas de *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris* se muestran en las figuras 14 y 15. Estadísticamente las variables demográficas fueron significativamente influenciadas por el alimento (Tabla 5). El promedio de vida de *L. melicerta* varió de 28.8 a 33.7, la esperanza de vida de 28.35 a 33.2, el tiempo generacional de 13 a 14 días, la tasa reproductiva bruta de 22.8 s 26 neonatos por hembra, la tasa reproductiva neta de 19.2 a 24.2 neonatos por hembra de manera ponderada y la tasa de crecimiento osciló de 0.29 a 0.30 por día.

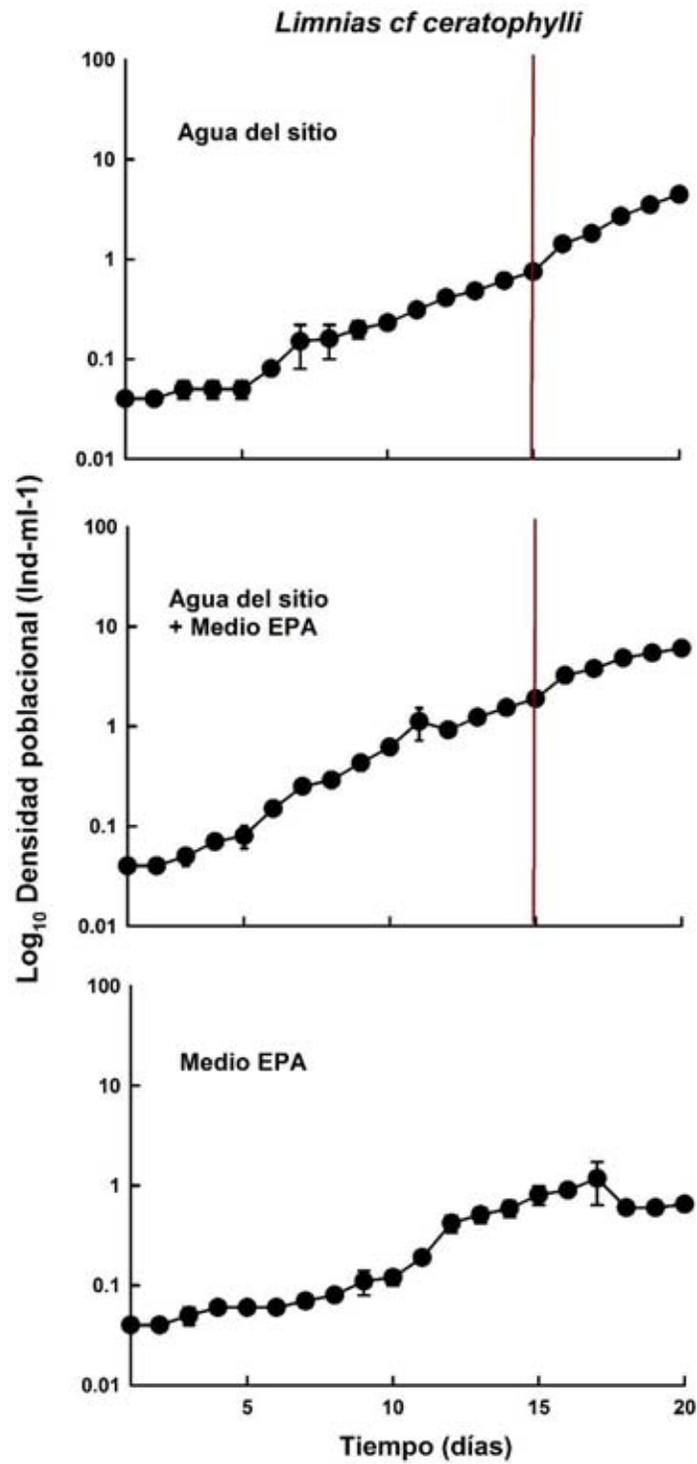


Figura 5. Crecimiento poblacional de *L. cf ceratophylli* con diferentes medios de cultivo, la línea roja expresa el inicio del uso de medio EPA. Los promedios y error estándar están con base en 2 réplicas.

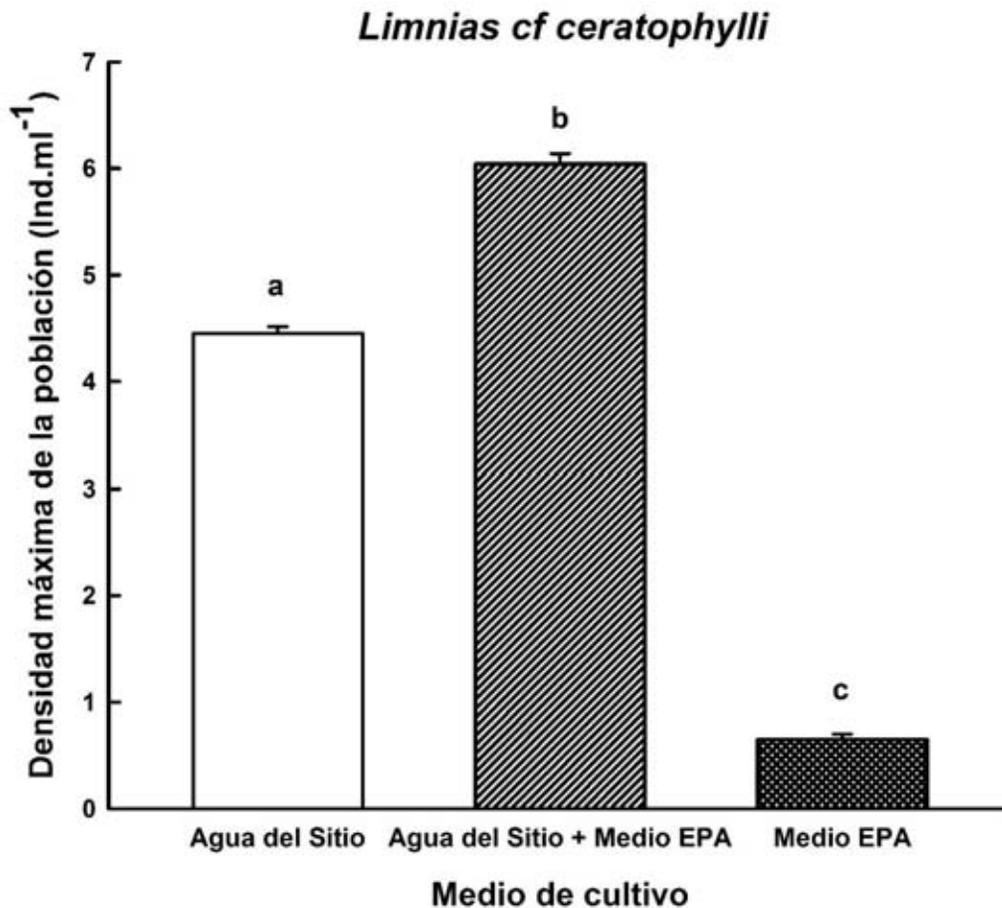


Figura 6. Máxima densidad poblacional alcanzada por *L. cf ceratophylli* bajo diversos medios de cultivo. Los valores representan el promedio con error estándar, están con base en 2 réplicas. Las barras con diferentes letras muestran las diferencias significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey).

Tabla 1. ANDEVA de la máxima densidad poblacional de *L. cf ceratophylli* bajo diversos medios de cultivo. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= Media cuadrática, F= prueba de F, ***= $p < 0.001$.

Densidad poblacional				
Entre Medios de Cultivo	2	30.68	15.34	705.83***
Error	3	0.065	0.022	

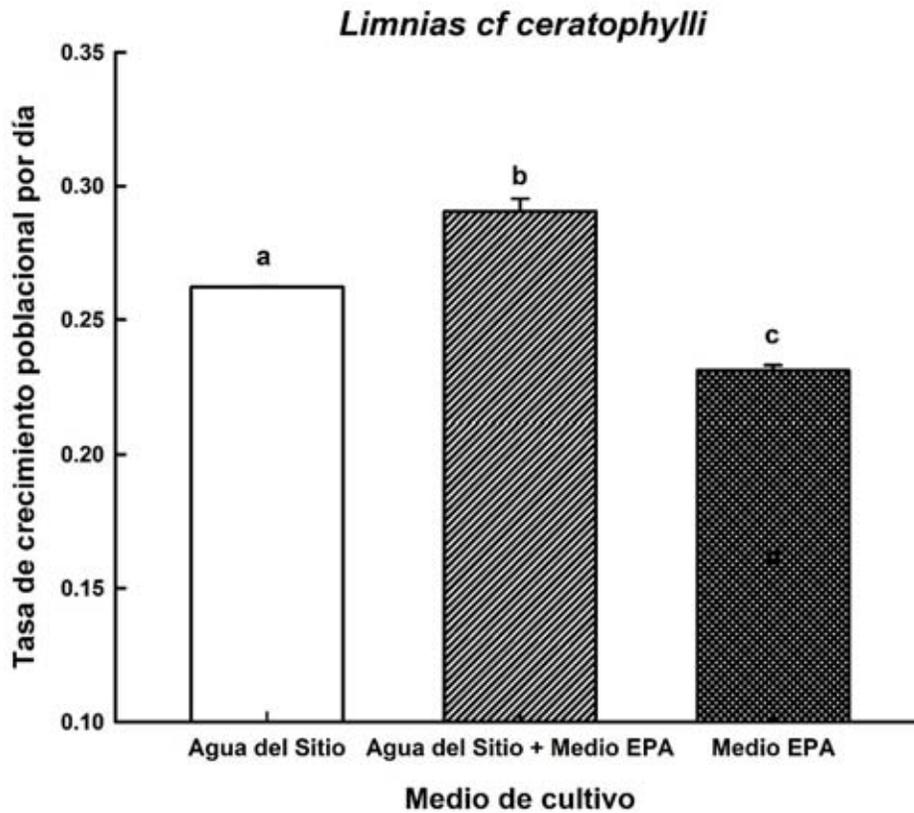


Figura 7. Tasa de crecimiento poblacional de *L. cf ceratophylli* bajo diversos medios de cultivo. Los valores representan el promedio con error estándar están con base en 2 réplicas. Las letras muestran diferencia significativa entre cada tratamiento (prueba de Tukey).

