



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Demografía de *Elaphoidella grandidieri* (Copépoda  
Harpacticoida) en una dieta compuesta de *Anabaena*  
sp. (Cianobacteria) y *Chlorella vulgaris*  
(Chlorophyceae).**

**TESIS**

que para obtener el título de

**LICENCIADA EN BIOLOGÍA**

Presenta:

**MEETZTLI ALEJANDRA VALENCIA VARGAS**

Directora de Tesis: Dra. Nandini Sarma



Los Reyes Iztacala, febrero 2012



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.

Dedico este trabajo a mi gran familia:

Mi padre José Antonio Valencia Aguirre, mi mami Lilia Alejandra Vargas Martínez mis hermanos: José Itzcoatl, Antonio Ocelotl y mis hermanitos Itzcuautli Ehecatzin y Quetzal Yohualli.

Con gran admiración y respeto a mi padre, con mucho amor a mi madre, y con cariño a mis hermanos.

Gracias...

Agradezco a...

Mi directora de tesis la Dra. Nandini Sarma, que siempre estuvo atenta a mi trabajo con gran paciencia y optimismo, además de brindarme día a día sus conocimientos.

Al Dr. Pedro Ramírez García por su grata atención y ayuda en la formación de este trabajo.

Al Dr. Singaraju Sri Subrahmanya Sarma que siempre estuvo presente durante mi estancia y formación como bióloga en el laboratorio de Zoología acuática.

La Dra. Ma. del Rosario Sánchez Rodríguez por compartir sus conocimientos conmigo y por su gran apoyo y amabilidad.

La Dra. Elvia Manuela Gallegos Neyra por su amplia disponibilidad hacia mi y sus siempre bienvenidas llamadas de atención.

A mi madrina Martha Valencia por su presencia y gran apoyo durante mi formación como estudiante y como amiga también.

Mis amigas Noemi Castillo y Perla Silva que siempre me han brindado su amistad y compañía.

## **CONTENIDO**

- I. RESUMEN
- II. INTRODUCCIÓN
- III. ANTECEDENTES
- IV. HIPÓTESIS
- V. OBJETIVOS
  1. General
  2. Particulares
- VI. MATERIALES Y MÉTODOS
- VII. RESULTADOS
  1. Crecimiento poblacional
  2. Tabla de vida
  3. Tasa de consumo
- VIII. DISCUSIÓN
  1. Crecimiento poblacional
  2. Tabla de vida
  3. Tasa de consumo
- IX. CONCLUSIONES
- X. REFERENCIAS

## II. INTRODUCCIÓN

Las aguas epicontinentales han sido, y continúan siendo un recurso muy importante para la obtención de agua para consumo humano (Bartram *et al.*, 1999). Sin embargo, de acuerdo con la CONAGUA (2010) aproximadamente el 40% del agua correspondiente a los cuerpos de agua superficiales en la región del Valle de México se encuentran contaminadas o fuertemente contaminadas.

Una de las principales fuentes de contaminación de aguas epicontinentales es el exceso de nutrientes, principalmente por niveles altos de fósforo y nitrógeno (Wetzel, 1991), provocando la eutrofización de estos cuerpos de agua, principalmente reconocida en ecosistemas tropicales y subtropicales (Scheffer *et al.*, 1993). En algunos casos la eutrofización se da de manera natural, pero en muchos de los sitios donde esto ocurre en la actualidad se da por fenómenos antropogénicos, ya sea por aportes de aguas residuales tratadas insuficientemente, residuos agrícolas, abonos u otros desechos de industrias de ganado (Briand *et al.*, 2003; Arzate, 2008).

Un fenómeno altamente asociado al enriquecimiento de nutrientes en los cuerpos de agua son los denominados “Blooms” o florecimientos de cianobacterias (Ferguson, 1997), constituidos por una o más especies de cianobacterias y cada vez más frecuentes en nuestros ecosistemas acuáticos.

Las cianobacterias pueden desarrollarse en grandes masas de comunidades fitoplanctónicas y dominar sobre otros organismos del mismo fitoplancton en la superficie de las aguas, esto es debido a una serie de características que les

confieren ciertas ventajas competitivas (Vela *et al.*, 2007) para asegurar su supervivencia y entre las que se encuentran:

- Requieren de la energía luminosa para realizar la fotosíntesis. Sin embargo pueden vivir en ambientes con luz verde, de esta forma las cianobacterias pueden crecer a la “sombra” de otro fitoplancton (Mur *et al.*, 1978) y realizar fotosíntesis oxigénica (Bryant, 1994), manteniendo una tasa de crecimiento relativamente mayor que el resto de organismos fitoplanctónicos presentes (Chorus *et al.*, 1999).
- Se creía que las cianobacterias dependían de altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, sin embargo, ahora se sabe que pueden crecer incluso cuando estos dos elementos están en cantidades limitadas (Mur *et al.*, 1999; Downing *et al.*, 2005). Esto se debe a que poseen gránulos de reserva de fosfatos en su citoplasma (Vela *et al.*, 2007) e incluso, algunas especies tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Lynch, 1980).
- Pueden regular su flotabilidad mediante vesículas de gas para colocarse en la columna de agua a aquellas profundidades donde la disponibilidad de nutrientes y luz es la adecuada (Walsby *et al.*, 1989).
- Han desarrollado estrategias como la formación de grandes filamentos para evitar su depredación (Lynch, 1980).
- Influye también la temperatura de las aguas y el pH en la formación de los florecimientos siendo más propicias en temperaturas de entre 15-30 °C y pH neutros o básicos (Carmichael, 1994). Por esta razón el verano es la época de más incidencia, por darse condiciones con mayor temperatura y calma de las aguas.

Por otro lado estos florecimientos masivos de cianobacterias en los cuerpos de agua producen numerosos efectos secundarios, tales como:

- La cantidad de oxígeno que se consume tanto por la respiración como por la degradación por parte de algunas bacterias de la materia orgánica que sedimenta cuando la floración desaparece es tan alta, que se lleva a condiciones de anoxia ocasionando la muerte de los organismos (peces por ejemplo) que viven cercanos al sedimento (Vela *et al.*, 2007).
- Produce olor y sabor desagradables debido a la síntesis de compuestos volátiles (Vela *et al.*, 2007).
- Afectan la calidad de agua, provocando efectos adversos sobre el suministro de agua para el ganado, el hombre y también para actividades recreativas (Sigeo *et al.*, 1999).
- Puede haber síntesis de cianotoxinas (Lynch, 1980).

Se estima que el 50% de estos florecimientos de cianobacterias en aguas a nivel mundial son tóxicas (Roset *et al.*, 2001). Sin embargo solo algunas cepas de cianobacterias pueden producir toxinas e incluso dentro de la misma especie pueden existir cepas productoras y no productoras de compuestos tóxicos denominados cianotoxinas que son clasificadas de acuerdo a sus efectos; las cepas productoras de toxinas pueden generar aguas con concentraciones de cianotoxinas muy por arriba del valor guía que es de 1µg/L (OMS) que suelen ser peligrosas si las consume el ser humano directamente o a través de especies de índole comercial (Chorus y Bartram, 1999).



Los primeros casos de intoxicación humana por consumo de agua contaminada con cepas tóxicas de cianobacterias fueron registrados en Australia, Inglaterra, China y África del Sur (OMS). El episodio más grave ocurrió en Brasil el año de 1996 donde murieron más de 50 pacientes sometidos a tratamientos de hemodiálisis, en los que se utilizó agua contaminada con toxinas cianobacterianas (Jochimsen *et al.*, 1998).