Tabla 2. ANDEVA de la tasa de crecimiento de *L. cf ceratophylli* bajo diversos medios de cultivo. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= Media cuadrática, F= prueba de F, ***= $p < 0.001$.

Tasa de crecimiento poblacional				
Entre Medios de Cultivo	2	0.0471	0.0236	5021.08***
Error	3	1.41×10^{-5}	4.69×10^{-6}	

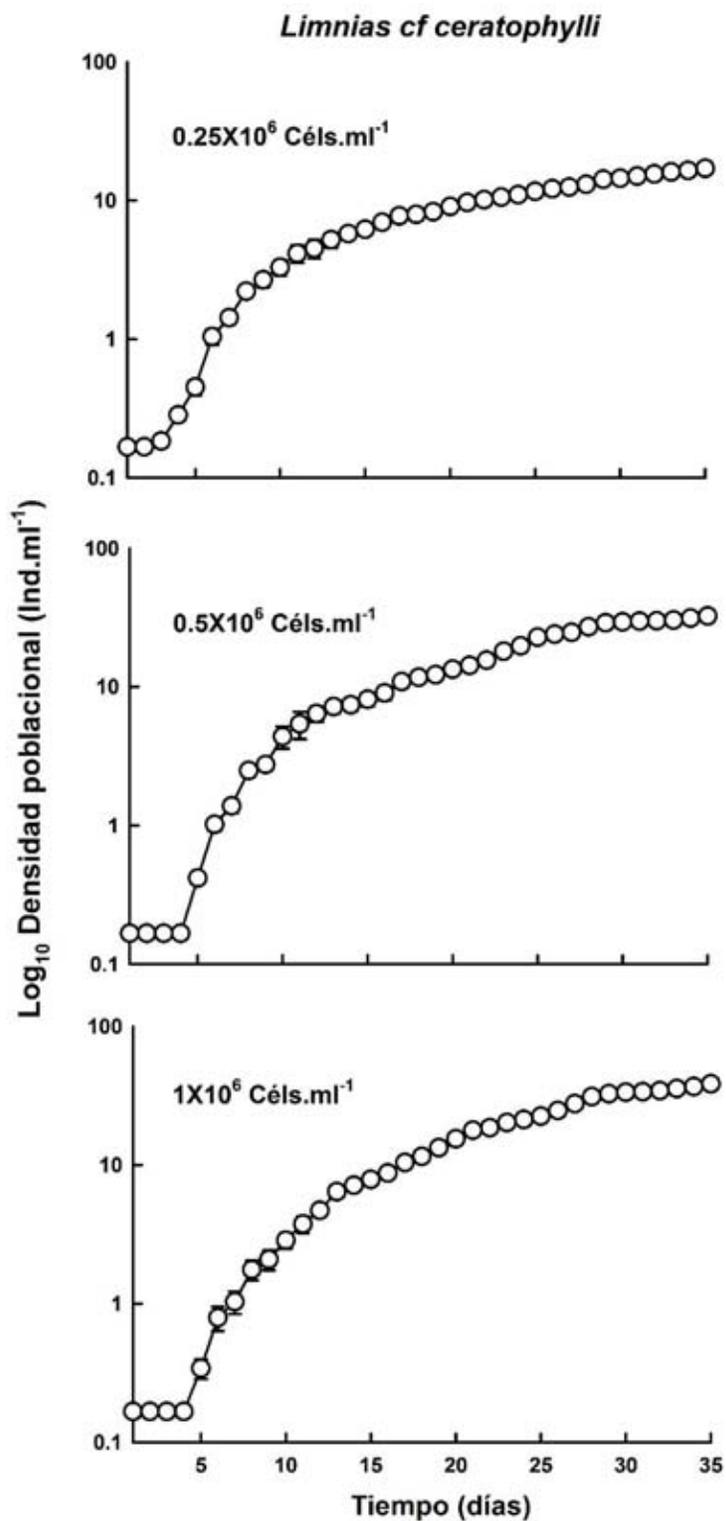


Figura 8. Crecimiento poblacional de *L. cf ceratophylli* con diferentes concentraciones *C. vulgaris*. Los valores representan el promedio y error estándar con base en 4 réplicas.

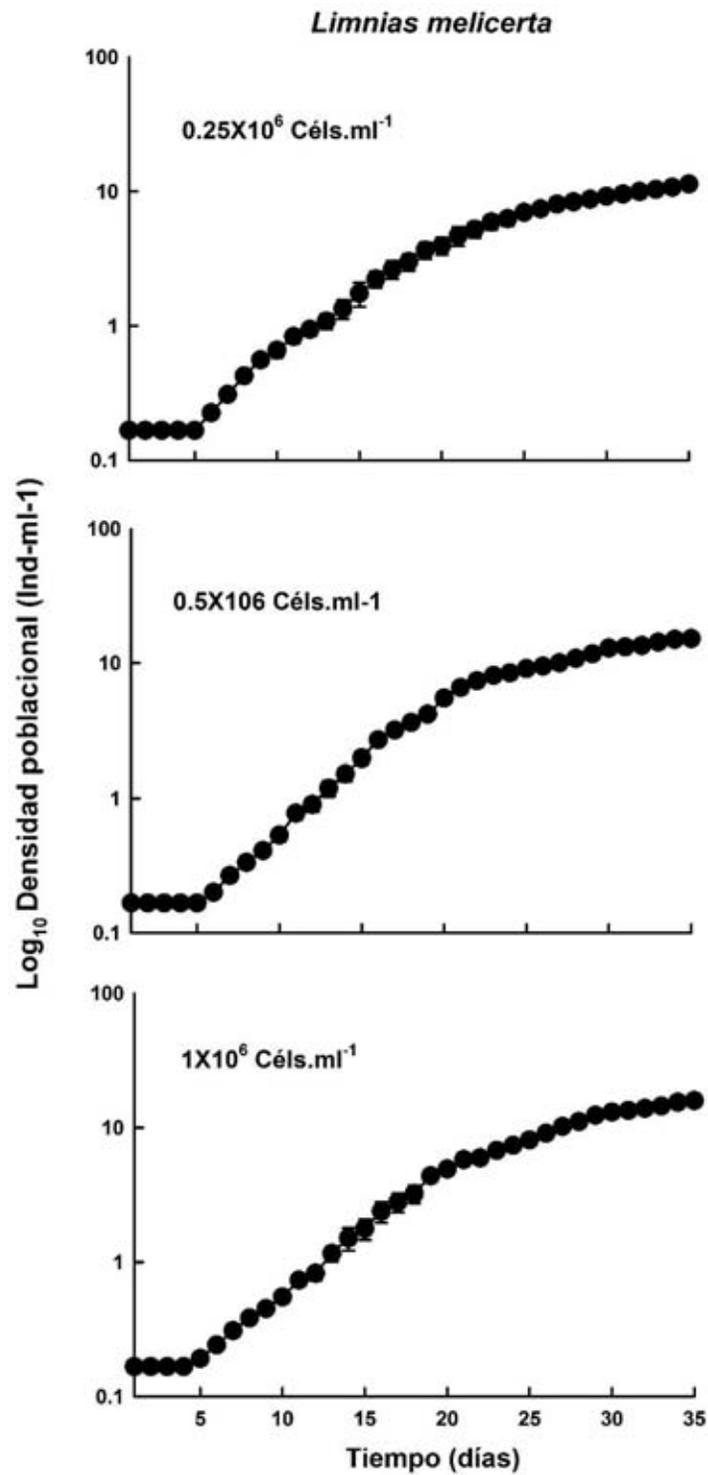


Figura 9. Crecimiento poblacional de *L. melicerta* con diferentes concentraciones *C. vulgaris*. Los valores representan el promedio y error estándar con base en 4 réplicas.

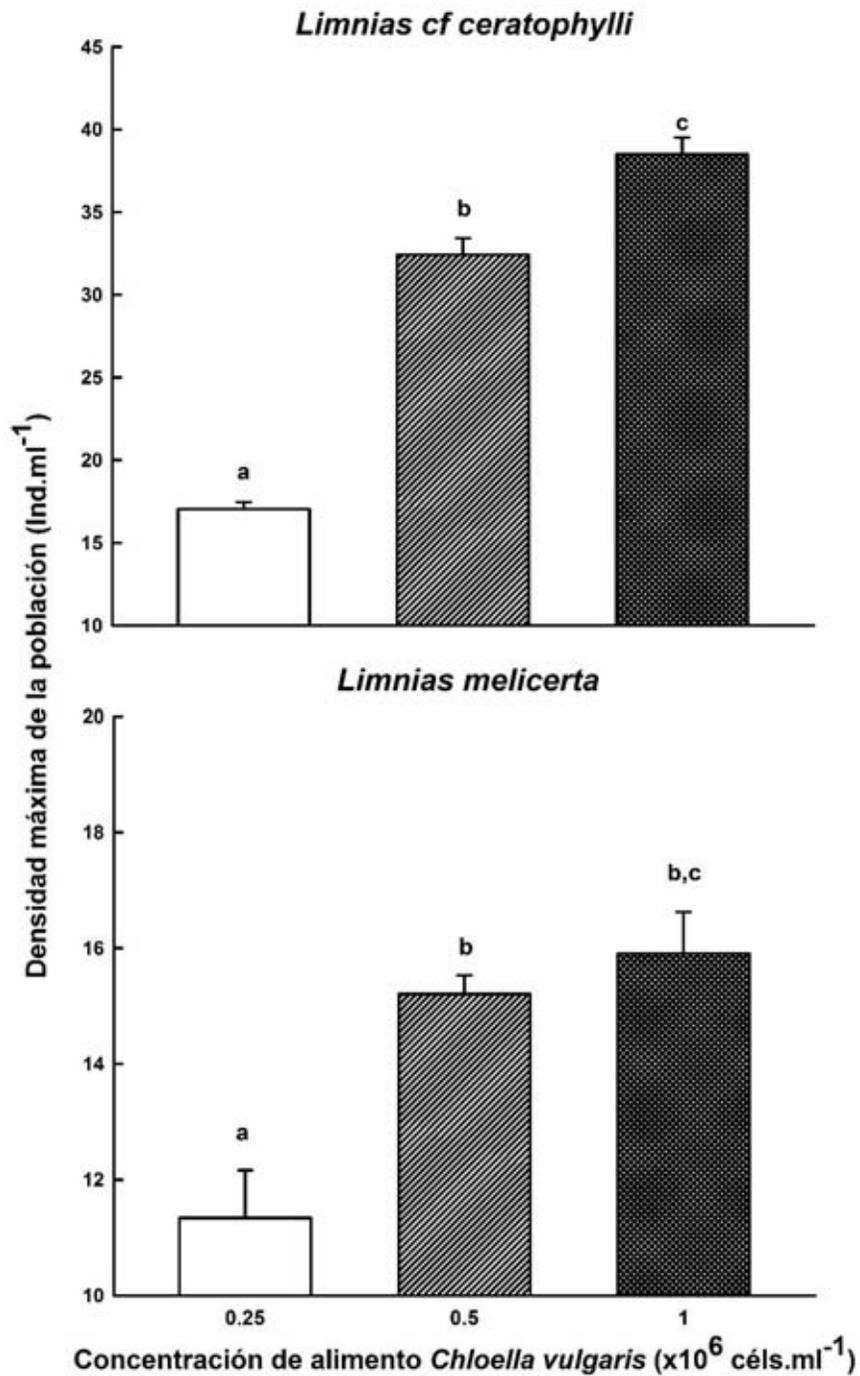


Figura 10. Máxima densidad poblacional alcanzada por *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* con diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Los valores representan el promedio y error estándar con base en 4 réplicas. Las letras muestran diferencias significativas entre cada tratamiento (Prueba de Tukey).

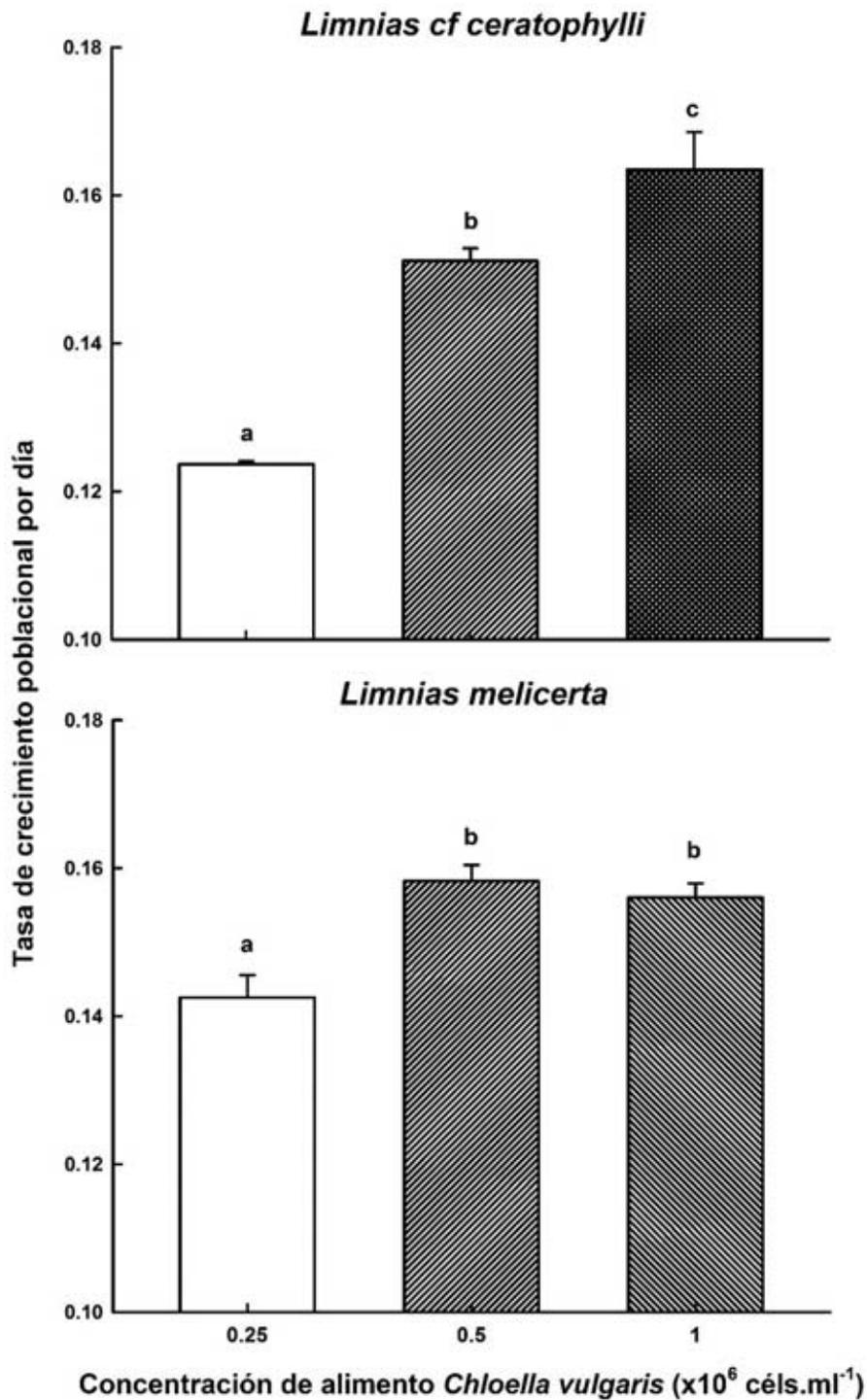


Figura 11. Tasa de crecimiento poblacional de *L. cf. ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Los valores representan el promedio y error estándar con base en 4 réplicas. Las letras muestran diferencia significativa entre cada tratamiento (prueba de Tukey).

Tabla 3. ANDEVA's de la Densidad máxima poblacional y Tasa de crecimiento poblacional por día (r) de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= Media cuadrática, F=prueba de F, ***= p<0.001, **= p=0.002

Densidad máxima poblacional				
<i>Limnias cf ceratophylli</i>				
Entre concentraciones de <i>Chlorella vulgaris</i>	2	978.279	489.14	169.65***
Error	9	25.948	2.883	
<i>Limnias melicerta</i>				
Entre concentraciones de <i>Chlorella vulgaris</i>	2	48.394	24.197	14.08 **
Error	9	15.467	1.719	
Tasa de crecimiento poblacional				
<i>Limnias cf ceratophylli</i>				
Entre concentraciones de <i>Chlorella vulgaris</i>	2	0.0012	6.02x10 ⁻⁴	246.33***
Error	9	0.000022	2.45x10 ⁻⁶	
<i>Limnias melicerta</i>				
Entre concentraciones de <i>Chlorella vulgaris</i>	2	0.000228	1.14x20 ⁻⁴	14.06**
Error	9	0.0000729	8.11x10 ⁻⁶	