Dentro de las diferentes especies de cianobacterias, en particular el género *Anabaena* se encuentra presente en cuerpos de agua dulce, y algunas veces en cuerpos de agua salobre y marina (Carmichael, 1994); pueden ser unicelulares, coloniales o filamentosas, además pueden generar diversos tipos de toxinas conocidas, como son las hepatotoxinas (microcistinas y cilindrospermopsinas) y las neurotoxinas (anatoxina-a, anatoxina-a(s) y saxitoxinas) (Codd, 1995; Codd *et al.*, 2005). También se sabe que la concentración y composición de las cianotoxinas en *Anabaena* sp. están sujetas a variaciones de temperatura, por ejemplo a temperaturas inferiores a 25°C. produce microcistinas-LR y a temperaturas superiores produce microcistinas-RR (Msagati *et al.*, 2006).

Por otro lado existe una gran cantidad de estudios enfocados en la toxicidad potencial de las cianobacterias sobre rotíferos y cladóceros, dentro de los que destacan los siguientes ejemplos: la toxicidad de *Microcystis aeruginosa* en poblaciones de *Ceriodaphnia reticulata*, *Moina micrura*, *Diaphanosoma excisum* y *Daphnia pulex* (Jarvis 1987, Reinikainen *et al.*, 1994), el que la cianobacteria *Oscillatoria limnetica* sea comestible para *Daphnia galeata* (Gulati *et al.*, 2001), y también la toxicidad de *Anabaena affinis* sobre cladóceros y rotíferos (Gilbert,

1990), y *Anabaena* sp. sobre la demografía del rotífero *Brachionus havanaensis* (Vargas, 2007). Los copépodos, al igual que los rotíferos y los cladóceros son también uno de los principales componentes del zooplancton, sin embargo no son tan preferidos en bioensayos de sistemas dulceacuícolas y la toxicidad de cianobacterias, por lo que el conocimiento sobre zooplancton queda incompleto.

En particular, el copépodo *Elaphoidella grandidieri* es un harpacticoide con hábitos bentónicos (Thorp y Covich, 2001) por lo que se encuentra en constante contacto con las cianobacterias suspendidas en el sustrato. Además es reconocido como uno de los más importantes ramoneadores, sin embargo este copépodo ha sido poco estudiado en cuanto a su selectividad alimentaria y eficiencia en el ramoneo (De Troch, 2007) en especial con respecto a los efectos que pueden ocasionarles elementos del fitoplancton como las cianobacterias.

El copépodo harpacticoide *Elaphoidella grandidieri* tiene las ventajas de ser principalmente partenogénico, tener un corto ciclo de vida y altas tasas de crecimiento poblacional (Sarvala 1979), además de tener la capacidad de habitar ecosistemas marinos, dulceacuícolas e incluso sustratos terrestres húmedos (Thorp y Covich, 2001; Dahms y Qian, 2004). Por lo anterior se convierte en un excelente candidato para el presente estudio, que tiene la finalidad de generar nuevos conocimientos aplicables en la conservación y/o restauración de cuerpos de agua epicontinentales con problemas de contaminación por cianobacterias.

### III. ANTECEDENTES

#### Cianobacterias

Por su capacidad de producción de toxinas, los florecimientos cianobacterianos pasaron de ser un problema medioambiental, a serlo también sanitario, cuando en décadas pasadas se descubrió la capacidad de ciertas cianobacterias de producir metabolitos secundarios con propiedades tóxicas para muchos organismos, incluyendo al ser humano (Figueiredo *et al.*, 2004).

Vela y colaboradores en el 2007, hicieron un amplio estudio sobre las microcistinas, consideraron que la producción de estas toxinas tiene el objetivo de disuadir al zooplancton de la ingesta de células cianobacterianas, ya que la microcistina se encuentra principalmente en el interior de las células productoras, de manera que los organismos que ingieran estas células se verán expuestos a la toxina.

Escobar-Briones y colaboradores en el 2002, determinaron la estructura de un estanque en el Estado de México, realizaron un listado de los componentes fitoplanctónicos y zooplanctónicos. Se determinaron 14 taxas de fitoplancton de las cuales *Microcystis* sp. fue la más común con una densidad de 822 céls. ml<sup>-1</sup>, seguida por *Scenedesmus* sp. con una densidad de 680 céls. ml<sup>-1</sup>. En cuanto microfitobentos la cianobacteria *Anabaena* sp. dominó con una densidad de 757 ind. m<sup>-2</sup>. Por otro lado, en la composición taxonómica del zooplancton se determinaron cuatro géneros de Protozoa, cuatro de Rotífera, uno de Cladóceras y uno de Copépodos.

Becker y colaboradores en el 2004, realizaron un registro de los florecimientos de *Anabaena circinalis* y *Anabaena spiroides* en el lago Itapeva (Brasil), durante el periodo de diciembre 1998 - agosto 1999. Ambas especies de cianobacterias fueron encontradas independientemente de la estación del año. Los valores máximos registrados para ambas especies fue en otoño (mayo de 1999), precedidas por fuertes turbulencias en el sistema, las cuales dieron disponibilidad de nutrientes y/o dispersión de esporas de estas cianobacterias suspendidas en el sedimento y dentro de la columna de agua.

Gómez-Luna y colaboradores en el 2010, con el objetivo de producir un modelo de gestión de riesgo por contaminación con cianobacterias en embalses de aguas para consumo humano, realizaron un estudio en tres embalses que proveen agua a más del 80% de la población de Santiago de Cuba, durante los meses de noviembre del 2008 - marzo del 2009. Se identificaron 73 especies fitoplanctónicas y nueve especies de cianobacterias potencialmente tóxicas.

## **Zooplankton**

Alva-Martínez y colaboradores en el 2009, evaluaron el impacto de dietas mixtas (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, y 100 % en peso seco de *Microcystis aeruginosa* o *Chlorella vulgaris*) sobre crecimiento poblacional y competición entre *Brachionus calyciflorus* y *Brachionus havanaensis*. Observaron que una alta proporción de *M. aeruginosa* en la dieta provoca una disminución en el índice de crecimiento poblacional de ambos rotíferos. El impacto de *M. aeruginosa* tuvo mas efectos

adversos en *B. calyciflorus* que en *B. havanensis*, concluyeron que este comportamiento se debió a que la cepa de *B. havanaensis* fue extraída de un cuerpo de agua con florecimientos de *M. aeruginosa*, por lo que este rotífero pudo mostrar una adaptación a la cianobacteria. Ambas especies de rotíferos mostraron un mejor crecimiento poblacional con una dieta 75 % *C. vulgaris* y 25 % *M. aeruginosa* en comparación con una dieta 100 % *C. vulgaris* o 100 % *M. aeruginosa*.

Alva-Martínez y colaboradores en el 2007, evaluaron el efecto de dietas mixtas; 0, 25, 50, 75 y 100 % en peso seco de *Microcystis aeruginosa* y el resto de una de dos especies de algas verdes (*Chlorella vulgaris* o *Scenedesmus acutus*), sobre el crecimiento poblacional de los cladóceros *Ceriodaphnia dubia* y *Moina macrocopa*. Demostrando que la cepa de *M. aeruginosa* no fue altamente tóxica para causar la eliminación total de cualquiera de los cladóceros *C. dubia* o *M. macrocopa*, sin embargo una dieta 100 % *M. aeruginosa* provoca una disminución en el índice de crecimiento poblacional. La adición de un alga verde en la dieta aumenta las tasas de crecimiento poblacional de ambas especies de cladóceros.

Monakov en el 2003, determinó los índices de filtración de varias especies de diaptomidos a una temperatura de 15 - 20°C, con diferentes tipos de alimento, en diferentes concentraciones. La especie *Eudiaptomus gracilis* bajo una concentración natural de fitoplancton obtuvo un índice de filtración de 0.2 - 2.6 ml ind.<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>, *E. gracilis* bajo una concentración de 27x10<sup>3</sup> céls. ml<sup>-1</sup> obtuvo un índice de filtración de 2.4 ml ind.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de *Chlorella* y 1.32 ml ind.<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de *Scenedesmus* respectivamente, por otro lado la especie *Diaptomus oregonensis*

bajo una concentración de  $1.5 - 2.527 \times 10^3$  céls.  $\text{ml}^{-1}$  de *Chlorella* obtuvo un índice de filtración de  $1.33 \text{ ml ind.}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

De Troch y colaboradores en el 2007, realizaron un experimento para evaluar la eficiencia de ramoneo de *Paramphiascella fulvofasciata* (Copepoda, Harpacticoida) sobre la diatomea epipelica *Seminavis robusta*. De acuerdo a sus resultados concluyeron que la eficiencia de pastoreo del copépodo harpacticoida es dependiente de las concentraciones de las diatomeas, encontrando un menor consumo en densidades bajas de diatomeas.

Los florecimientos de cianobacterias filamentosas como *Anabaena affinis* previenen la supresión de rotíferos por depredación de cladóceros lo cual lleva a la dominancia de rotíferos en el cuerpo de agua. Gilbert (1990), bajo una serie de experimentos analizó este patrón. Demostró que los filamentos suspendidos de *A. affinis* en la columna de agua afectan el índice de crecimiento poblacional de siete cladóceros (*Daphnia ambigua*, *D. galeata mendotae*, *Daphnia magna*, *D. pulex* (dos cepas diferentes), *Bosmina longirostris* y *Ceriodaphnia dubia*) y cinco rotíferos (*Keratella cochlearis*, *K. crassa*, *K. testudo*, *Synchaeta pectinate* y *Asplanchna brightwelli*). En concentraciones intermedias *D. pulex* no fue afectada, mostrando una posible defensa antihervívora.

Por su tamaño y hábitos alimenticios, los organismos zooplanctónicos no son capaces de controlar las poblaciones de cianobacterias (Chorus y Bartram, 1999).

El harpacticoida reside en una amplia gama de hábitats, en todos los ecosistemas marino y en la mayoría de los hábitats dulceacuícolas, e incluso

sustratos terrestres-húmedos como el musgo y la hojarasca. Presentan estilos de vida libre, o parásitos, y desarrollo de larva planctónica o lecitotrófica (Dahms y Qian, 2004)

#### IV. HIPOTESIS

Si las cianobacterias provocan una disminución en la abundancia del zooplancton, entonces, *Elaphoidella grandidieri* como componente del zooplancton, al ser expuesta a dietas compuestas con diferentes concentraciones de *Anabaena* sp. (en las formas filamentosa y unicelular), se verá afectada en sus características intrínsecas, sin embargo al agregar un segundo componente a la dieta, como un alga verde (*Chlorella vulgaris*), se beneficiará y quizá ayude a disminuir el efecto adverso de las cianobacterias. Además *Anabaena* sp. en su forma filamentosa quizá sea rechazada debido a su tamaño, evitando así la toxicidad de la cianobacteria.

Asimismo las cianobacterias presentan bajas propiedades nutricionales por lo que se espera un bajo consumo de *Anabaena* sp. en comparación con un alto consumo de *C. vulgaris*. De igual forma, al comparar el consumo de *E. grandidieri* con el consumo de otros copépodos, se espera que el copépodo de mayor tamaño obtenga mayores tasas de consumo.



## V. OBJETIVOS

### General

- ❖ Evaluar la demografía de *Elaphoidella grandidieri* en presencia de las dietas compuestas con *Anabaena* sp. (en las formas filamentosa y unicelular) y *Chlorella vulgaris* en diferentes concentraciones.

### Particulares

- ❖ Comparar la calidad alimenticia entre la dietas *Anabaena* sp. única y dieta compuesta con *Anabaena* sp. y *Chlorella vulgaris* mediante sus efectos sobre las características demográficas de *Elaphoidella grandidieri*.
- ❖ Comparar la calidad alimenticia entre *Anabaena* sp. filamentosa y *Anabaena* sp. unicelular sobre la demografía poblacional de *Elaphoidella grandidieri*.
- ❖ Determinar si la adición de un alga verde en la dieta es favorable para la alimentación de *Elaphoidella grandidieri*.
- ❖ Estudiar el comportamiento alimentario de *Elaphoidella grandidieri*, por medio de la tasa de consumo sobre el alga verde *Chlorella vulgaris* comparada con la cianobacteria *Anabaena* sp. unicelular, en contraste con el copépodo *Eucyclops serrulatus*.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### **Cultivos de Zooplancton**

Los copépodos (*Elaphoidella grandidieri*) utilizados en el presente trabajo fueron aislados (Guerne y Richard, 1893) de la granja de peces de ornato llamada “Cuautlita” ubicada en Cuernavaca Morelos Edo. de México. Estos organismos se mantuvieron en medio EPA alimentados con una dieta a base de *Chlorella vulgaris* (cepa CL-V-3, CICESE, Ensenada, México).

Los copépodos de la especie *Eucyclops serrulatus* fueron aislados del lago Zumpango Estado de México. Posteriormente se mantuvieron en medio EPA alimentados con una dieta a base de *Brachionus havanaensis*. y *C. vulgaris* (cepa CL-V-3, CICESE, Ensenada, México).

El medio EPA fue preparado disolviendo 96 mg NaHCO<sub>3</sub>, 60 mg CaSO<sub>4</sub>, 60 mg MgSO<sub>4</sub> y 4 mg KCl en 1 L de agua destilada (Weber, 1993).

### **Cultivo de *Chlorella vulgaris***

Los cultivos de *C. vulgaris* se realizaron en botellas transparentes de 2 L. usando los micronutrientes definidos en el medio Bold Basal (Borowitzka y Borowitzka, 1998), manteniéndose a una temperatura de 18 °C, aireación e iluminación constante durante nueve días. Posteriormente se conservaron en refrigeración.

### **Cultivo de *Anabaena* sp.**

*Anabaena* sp. fue aislada del sistema dulceacuícola Valle de Bravo y cultivada en el laboratorio de Zoología Acuática (Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM) en botellas de plástico de 5 L. con 2ml/L del medio BG11 Sigma., y manteniéndose en aireación e iluminación constante durante 15 días. Posteriormente se conservó en refrigeración.

Para la obtención de las dos formas (filamentosa y unicelular) de *Anabaena* sp. necesarias en las diferentes dietas se hizo lo siguiente:

- Filamentos: se tomaron 100 ml. de la solución stock de *Anabaena* sp. y se sonicaron durante 90 segundos a 12 kHz con el sonicador (Ultrasonic Processor, Cole Palmer), después se filtraron con una malla de 50  $\mu\text{m}$ ., (obteniendo solo los filamentos con una longitud mayor a 50  $\mu\text{m}$ .), y después con una malla de 200  $\mu\text{m}$ , (obteniendo en general filamentos compuestos con 20 unicélulas).
- Unicélulas: se tomaron 100 ml. de la solución stock y se sonicaron durante 2 min. a 12 kHz. para la obtención de unicélulas.

El conteo de unicélulas de *Anabaena* sp. y *C. vulgaris* se realizó por medio de la cámara de Neubauer y los filamentos de *Anabaena* sp. por medio de la celda de Sedgewick Rafter (APHA, 1992).