Tabla de vida

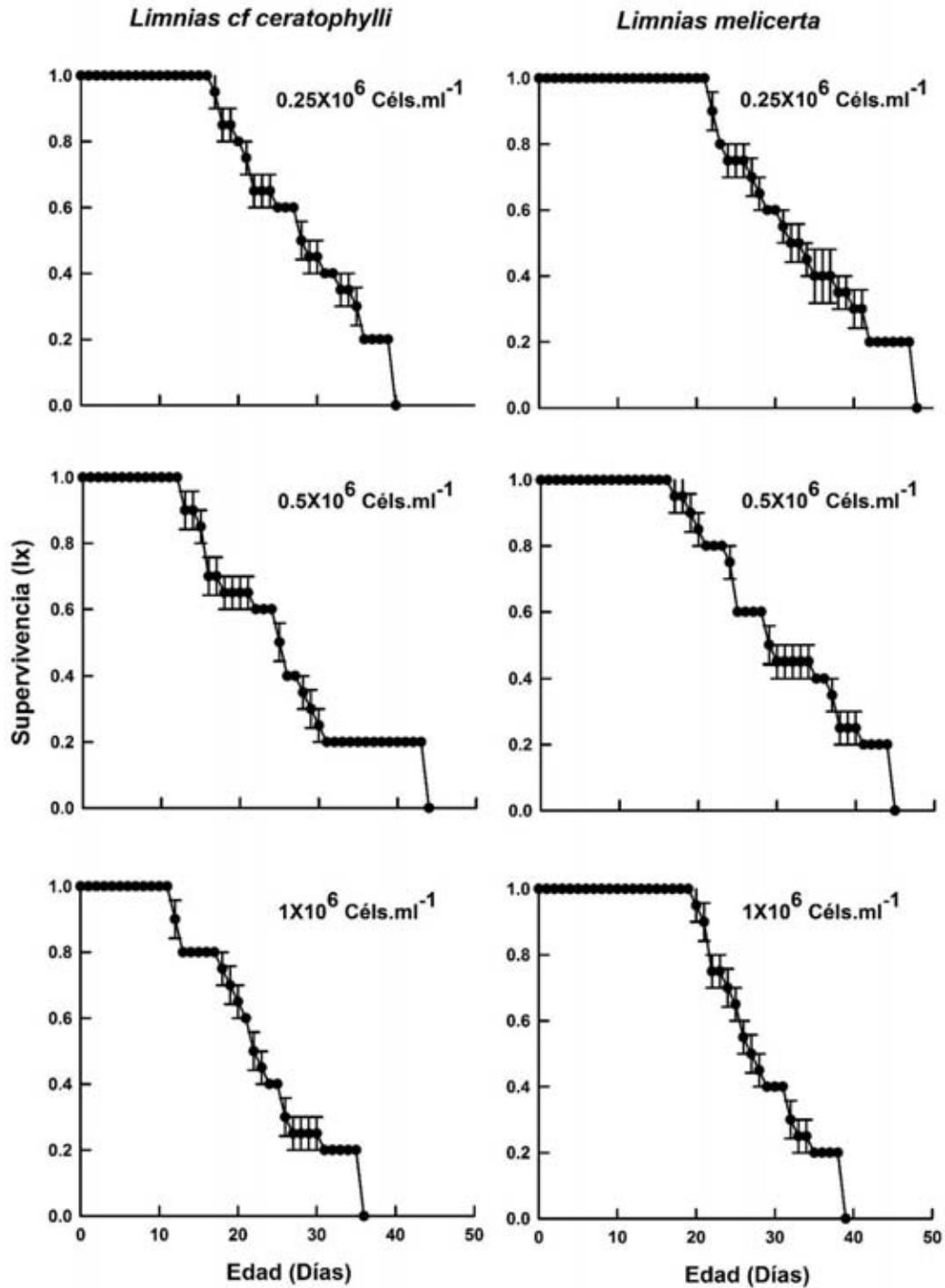


Figura 12. Curva de supervivencia de *L. cf. ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Se muestran los valores promedios y error estándar con base en 4 réplicas.

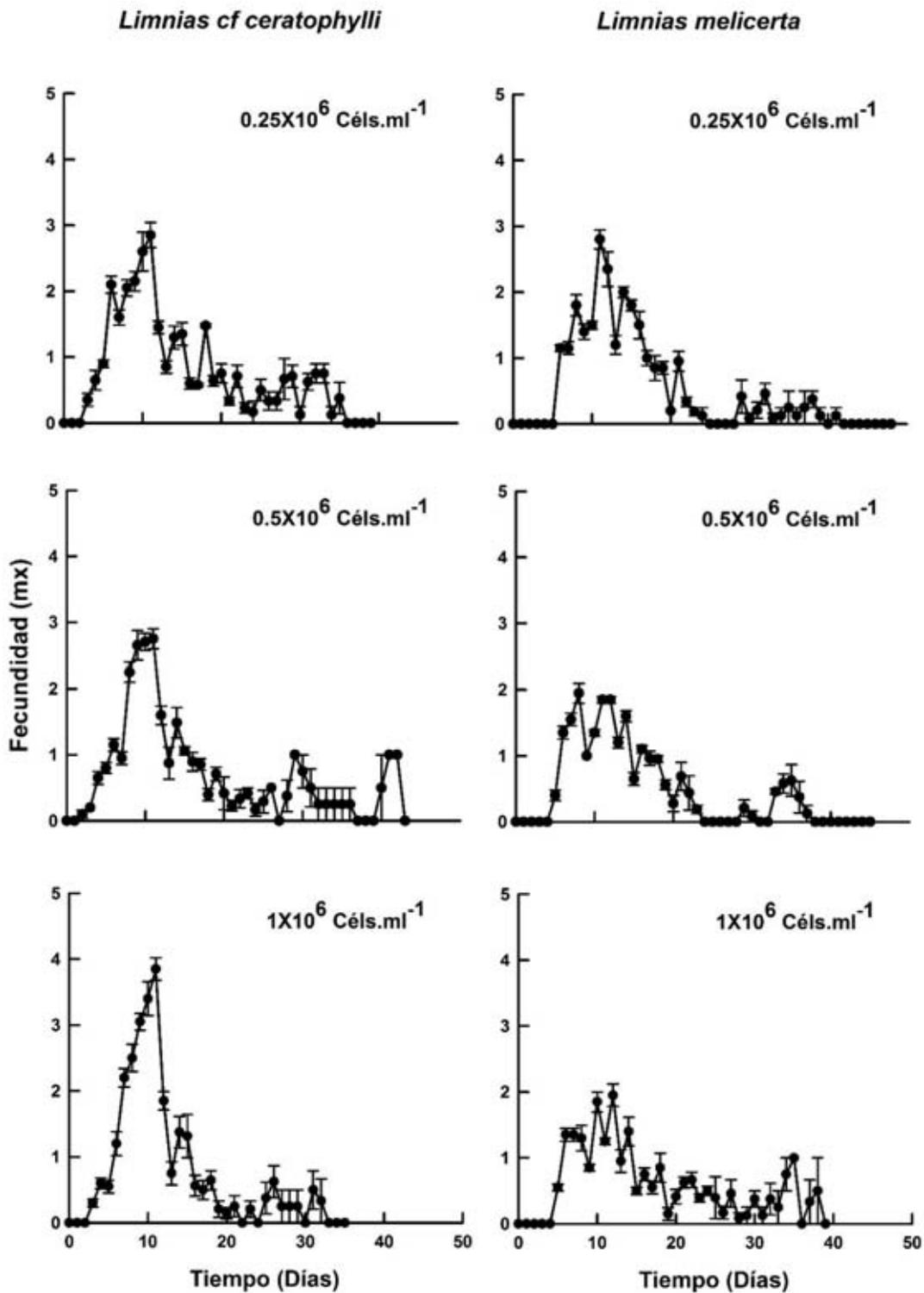


Figura 13. Gráficas de fecundidad de *L. cf. ceratophylli* y *Limnias melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Se muestran los valores promedios y error estándar con base en 4 réplicas.