## Dietas

Para la obtención de las dietas se prepararon las diferentes concentraciones de *C. vulgaris* y *Anabaena* sp. desglosadas en el cuadro 1 (Becker, 2004):

Dieta	Concentración de <i>Chlorella vulgaris</i>	Concentración de <i>Anabaena</i> sp. (unicélulas)	Concentración de <i>Anabaena</i> sp. (filamentos)
A	$1 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>		
B		$1 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>	
C			*200 filamentos ml <sup>-1</sup>
D	$0.5 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>	$0.5 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>	
E	$0.75 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>	$0.25 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>	
F	$0.75 \times 10^6$ céls. ml <sup>-1</sup>		*50 filamentos ml <sup>-1</sup>

**Cuadro 1. Concentraciones de *Chlorella vulgaris* y *Anabaena* sp. utilizadas para cada dieta. \*los filamentos estaban compuestos de aprox. 20 unicélulas.**

## Tabla de vida y crecimiento poblacional

Para los experimentos se prepararon frascos de vidrio con 50 ml de medio EPA, colocando 20 nauplios de *E. grandidieri* en cada uno, junto con el alimento correspondiente. Se montaron un total de seis tratamientos (dietas) con cuatro repeticiones cada una, para cada experimento. Se hizo un conteo y cambio de alimento diario.

En el caso de tabla de vida se extrajeron los descendientes y muertos de cada cohorte todos los días. El experimento finalizó cuando todos los copéodos de la cohorte original murieron.

Con los datos obtenidos se determinaron las variables demográficas con las fórmulas siguientes (Krebs, 1985):

### **Tabla de vida**

- Supervivencia:  $l_x = n_x / N^\circ \text{ inicial de ind.}$
- Fecundidad:  $m_x = N^\circ \text{ de neonatos producidos} / n_x$
- Tasa reproductiva neta:  $R_0 = \sum l_x \cdot m_x$
- Tasa reproductiva bruta:  $\sum m_x$
- Tiempo generacional:  $T = \sum l_x \cdot m_x \cdot x / R_0$

donde  $x =$  edad

- Tasa de incremento poblacional:  $\sum e^{-rx} \cdot l_x \cdot m_x = 1$

donde  $e = 2.718$

### **Crecimiento poblacional**

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

donde  $N_0 =$  densidad inicial

$N_t =$  densidad al tiempo  $t$

Los datos obtenidos se graficaron con el programa Sigma Plot versión 11, y también fueron evaluados estadísticamente por medio de ANOVA de una vía para determinar las diferencias significativas en los índices de crecimiento poblacional y se hicieron pruebas de Tukey para las diferencias significativas entre tratamientos con el programa de Sigma Plot versión 11.

### Tasa de consumo

Los experimentos de tasa de consumo se realizaron para los copépodos *E. grandidieri* y *E. serrulatus* en fase adulta (hembras con huevo).

Lo primero fue ponerlas en ayuno durante tres horas. Después, para cada especie de copépodo se pusieron 5 individuos en tubos de ensaye con capacidad de 15 ml. con 10 ml. de EPA con las diferentes dietas de alimento (Cuadro 2).

Copépodo	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Anabaena sp. unicélulas</i>
<i>Elaphoidella grandidieri</i>	0.25x10 <sup>6</sup> céls. ml <sup>-1</sup>	0.25x10 <sup>6</sup> céls. ml <sup>-1</sup>
<i>Eucyclops serrulatus</i>	0.25x10 <sup>6</sup> céls. ml <sup>-1</sup>	0.25x10 <sup>6</sup> céls. ml <sup>-1</sup>

**Cuadro 2. Concentraciones de *Chlorella vulgaris* y *Anabaena sp.* utilizadas para cada dieta.**

En cada uno de los experimentos se dejaron a los organismos por 45 min. alimentándose, e inmediatamente después se hizo el conteo de las unicélulas de *C. vulgaris* y *Anabaena sp.* que no fueron consumidas en la cámara de Neubauer y la celda de Sedgewick Rafter (APHA, 1998). Para cada tratamiento se hicieron cuatro repeticiones.

Con los datos obtenidos se calculó la tasa de consumo con la siguiente fórmula (Downing y Rigler, 1984):

- $F = V (C_o - C_t) / (Nt)$

Dónde:

F= tasa de consumo ind.<sup>-1</sup>hr<sup>-1</sup>

V= volumen de agua en ml. del contenedor de alimentación

C<sub>o</sub>= concentración inicial de células ml<sup>-1</sup> en el contenedor de alimentación

C<sub>t</sub>= conteo final de células ml<sup>-1</sup> en el contenedor de alimentación

N= número de individuos por contenedor

Los datos de tasa de consumo se graficaron con el programa Sigma Plot versión 11, además fueron evaluados por medio de ANDEVA de una vía para demostrar diferencias significativas.

### **Talla de copépodos**

Para medir la longitud de los copépodos *E. grandidieri* y *E. serrulatus* se hizo lo siguiente:

Para cada especie de copépodo se eligieron organismos adultos con huevo y se fijaron en formol al 4 %. En el caso de *E. serrulatus* se midieron ocho ejemplares, mientras que para *E. grandidieri* se midieron 15 individuos.

Cada uno de los organismos se colocó sobre un portaobjetos con una gota de agua, y se observó en un microscopio óptico Nikon E600 con cámara clara y a un aumento de 4x.

Por último se calculó la longitud promedio (largo y ancho) de ambas especies de copépodos.

Para una mejor comprensión de las gráficas, se presenta el cuadro 3.

Dieta	Concentración en %
<b>A</b>	100 % <i>Chlorella vulgaris</i>
<b>B</b>	100 % <i>Anabaena</i> sp. unicélulas
<b>C</b>	100 % <i>Anabaena</i> sp. filamentos
<b>D</b>	50 % <i>Chlorella vulgaris</i> + 50 % <i>Anabaena</i> sp. unicélulas
<b>E</b>	75 % <i>Chlorella vulgaris</i> + 25 % <i>Anabaena</i> sp. unicélulas
<b>F</b>	75 % <i>Chlorella vulgaris</i> + 25 % <i>Anabaena</i> sp. filamentos

**Cuadro 3.** Abreviaturas para cada dieta según su concentración en % de *Chlorella vulgaris* y *Anabaena* sp., en las graficas de tabla de vida y tasa Intrínseca de crecimiento ( $r's$ ).



## VII. RESULTADOS

### Crecimiento poblacional

La curva de crecimiento poblacional de *E. grandidieri* muestra un incremento en la densidad de hasta 500 individuos en 40 días en la dieta con 100 % *C. vulgaris*.

Cuando *Anabaena sp.*, independientemente de su concentración está presente en la dieta el crecimiento poblacional es nulo. En una dieta 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena sp.* filamentosos o unicélulas su supervivencia fue de ocho y cuatro días respectivamente. Conforme aumenta la concentración de *Anabaena sp.* los copépodos mueren más rápidamente (Fig. 1).

Nota. En todas las gráficas los datos descritos se tomaron con base en el 50 % de la población.