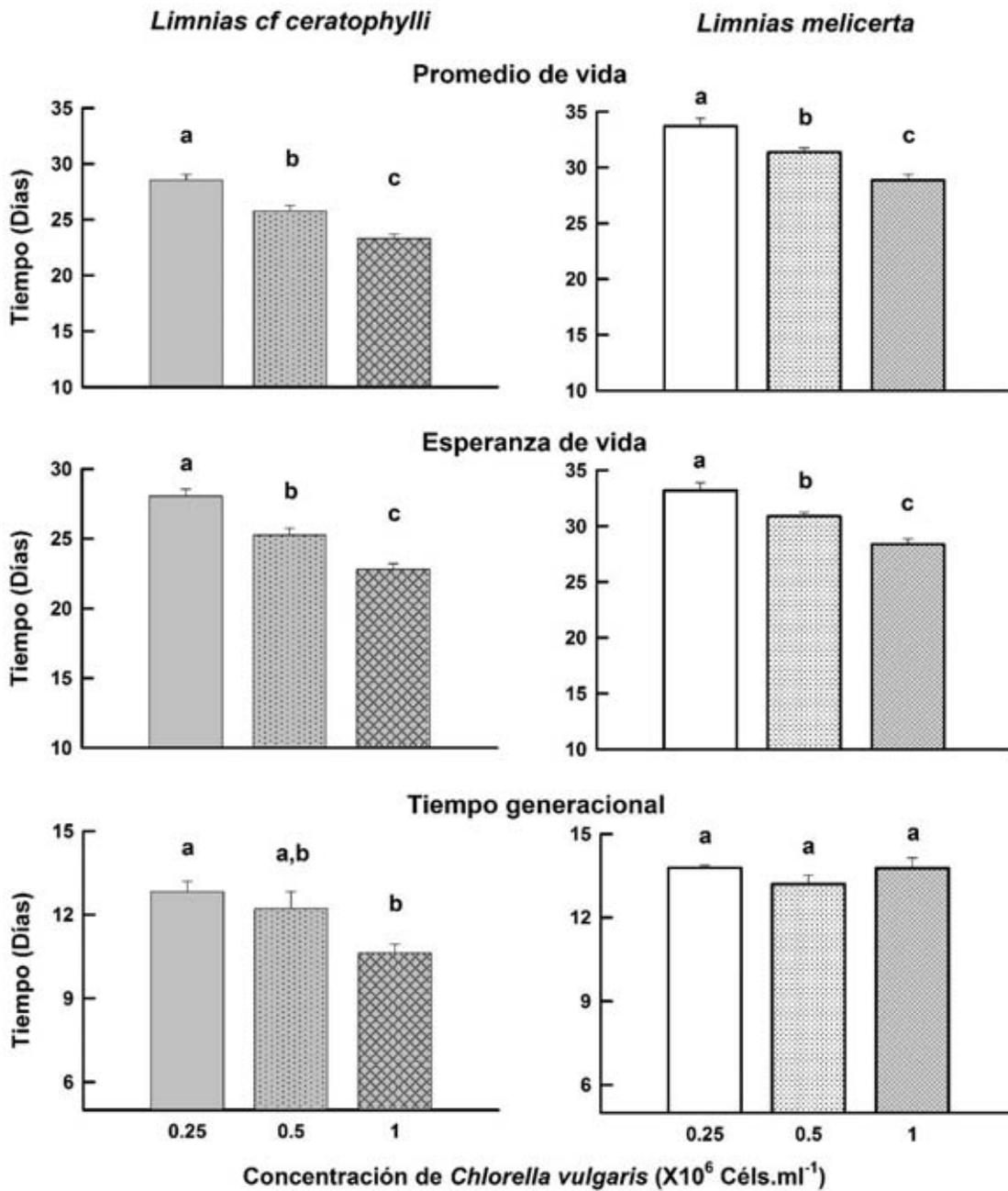


Figura 14. Variables de la tabla de vida de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Se muestran los valores promedio y error estándar con base en 4 réplicas. Las letras muestran diferencias significativas entre tratamientos (Prueba de Tukey).

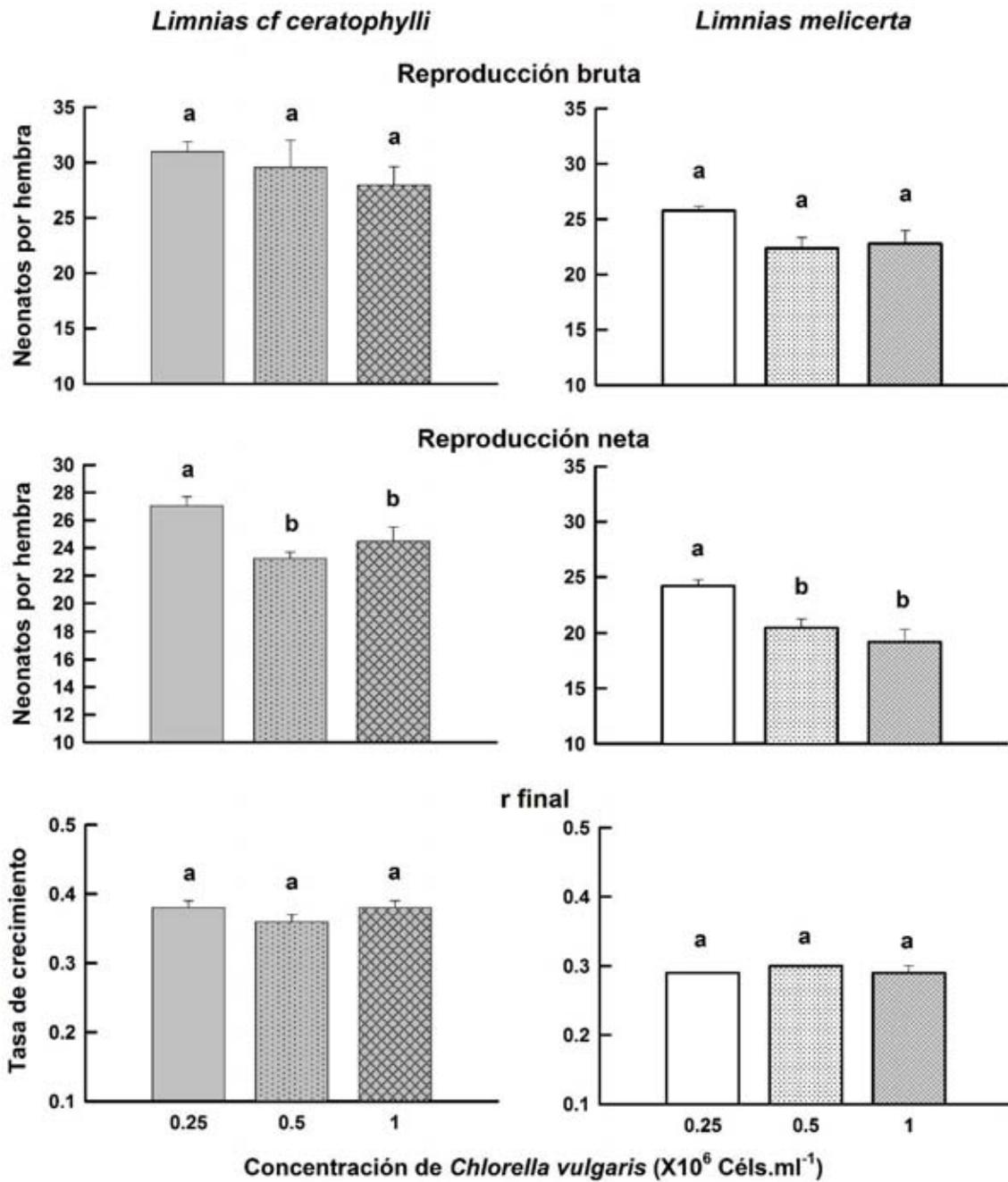


Figura 15. Variables de la tabla de vida de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. Se muestran los valores promedio y error estándar con base en 4 réplicas. Las letras expresan diferencias significativas entre tratamientos (Prueba de tukey).

Tabla 4. ANDEVA's de las características demográficas de la tabla de vida demográfica de *L. cf ceratophylli* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= promedio de cuadrados, F= Fisher. ***= $p < 0.001$, **= $p > 0.050$, *= $p < 0.050$

<i>Limnias cf ceratophylli</i>				
Promedio de vida				
Entre grupos	2	55.21	27.60	30.98***
Dentro de grupos	9	8.02	0.89	
Total	11	63.23		
Esperanza de vida				
Entre grupos	2	55.21	27.60	30.98***
Dentro de grupos	9	8.02	0.89	
Total	11	63.23		
Tasa reproductiva bruta				
Entre grupos	2	18.13	9.06	0.71**
Dentro de grupos	9	114.41	12.71	
Total	11	132.54		
Tasa reproductiva neta				
Entre grupos	2	30.01	15.00	6.85*
Dentro de grupos	9	19.70	2.19	
Total	11	49.71		
Tiempo generacional				
Entre grupos	2	10.28	5.14	6.29*
Dentro de grupos	9	7.34	0.82	
Total	11	17.62		
Tasa de crecimiento poblacional (r)				
Entre grupos	2	0.00	0.00	0.99**
Dentro de grupos	9	0.00	0.00	
Total	11	0.00		

Tabla 5. ANDEVA's de las características demográficas de la tabla de vida y crecimiento poblacional de *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= promedio de cuadrados, F= Fisher. ***= $p < 0.001$, **= $p > 0.050$, *= $p < 0.050$

<i>Limnias melicerta</i>				
Promedio de vida				
Entre grupos	2	47.09	23.54	20.39***
Dentro de grupos	9	10.39	1.15	
Total	11	57.48		
Esperanza de vida				
Entre grupos	2	47.09	23.54	20.39***
Dentro de grupos	9	10.39	1.15	
Total	11	57.48		
Tasa reproductiva bruta				
Entre grupos	2	27.47	13.74	4.02**
Dentro de grupos	9	30.77	3.42	
Total	11	58.23		
Tasa reproductiva neta				
Entre grupos	2	53.84	26.92	8.66*
Dentro de grupos	9	27.96	3.11	
Total	11	81.80		
Tiempo generacional				
Entre grupos	2	0.91	0.45	1.36**
Dentro de grupos	9	3.00	0.33	
Total	11	3.90		
Tasa de crecimiento poblacional (r)				
Entre grupos	2	0.00	0.00	0.96**
Dentro de grupos	9	0.00	0.00	
Total	11	0.00		

Tabla 6. ANDEVA's de las características demográficas de la tabla de vida *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* bajo diferentes concentraciones de *C. vulgaris*. GL= Grados de libertad, SC= Suma de cuadrados, CM= promedio de cuadrados, F= Fisher. ***= $p < 0.001$, **= $p > 0.050$ no significativo, *= $p < 0.050$