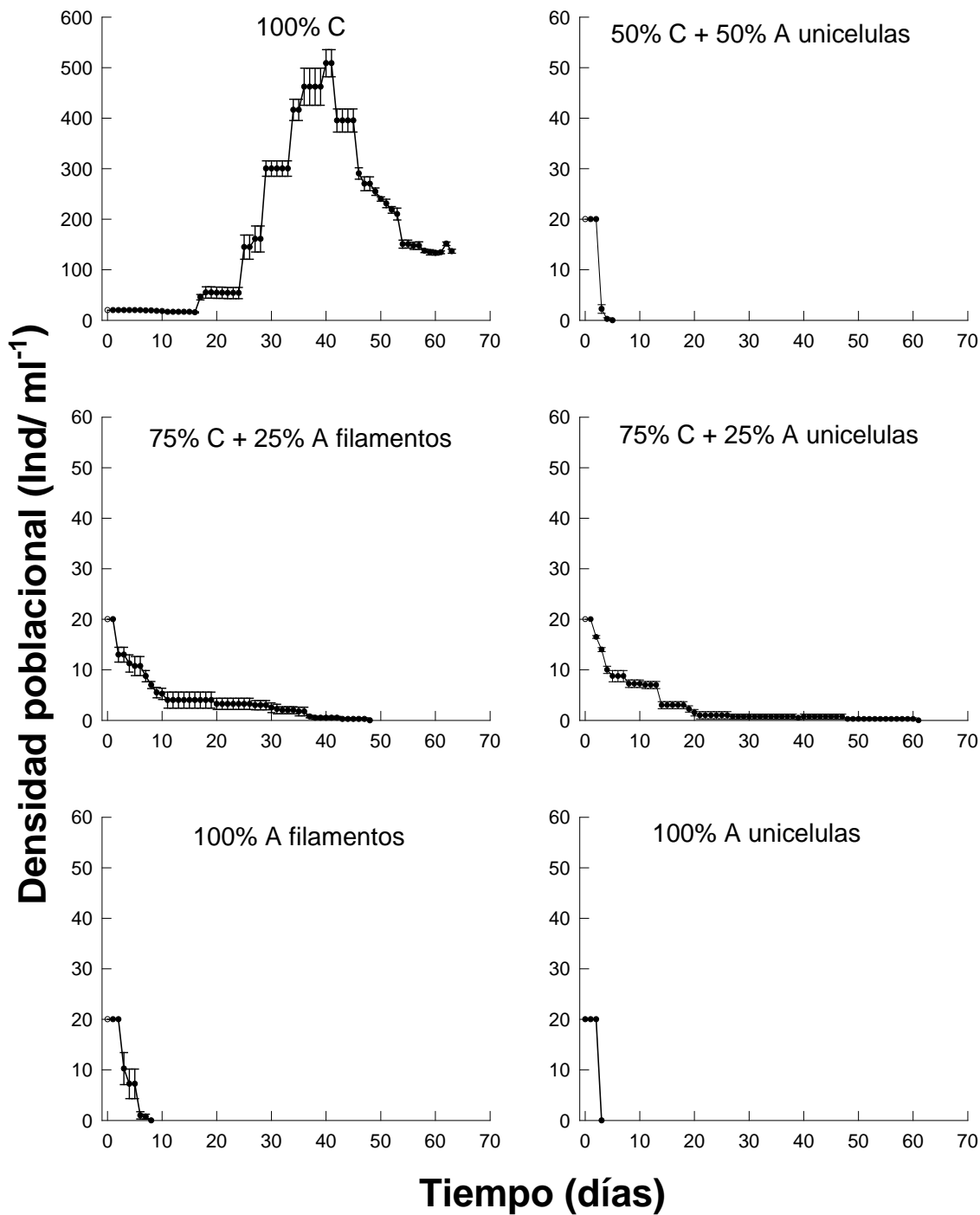


Fig. 1. Crecimiento poblacional de *Elaphoidella grandidieri* en las dietas compuestas de *C. vulgaris* (C) y *Anabaena* sp. (A) en diferentes concentraciones. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar.

## Tasa intrínseca de crecimiento

La tasa de crecimiento poblacional ( $r$ ) varió entre -0.5 y 0.1, el valor más alto se presentó para la dieta 100 % *C. vulgaris* y valores negativos cuando *Anabaena* sp. estaba presente en la dieta. El análisis 'post-hoc' de Tukey mostró que había diferencias significativas entre la dieta 100 % *C. vulgaris* (control) con la dieta 100% *Anabaena* sp. filamentos, y también con la dieta 50 % *C. vulgaris* + 50 % *Anabaena* sp. unicélulas ( $p < 0.05$ ; F-test, Tukey) (Fig. 2).

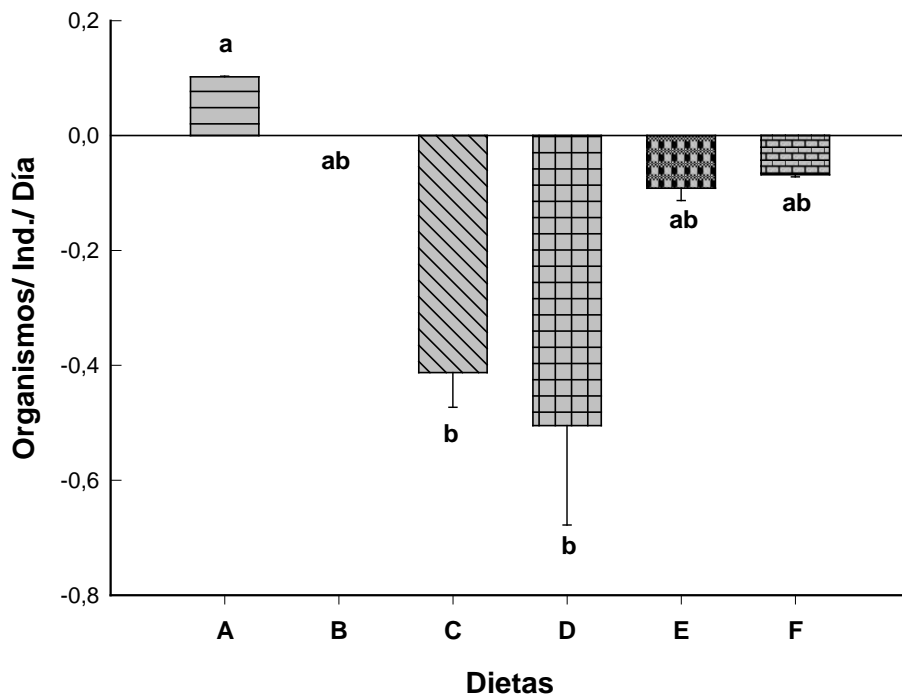


Fig. 2. Tasa intrínseca de crecimiento ( $r$ 's) de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.

## Supervivencia (Ix)

La supervivencia de *E. grandidieri* mostró el índice más alto al ser alimentada con una dieta 100 % *C. vulgaris* durante 144 días, en comparación cuando fue alimentada con dietas mixtas de 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena* sp. filamentosos o unicélulas la sobrevivencia fue de cinco días, los índices más bajos se presentaron al ser alimentadas con una dieta 100 % *Anabaena* sp. filamentosos o unicélulas con solo cinco y dos días respectivamente (Fig. 3).

Se puede afirmar que la presencia de *Anabaena* sp. en su forma unicelular disminuye el doble los índices de supervivencia de *E. grandidieri* en comparación con *Anabaena* sp. en su forma filamentosa.

En general la supervivencia disminuye conforme aumenta la concentración de *Anabaena* sp. y disminuye la concentración de *C. vulgaris* en las diferentes dietas.

Nota: En todas las graficas los datos descritos se tomaron con base en el 50 % de la población.