Promedio de vida		0.25x10⁶ céls·ml⁻¹		
Entre grupos	1	53.05	53.045	36.208***
Dentro de grupos	6	8.79	1.465	
Total	7	61.84		
Esperanza de vida				
Entre grupos	1	53.05	53.045	36.208***
Dentro de grupos	6	8.79	1.465	
Total	7	61.84		
Tasa reproductiva bruta				
Entre grupos	1	53.91	53.907	28.36*
Dentro de grupos	6	11.41	1.901	
Total	7	65.31		
Tasa reproductiva neta				
Entre grupos	1	16.25	16.245	10.746*
Dentro de grupos	6	9.07	1.512	
Total	7	25.32		
Tiempo generacional				
Entre grupos	1	1.89	1.89	6.15*
Dentro de grupos	6	1.844	0.307	
Total	7	3.734		
Tasa de crecimiento poblacional (r)				
Entre grupos	1	0.016	0.0164	34.768*
Dentro de grupos	6	0.003	0.0004	
Total	7	0.019		
Promedio de vida		0.5X10⁶ céls·ml⁻¹		
Entre grupos	1	63.85	63.845	86.472***
Dentro de grupos	6	4.43	0.738	
Total	7	68.28		
Esperanza de vida				
Entre grupos	1	63.85	63.845	86.472***
Dentro de grupos	6	4.43	0.738	
Total	7	68.28		

Tasa reproductiva bruta				
Entre grupos	1	103.3	103.32	7.38*
Dentro de grupos	6	84.01	14.001	
Total	7	187.3		
Tasa reproductiva neta				
Entre grupos	1	15.13	15.125	9.012*
Dentro de grupos	6	10.07	1.678	
Total	7	25.2		
Tiempo generacional				
Entre grupos	1	1.924	1.924	2.024*
Dentro de grupos	6	5.705	0.951	
Total	7	7.629		
Tasa de crecimiento poblacional (r)				
Entre grupos	1	0.007	0.0074	66.522***
Dentro de grupos	6	7E-04	0.0001	
Total	7	0.008		
Promedio de vida				
		1x10⁶ céls·ml⁻¹		
Entre grupos	1	61.61	61.605	71.22***
Dentro de grupos	6	5.19	0.865	
Total	7	66.8		
Esperanza de vida				
Entre grupos	1	61.61	61.605	71.22***
Dentro de grupos	6	5.19	0.865	
Total	7	66.8		
Tasa reproductiva bruta				
Entre grupos	1	53.13	53.131	6.406*
Dentro de grupos	6	49.77	8.294	
Total	7	102.9		
Tasa reproductiva neta				
Entre grupos	1	56.18	56.18	11.819*
Dentro de grupos	6	28.52	4.753	
Total	7	84.7		
Tiempo generacional				
Entre grupos	1	19.72	19.721	42.409***
Dentro de grupos	6	2.79	0.465	
Total	7	22.51		
Tasa de crecimiento poblacional (r)				
Entre grupos	1	0.014	0.0142	53.961***
Dentro de grupos	6	0.002	0.0003	
Total	7	0.016		

Discusión

En el presente trabajo se buscó cultivar especies de rotíferos sésiles, además de adaptar estos al medio de cultivo EPA para su uso posterior en experimentos, que de acuerdo a los resultados obtenidos (figura 2), el establecimiento fue favorable en el tratamiento de agua del sitio más medio fisiológico EPA, este último se utiliza ampliamente para el mantenimiento de cultivos y el uso en bioensayos con zooplancton (cladóceros, copépodos y rotíferos) (Sarma, 2001; Sarma *et al.*, 2006; Serranía-Soto y Sarma, 2009), lo que ha permitido tener un medio de cultivo estándar y así poder experimentar con diversas variables para conocer más sobre las respuestas demográficas ante diversas condiciones.

El agua del sitio se filtró con una malla de 50 μm de apertura de poro, por lo que a través de este, logran atravesar: bacterias, hongos, microalgas, materia orgánica e inorgánica, entre otros elementos, los cuales estarán disponibles como recurso alimentario; en el caso de *Limnias cf. ceratophylli* y de acuerdo a King (1967) el alimento es un factor importante en la dinámica poblacional de los rotíferos que, dependiendo de sus características, presentará un efecto positivo o negativo, ya que por una parte les proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento y reproducción y por otra parte, el medio en el que se encuentre tendrá compuestos químicos, organismos con adaptaciones de defensa y algunas especies nocivas (Wallace *et al.*, 2006), lo cual se verá reflejado en el crecimiento de los organismos, lo cual podría explicar el caso del tratamiento con únicamente agua del sitio.

Al diluir el agua del sitio más EPA, probablemente los patógenos se redujeron, permitiendo así su crecimiento en comparación con el tratamiento donde sólo presentaba agua del sitio, sin embargo el tratamiento con sólo medio EPA, fue el que presentó menor crecimiento, esto debido a que no contenía los elementos del agua del sitio tanto aspectos fisicoquímicos como partículas disponibles para su alimentación, además, se ha observado que puede haber efectos en el crecimiento y reproducción cuando los organismos se cambian de medio por lo cual pasan por un proceso de adaptación (King, 1972)

Los rotíferos de la familia Flosculariidae presentan un trofi de tipo maleorramado, con este trituran partículas de alimento, con un tamaño que puede variar de 10 a 20 μm y, aunque se ha visto en el estómago de estos organismos partículas de detrito (Monakov, 2003),

también se ha observado dentro de esta familia que los organismos pueden ser triptobacteriófagos y fitófagos (Pourriot y Clement, 1977). Los organismos sésiles epifíticos como *Ptygura* se conoce que pueden tener preferencias en el alimento, siendo alga el principal, seguido de bacterias y levaduras (Wallace y Starweather, 1983). Se desconoce el hábito alimenticio de *Limnias*, siendo la levadura el único alimento registrado *in situ* que el organismo puede consumir (Wallace y Starweather, 1983).

Limnias se encuentra asociado a una gran cantidad de substratos, que suelen ser plantas acuáticas litorales (Meksuwan *et al.*, 2014) y la disponibilidad en la columna de agua es principalmente algas, así que se asume, dentro de su alimentación se encuentran las microalgas (Nandini *et al.*, 2005).

El crecimiento poblacional de *L. cf. ceratophylli* expresó que el tiempo en que se estabiliza la población es aproximadamente en 30 días en concentraciones de 0.5 y 1.0 x 10⁶ céls·ml⁻¹ de *C. vulgaris*, lo cual muestra una gran diferencia en comparación con rotíferos planctónicos o perifíticos (*Euchlanis dilatata*, *Lecane inermis*, *L. romboides*), en el que la estabilidad se alcanza a la tercer semana y después la población decrece (Sarma *et al.*, 2006; Espinosa-Rodriguez *et al.*, 2012).

La densidad máxima suele depender del tamaño del organismo, encontrando una máxima abundancia en organismos de menor talla en comparación de organismos mayores (Duarte *et al.*, 1987). En organismos litorales del género *Lecane* se presentan densidades en experimentos de laboratorio entre 15 y 320 ind·ml⁻¹ alimentados con la microalga *Scenedesmus* (1x10⁻⁶ céls·ml⁻¹), en los cuales presentan una relación entre el tamaño del cuerpo y la densidad máxima (Serrania-Soto *et al.*, 2011). En el presente trabajo la máxima abundancia y el tamaño parecen tener una relación, ya que los rotíferos sésiles suelen presentar tallas grandes (Segers y Shiel, 2008) y la máxima abundancia no superó los 40 ind·ml⁻¹ (figura 10).

La tasa de crecimiento poblacional (*r*) de la mayoría de las especies de rotíferos varía entre 0.2 y 1 (Miracle y Serra, 1989) para las especies de vida libre. En el presente trabajo los valores de *r* están por debajo de este rango, siendo una especie de vida sésil. Se ha evaluado en rotíferos litorales el efecto que tiene *C. vulgaris* en *Lecane* y *Platyias*, estos han presentado tasas de crecimiento entre 0.035 y 0.21 por día, *Limnias* presentó valores dentro de este rango, aunque *L. inermis* y *Lepadella romboides* tienen tasas de crecimiento entre 0.18 y 0.31 cuando se alimentan en concentraciones similares, lo cual

es superior a las tasas de crecimiento observadas para *Limnias*, no obstante, la tasa de crecimiento en especies litorales como de la familia Lecanidae se menciona de manera general, pueden presentar una tasa de crecimiento menor a 0.5 por día (Sarma *et al.*, 2010; Serrania-Soto *et al.*, 2011), siendo mayor en especies planctónicas como de la familia Brachionidae (mayor a 0.5 por día) (Sarma *et al.*, 2001).

La tabla de vida es una herramienta importante de la demografía, importante para conocer aspectos básicos de los organismos como la supervivencia y mortalidad o la fecundidad, así como algunos aspectos derivados de estos (Edmondson, 1946). En el presente trabajo, los organismos presentaron una baja mortalidad en las primeras semanas de crecimiento y aumentó a partir de la tercera semana. Algunos animales tienden a tener una baja mortalidad cuando son jóvenes y la mortalidad aumenta cuando son adultos, es decir presentan una curva de supervivencia de tipo convexa (Hutchinson, 1978).