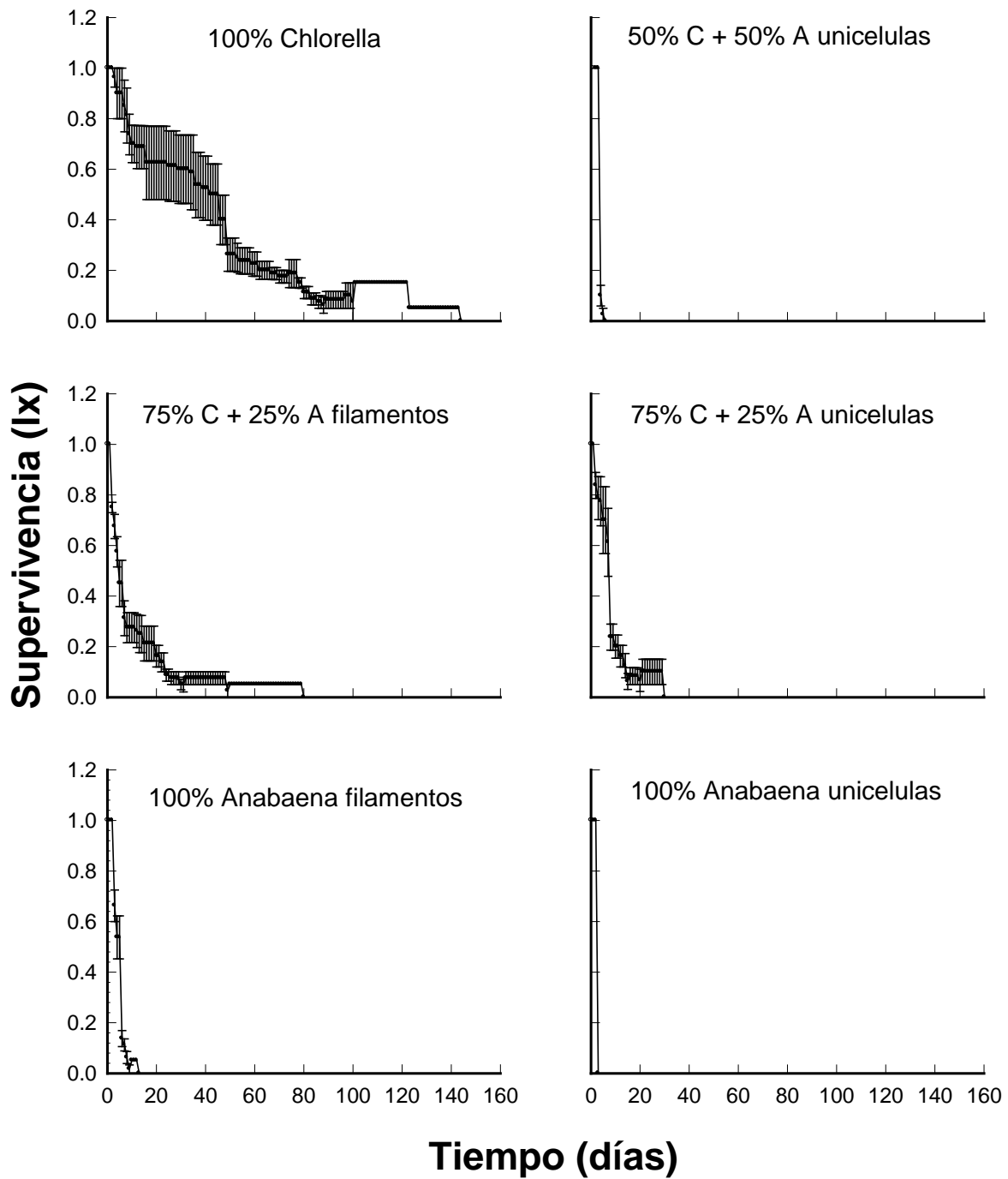


Fig. 3. Índice de supervivencia (Ix) de *Elaphoidella grandidieri* en las dietas compuestas de *C. vulgaris* (C) y *Anabaena* sp. (A) en diferentes concentraciones. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar.

## **Fecundidad (mx)**

De las seis diferentes dietas solo en tres hubo reproducción. Las primeras eclosiones se presentaron: en la dieta 100 % *C. vulgaris* el día 17, para la dieta 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena* sp. filamentos el día 20 y para la dieta 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena* sp. unicélulas el día 14. El número máximo de nauplios por hembra por día se presentó en la dieta 100 % *C. vulgaris* con 22 nauplios el día 62. En el caso de las dietas con 25 % *Anabaena* sp. en sus formas filamentos y unicélulas el número máximo de fue de solo cinco nauplios el día 35 y el día 20 respectivamente.

Se observa una mejor reproducción en la dieta con 25 % *Anabaena* sp. unicélulas en comparación con la dieta 25 % *Anabaena* sp. filamentos (Fig. 4).

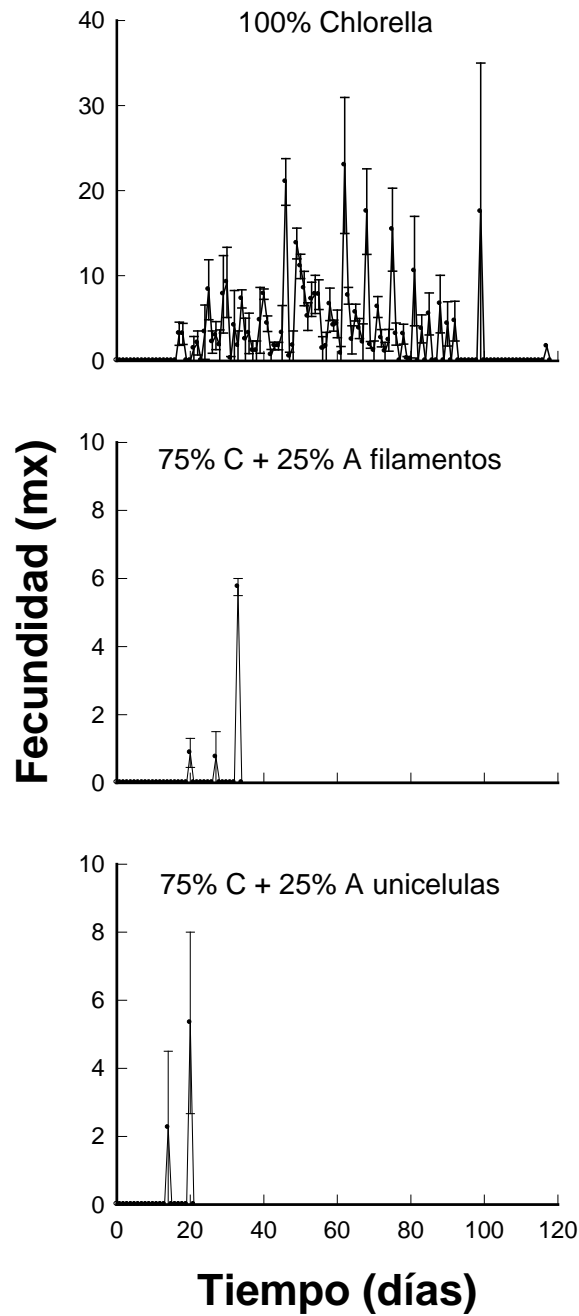


Fig. 4. Índice de fecundidad (mx) de *Elaphoidella grandidieri* en las dietas compuestas de *C. vulgaris* (C) y *Anabaena* sp. (A) en diferentes concentraciones. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar.

## Tabla de vida.

En cuanto a los parámetros de Tabla de vida se observaron grandes diferencias entre cada tratamiento.

El promedio de vida más alto se presentó en la dieta 100 % *C. vulgaris* con 39 días, seguido por la dieta con 25 % *Anabaena* sp. filamentosos con diez días, el más bajo fue para la dieta 100 % *Anabaena* sp. unicélulas con tres días (Fig. 5).

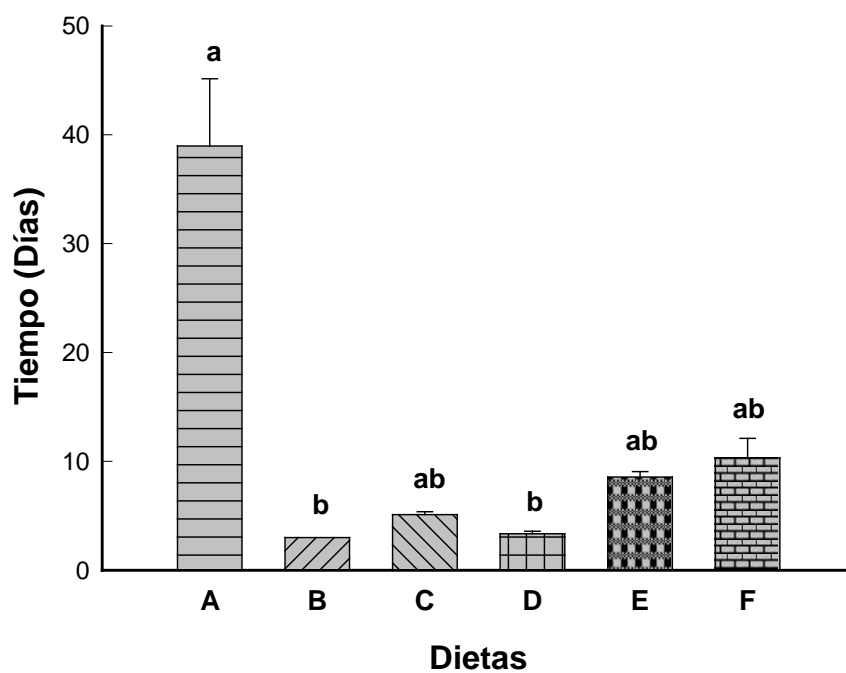
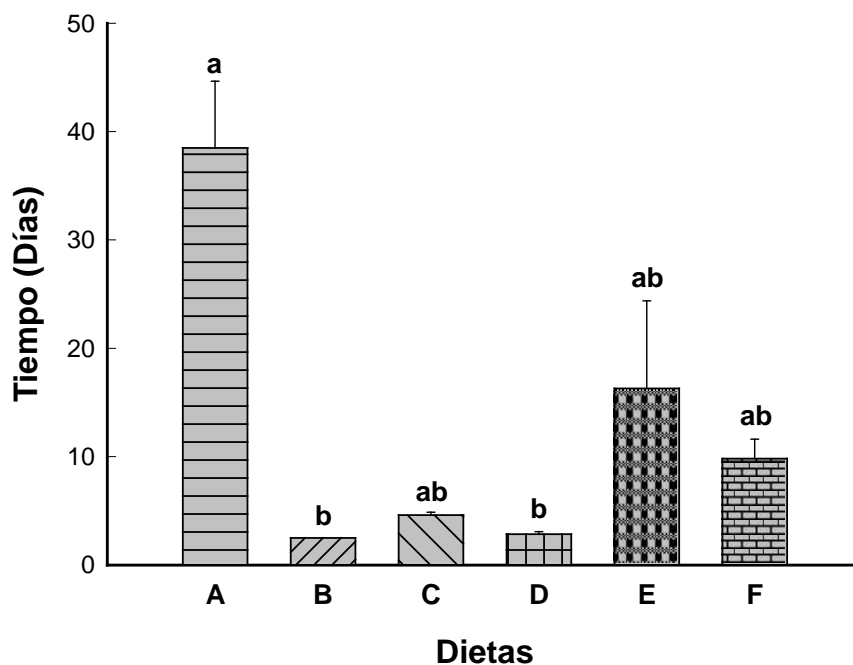


Fig. 5. Promedio de vida de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.



La esperanza de vida con el índice más alto se presentó nuevamente en la dieta *C. vulgaris* 100 % y el más bajo en la dieta 100 % *Anabaena* sp. unicélulas con valores muy similares a los de promedio de vida (Fig. 6).

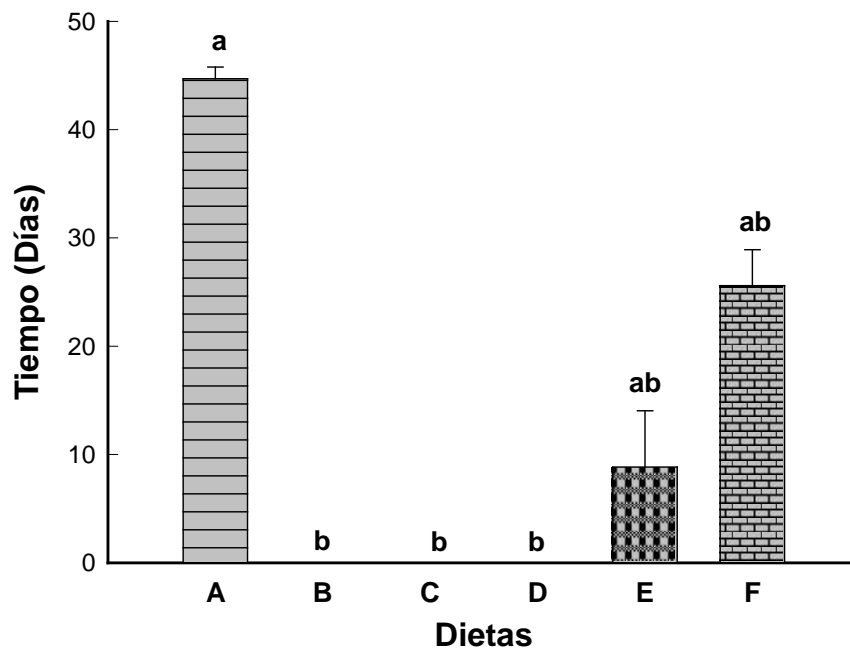


**Fig. 6.** Esperanza de vida de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.

Por medio de análisis de varianza de una vía (ANDEVA) se presentaron diferencias significativas, tanto para promedio como para esperanza de vida de *E. grandidieri* al ser expuesto a las diferentes dietas. Posteriormente se realizó la prueba Tukey para una múltiple comparación entre las dietas, encontrando solo diferencias significativas (ANDEVA  $p < 0.05$ ) entre la dieta *C. vulgaris* (control) con

la dieta 100 % *Anabaena* sp. unicélulas, y con la dieta 50 % *Anabaena* sp. unicélulas.

El tiempo generacional fue nulo en las dietas en que *Anabaena* sp. estaba presente en un 50 % o 100 % en cualquiera de sus dos formas (unicélulas o filamentos), mientras que el índice más alto se presentó nuevamente para la dieta 100 % *C. vulgaris* con 45 días, seguida por la dieta con 25 % *Anabaena* sp. filamentos con 28 días (Fig. 7).



**Fig. 7. Tiempo generacional de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.**

Se realizó análisis de varianza de una vía (ANDEVA) en la que se demostró una diferencia significativa. Posteriormente bajo la prueba Tukey para una múltiple

comparación entre las dietas se encontraron diferencias significativas (ANDEVA  $p < 0.05$ ) entre la dieta *C. vulgaris* (control) con la dieta 100 % *Anabaena* sp. filamentos, con la dieta 100 % *Anabaena* sp. unicélulas y con la dieta 50 % *Anabaena* sp. unicélulas.

En cuanto a la tasa de incremento poblacional final, esta fue influenciada significativamente por la presencia de *Anabaena* sp. presentándose un valor máximo para la dieta 100 % *C. vulgaris* y un valor negativo en la dieta con 25 % *Anabaena* sp. filamentos (Fig.8).

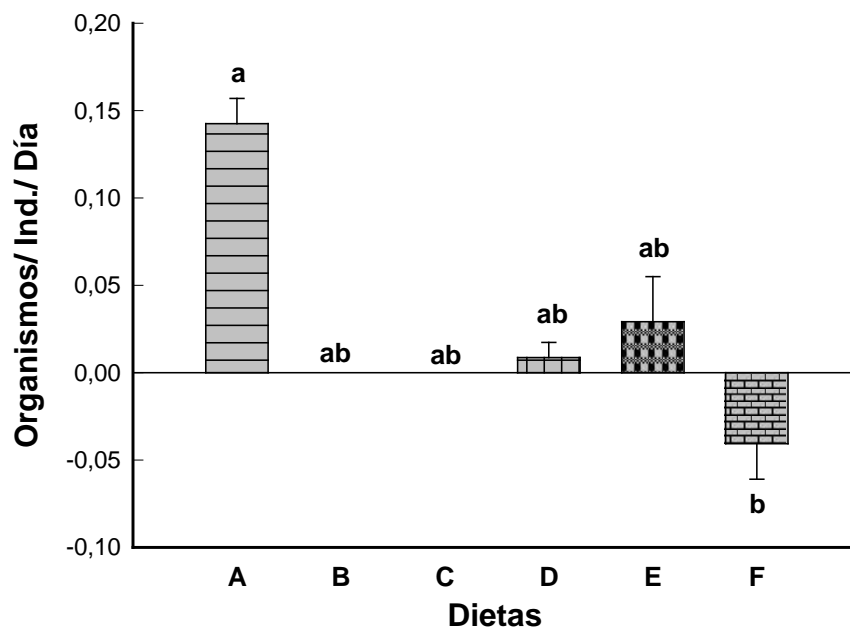


Fig. 8. Tasa de incremento poblacional final de *E. grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.