En rotíferos sésiles aspectos como la supervivencia se conoce sólo para *Floscularia conifera* (Edmondson 1945), el cual en una curva de supervivencia se muestra de tipo diagonal. En el caso de *L. cf ceratophylli* y *L. melicerta* la supervivencia (figura 11) sigue una curva de tipo convexa. Edmondson (1945) registró los cambios demográficos de *F. conifera* en el campo, en el caso de la supervivencia, el 50% de la población alcanzó la edad de 4.6 días, mientras que en el presente trabajo, el mismo porcentaje de la población de ambas especies de *Limnias*, superó los 20 días de supervivencia. La longevidad prolongada se puede deber a que en el campo existen una gran cantidad de variables que tienen un efecto sobre el crecimiento, reproducción, supervivencia y mortalidad de los organismos, las cuales estuvieron presentes en el trabajo de Edmondson en comparación con el presente trabajo en condiciones de laboratorio (King, 1967, Wallace *et al.*, 2006).

En cuando a la supervivencia máxima alcanzada, el alimento tuvo una influencia en ambas especies; en el caso de *L. cf ceratophylli* fue de un poco más de 40 días a una densidad de 0.5×10^6 céls·ml⁻¹ y *L. melicerta* más de 45 días a una concentración de 0.25×10^6 céls·ml⁻¹. Algunos rotíferos de vida libre suelen tener una supervivencia de un par de semanas con algunas excepciones como los rotíferos de la clase Bdelloidea, que se conoce, llegan a tener una vida mayor a 1 mes (Snell y King, 1977; Ricci *et al.*, 2007).

Y para *L. melicerta* probablemente tuvo un impacto sobre el aparato filtrador ya que conforme aumentó la densidad de alimento, se redujo la supervivencia, lo cual se conoce

para especies de rotíferos litorales cuando se alimentan a altas concentraciones de alimento (Sarma y Nandini, 2001).

CONCLUSIONES

- Cuando el cultivo de *Limnias* se realiza con agua del lugar y agua del lugar más medio fisiológico EPA, el crecimiento poblacional de los rotíferos sésiles es mayor en comparación con el crecimiento en medio EPA únicamente.
- La densidad máxima en el crecimiento poblacional fue mayor en *L. cf ceratophylli* que en *L. melicerta* y la densidad intraespecífica fue mayor en altas concentraciones de alimento.
- En el crecimiento poblacional de ambas especies de *Limnias*, la tasa de incremento poblacional varió de acuerdo a la concentración de alimento, siendo mayor a una alta concentración (1×10^6 céls·ml⁻¹) en comparación con menores concentraciones (0.25×10^6 céls·ml⁻¹)
- En la tabla de vida, la supervivencia se ve afectada según la densidad de alimento que se suministra, en ambas especies se observó una curva de tipo convexa. En *L. cf ceratophylli* se presentó una longevidad mayor a una densidad media de *C. vulgaris* (0.5×10^6 céls·ml⁻¹); en *L. melicerta* la longevidad tuvo una relación con la densidad, siendo mayor a una densidad baja, y disminuyendo conforme aumentó el alimento.
- La fecundidad presenta un comportamiento similar en las 2 especies, teniendo su mayor reproducción al día 10, posteriormente disminuye.
- Cuando se evalúa la tabla de vida de las 2 especies de rotíferos sésiles, los diferentes parámetros (promedio de vida, esperanza de vida, tiempo generacional, reproducción bruta) tienden a ser menores conforme aumenta la densidad de alimento y a no presentar un efecto significativo en la reproducción bruta y la tasa intrínseca de crecimiento.
- El uso de *C. vulgaris* es adecuado para el crecimiento de rotíferos sésiles.

Literatura citada.

Alkhalaf I. A., Hübener T. y Porembski S. 2009. Prey spectra of aquatic *Utricularia* species (Lentibulariaceae) in northeastern Germany: The role of planktonic algae. *Flora*. 204: 700-708.

Anonimous, 1985. Methods of measuring the acute toxicity of effluents to freshwater and marine organisms. US Environment Protection Agency EPA1600/4-85/013

Bell G. 1984. Measuring the cost of reproduction. I. The Correlation Structure of the Life Table of a plank rotifer. *Evolution*. 38(2): 300-313.

Brendonck L. y De Meester L. 2003. Egg banks in freshwater zooplankton: evolutionary and ecological archives in the sediment. *Hydrobiologia*. 491: 65-84.

Borowitzka M. A. y Borowitzka L. J. 1988. *Micro-algal biotechnology*. Cambridge University Press, London.

Bozovic V. y Enesco H. E. 1986. Effect of antioxidants on rotifer lifespan and activity. *Age*. 9: 41-45

Calow P. 1998. *Handbook of ecotoxicology*. Blackwell Science. Publication London.

Duarte C. M., Agustin S. y Peters H. 1987. An upper limit to the abundance of aquatic organisms. *Oecologia*. 74: 272-276

Edmondson W. T. 1945. Ecological studies of sessile rotatoria. Part II: dynamics of populations and social structures. *Ecological Monographs*. 15(2): 141-172.

Edmondson W. T. 1946. Factors in the Dynamics of Rotifer Populations. *Ecological Monographs* 16: 357–372.

Enríguez-García, Nandini S. y Sarma S. S. S. 2003. Food type effects on the population growth patterns of littoral rotifers and cladocerans. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 31(2): 120-133.

Espinosa-Rodríguez C. A., Sarma S. S. S. y Nandini S. 2012. Interactions between the rotifer *Euchlanis dilatata* and the cladocerans *Alona glabra* and *Macrothrix triserialis* in relation to diet type. *Limnologia*. 42: 50-55.

Flores-Burgos J., Sarma S. S. S. y Nandini S. 2003. Population growth of zooplankton (Rotifers and Cladocerans) fed *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus acutus* in different proportions. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 31(3): 240-248.

Fontaneto D., De Smet W. H. y Melone G. 2008. Identification key to the genera of marine rotifers worldwide. *Meiofauna Marina*. 16: 75-99.

García-Morales A. E. y Gutiérrez M. E. 2004. Rotifera from southeastern Mexico, new records and comments on zoogeography. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zología*. 75(1): 99-120

Garduño-Solórzano G., Martínez Ma. G. O. y Ortega Martha. 2009. Algas. En “*La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado*”. Biblioteca Mexiquense del Bicentenario. México.

Gladyshev E. A. y Arkhipova I. R. 2010. A subtelomeric non-LTR retrotransposon *Hebe* in the bdelloid rotifer *Adineta vaga* is subject to inactivation by deletion but not 5' truncations. *Mobile DNA*. 1:12

Gulati R. D., Rooth J. y Esjmont-Karabin J. 1987. A laboratory study of feeding and assimilation in *Euchlanis dilatata lucksiana*. *Hydrobiologia*. 147: 289-296.

Hairston N. G., Hansen Anne-Mette y Schaffner W. R. 2000. The effect of diapause emergence on the seasonal dynamics of a zooplankton assemblage. *Freshwater Biology*. 45: 133-145

Halbach U. 1973. Life table data and population dynamics of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas as influenced by periodically oscillating temperature. En: Wieser W. 1973. *Effects of temperatura on ectothermic organisms*. Springer, Berlin.

Hernández B. D. U. y Tapia P. M. I. 1987. Ecología del fitoplancton primaveral de superficie en el lago de Tequesquitengo, Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*. 35(1): 31-39

Hochberg R. y Lilley G. 2010. Neuromuscular organization of the freshwater colonial rotifer, *Sinantherina sociales*, and its implication for understanding the evolution of coloniality in Rotifera. *Zoomorphology*. 129: 153-162.

Hutchinson G. E. 1978. *An introduction to population ecology*. Yale University Press, New Haven.

Jiménez-Contreras J., Sarma S. S. S, Piedra-Ibarra E., Calderón-Torres M. y Nandini S. 2013. Morphological, morphometrical and molecular (CO1 and ITS) analysis of the rotifer *Asplanchna brightwellii* from selected freshwater bodies in Central Mexico. *Journal of Environmental Biology*. 34: 1039-1046.

Kammenga J. y Laskowski R. 2000. *Demography in ecotoxicology*. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.

King C. E. 1967. Food, age and the dynamics of a laboratory population of rotifers. *Ecology*. 48:111–128.

King C. E. 1972. Adaptation of Rotifers to Seasonal Variation. *Ecology*. 3: 408-418.

King C. E. y Miracle M. R. 1980. A perspective of aging in rotifers. *Hydrobiologia*. 73: 13-19.

Krebs C. J. 1985. *Ecology. The experimental analysis of distribution and abundance*. 3^{er} edn. Harper and Row, N. Y.

Kutikova L. A. 1995. Larval metamorphosis in sessile rotifers. *Hydrobiologia*. 313/314: 133-138.

López-Adrián S. J. y Barrientes-Medina R. C. 2005. Diversidad y distribución del fitoplancton de agua dulce en la península de Yucatán, México. *Ibugana*. 13(2): 3-12.

Lot A. 2007. Guía ilustrada de la Cantera Oriente. Caracterización ambiental e inventario biológico. Secretaria Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Coordinación de la Investigación Científica UNAM. México.

Monakov A. V. 2003. *Feeding of freshwater zooplankton invertebrates*. Kenovi Productions. Ghent, Belgium. 373 pp.

Mora-Navarro Ma. Del R., Vázquez-García J. y Vargas-Rodríguez Y. L. 2004. Ordenación de comunidades de fitoplancton en el lago de Chapala, Jalisco-Michoacán, México. *Hidrobiológica*. 14(2): 91:103.

Moreno-Ruiz J. L., Tapia-García M., González-Macías Ma. Del C. y Figueroa-Torres Ma. G. 2008. Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México y algunas relaciones biogeográficas. *Revista de Biología Tropical*. 56(1): 27-54

Meksuwan P., Pholpunthin P., Walsh E. J., Segers H. y Wallace R. L. 2014. Nestedness in sessile and periphytic rotifer communities: A meta-analysis. *International Review of Hydrobiology*. 99: 48-57.

Meza O. R. 2000. Eficiencia de diferentes tipos de alimento vivo en el pez convicto *Cichlasoma nigrofasciatum* (Gunter). Tesis Licenciatura. UNAM. FES Iztacala.

Miracle M. R. y Serra M. 1989. Salinity and temperature influence in rotifer life history characteristics. *Hydrobiologia*. 52: 81-102.

Nakazawa T., Kuwamura M. 2011. Implications of resting eggs of zooplankton for the paradox of enrichment. *Population Ecology*. 53: 341-350.

Nandini S. y Rao T. R. 1998. Somatic and population growth in selected cladoceran and rotifer species offered the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* as food. *Aquatic Ecology*. 31: 283–298.

Nandini S. y Sarma S. S. S. 2000. Life table demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia*. 435: 117-126.

Nandini S., Ramírez-García P. y Sarma S. S. S. 2005. Seasonal variations in the species diversity of rotifers from Lake Xochimilco (México). *Journal of Freshwater Ecology*. 20(2): 287-294.

Oliva-Martínez Ma. G., Godínez-Ortega J. L. y Zuñiga-Ramos. 2014. Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:54-61.

Pejler B. y Berzins B. 1993. On relation to substrate in sessile rotifers. *Hydrobiologia*. 259: 121-124.

Peña-Aguado F., Nandini S y Sarma S. S. S. 2005. Differences in population growth of rotifers and cladocerans raised on algal diets supplemented with yeast. *Limnologica*. 35(4): 298-303.

Pérez-Legaspi I. A. y Rico-Martínez R. 1998. Effect of temperatura and food concentration in two species of litoral rotifers. *Hydrobiologia*. 387/388: 341-348.

Peroutka M., Adlassinig W., Volgger M., Lendl T., Url W. G. y Lichtscheidl I. K. 2008. *Utricularia*: a vegetarian carnivorous plant? Algae as prey of bladderwort in oligotrophic bogs. *Plant Ecology*. 199: 153-162.

Pianka E. R. 1978. *Evolutionary Ecology*. 2nd ed. Harper and Row, N. Y.

Pourriot R. y Clément P. 1977. Comparison of the control of mixis in three clones of *Notommata copeus*. *Archiv für Hydrobiologie–BeiheftErgebnisse der Limnologie*. 8: 174-177.

Pourriot R. y Snell T. W. 1983. Resting eggs in rotifers. *Hydrobiologia*. 104: 213-224.

Ricci C., Caprioli M. y Fontaneto D. 2007. Stress and fitness in parthenogens: is dormancy a key features for bdelloid rotifers?. *BMC Evolutionary Biology*. 7(2): S9

Rico-Martínez R. y Walsh E. J. 2013. Sexual reproductive biology of a colonial rotifer *Sinantherina sociales* (Rotifera: Monogononta): do mating strategies vary between colonial and solitary rotifer species?. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*. 46(6): 419-430.

Salt G. W. 1987. The components of feeding behaviour in rotifers. *Hydrobiologia*. 147: 271- 281.

Sarma S. S. S. 1996. Some relationships between size structure and fertility of rotifer population. En: B. L. Kaul (ed). *Advances in fish and wildlife ecology and biology*. Daya Publishing House, Tri Nagar, Delhi, India: 37-50.

Sarma S. S. S., Larios-Jurado P. S. y Nandini S. 2001. Effect of three food types on the population growth of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera: Brachionidae). *Revista de Biología Tropical*. 49: 75-82.

Sarma S. S. S. y Nandini S. 2001. Life table demography and population growth of *Brachionus variabilis* Hampel, 1896 in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia*. 446/447: 75-83.

Sarma S. S. S. y Nandini S. 2002. Comparative life table demography and population growth of *Brachionus macracanthus* Daday, 1905 and *Platyias quadricornis*, Ehrenberg 1832 (Rotifera: Brachionidae) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 30(2-3): 128-140.

Sarma S. S. S., María-Isabel R. A. y Nandini S. 2006. Population dynamics of littoral rotifers (*Lecane inermis* and *Lepadella romboides*) (Rotifera) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 32: 271-276.

Sarma S. S. S., Corral-Jacquez F. I., Nandini S. y Brena-Bustamante P. 2010. Population level indicators of stress: Effects of two heavy metals (copper and mercury) on the growth of *Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1830) (Rotifera: Lecanidae). *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 45: 32-36.

Schröder T. 2005. Diapause in monogonont rotifers. *Hydrobiologia*. 546: 291-306

Segers H. 2008. Global diversity of rotifers (Rotifera) in freshwater. *Hydrobiologia*; 595: 49-59.

Segers H. y Shiel R. J. 2008. Diversity of cryptic metazoa in Australian freshwaters: a new genus and two new species of sessile rotifer (Rotifera, Monogononta, Gnesiotrocha, Flosculariidae). *Zootaxa*. 1750: 19-31

Serranía-Soto C. R. y Sarma S. S. S. 2009. Morphometric changes in *Lecane stokessi* (pell, 1890) (Rotifera: Lecanidae) induced by allelochemicals from the predator *Asplanchnopus multiceps* (Schrank, 1793). *Allelopathy journal*. 23(2): 215-222.

Serranía-Soto C. R. Sarma S. S. S. y Nandini S. 2011. Studies on comparative population growth of some species of the rotifer *Lecane* (Rotifera). *Journal of Environmental Biology*. 32: 523-527.

Snell T. W. 1987. Sex. Population dynamics and resting eggs production in rotifers. *Hydrobiologia*. 144: 105-111.

Snell T. W. y King C. E. 1977. Lifespan and fecundity patterns in Rotifers: the cost of reproduction. *Evolution*. 31(4): 882-890.

Snell T. W. y Janssen C. R. 1995. Rotifers in ecotoxicology. *Hydrobiologia*. 313/314: 231-247

Snell T. W. 2014. Rotifers as models for the biology of aging. *International Review of Hydrobiology*. 99: 85-95.

Starkweather P. L. 1980. Aspects of the feeding behavior and trophic ecology of suspension-feeding rotifers. *Hydrobiologia*. 73: 63-72.

Thor P., Cervetto G., Besiktepe S., Ribera-Maycas E., Tang K. W. y Dam H. G. 2002. Influence of two different green algal diets on specific dynamic action and incorporation of carbon into biochemical fractions in the copepod *Acartia tonsa*. *Journal of Plankton Research*. 24(4): 293-300.

Ulanowicz R. E. 1995. Utricularia's secret: The advantage of positive feedback in oligotrophic environments. *Ecological Modelling*. 79: 49-57.

Wallace R. L. 1975. Distribution of sessile rotifers in a bog pond with particular emphasis on substrate selection by *Ptygura Beauchampi* larvae. Tesis de Doctorado. Dartmouth College. Hanover, New Hampshire.

Wallace R. L. 1980. Ecology of sessile rotifers. *Hydrobiologia*. 73: 181-183.

Wallace R. L. y Starkweather P. L. 1983. Clearance rates of sessile rotifers: *In situ* determinations. *Hydrobiologia*. 104: 379-383.

Wallace R. L. y Starkweather P. L. 1985. Clearance rates of sessile rotifers: *In vitro* determinations. *Hydrobiologia*. 121: 139-144

Wallace R. L. y Edmondson W. T. 1986. Mechanism and adaptive significance of substrate selection by a sessile rotifer. *Ecology* 67: 314-323.

Wallace R. L., Snell T. W., Ricci C. y Nogrady T. 2006. *Rotifera Biology, ecology and systematics*. Segunda edición. Kenobi Productions Ghent.

Wallace R. L., Walsh E. J., Schröder T., Rico-Martínez R., y Rios-Arana J. V. 2008. Species composition and distribution of rotifers in Chihuahuan Desert waters of México: is everything everywhere?. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 30(1): 73-76

Wallace R. L. y Snell T. W. 2010. Rotifera. Chapter 8. En: Thorp J. H. y Covich A. *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. 2nd ed. Elsevier. Oxford. 173-235.

Wallace R. L. y Smith A. H. 2013. Rotifera. En: eLS, John Wiley & Sons Ltd: Chichester.

Weisse T., Laufenstein N. y Weithoff G. 2013. Multiple environmental stressors confine the ecological niche of the rotifer *Cephalodella acidophila*. *Freshwater Biology*. 58: 1008-1015.