Por medio de análisis de varianza de una vía (ANDEVA) se presentó una diferencia significativa en la tasa de incremento poblacional final de *E. grandidieri* al ser expuesto a las diferentes dietas. Posteriormente se realizó la prueba Tukey para una múltiple comparación entre las dietas, encontrando solo diferencia significativa (ANDEVA  $p < 0.05$ ) entre la dieta *C. vulgaris* (control) y la dieta 25 % *Anabaena* sp. filamentos.

En las variables reproductivas, la tasa reproductiva bruta con el índice más alto se presentó en la dieta 100 % *C. vulgaris* con 350 nauplios por hembra por día, en el caso de las dietas en las que *Anabaena* sp. estaba presente en un 50 % o 100 % el índice de reproducción fue completamente nulo, en las dietas con 25 % *Anabaena* sp. en cualquiera de sus dos formas (unicélulas o filamentos) los valores fueron muy bajos, con solo cinco nauplios por hembra por día.

La tasa reproductiva neta presentó un comportamiento similar a la tasa reproductiva bruta, sin embargo en esta variable los índices reproductivos fueron nulos para todas las dietas en las que *Anabaena* sp. estaba presente independientemente de la concentración. Para la dieta 100 % *C. vulgaris* se obtuvo un índice de 95 nauplios por hembra por día (Fig.9 y Fig. 10).

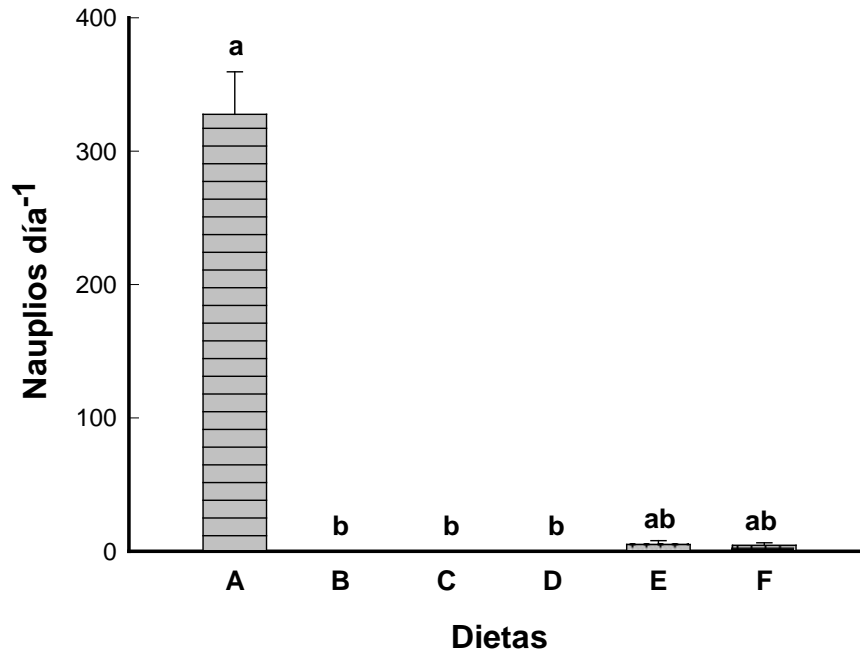
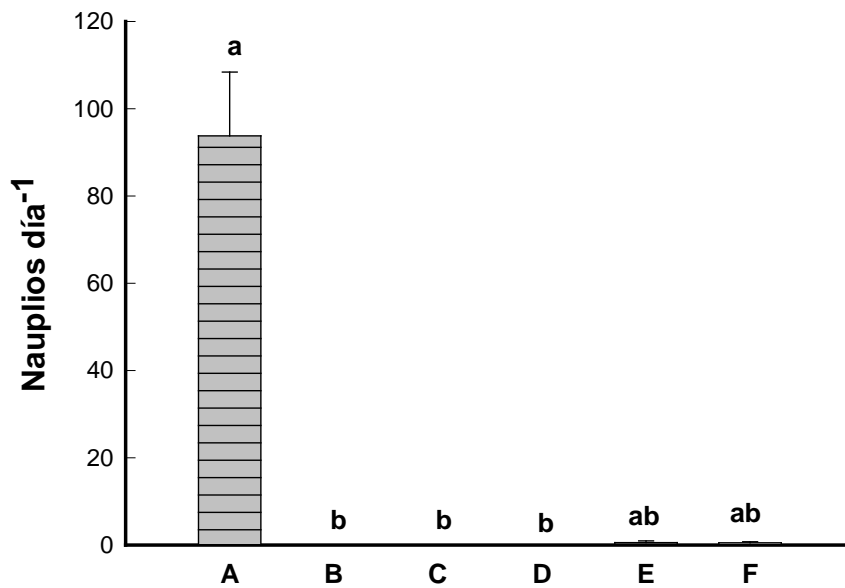


Fig. 9. Tasa reproductiva bruta de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.



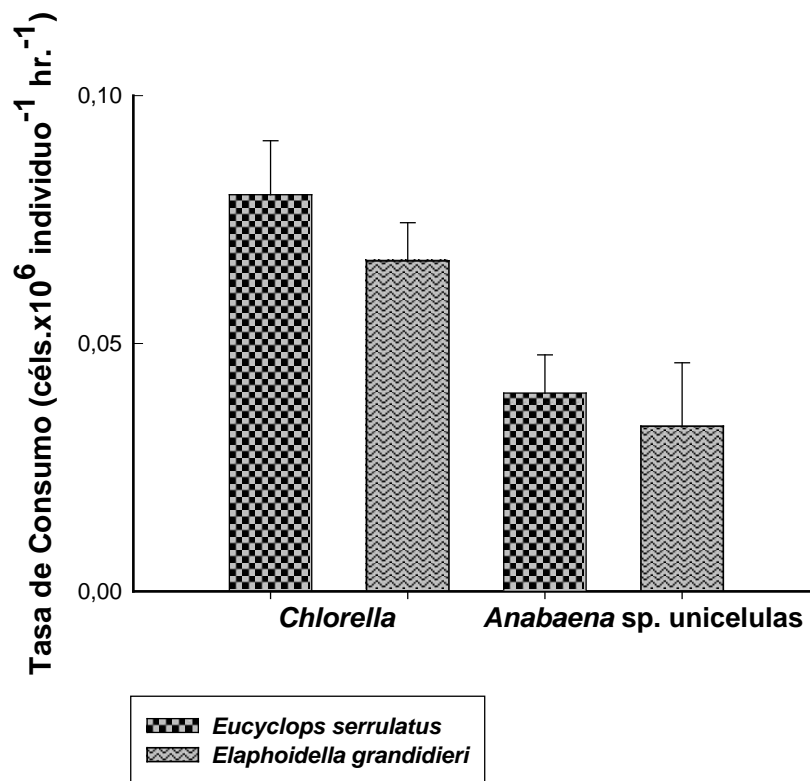
**Fig. 10. Tasa reproductiva neta de *Elaphoidella grandidieri* en las diferentes dietas compuestas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar. Las diferentes letras ubicadas encima de las barras indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), y viceversa.**

Por medio de análisis de varianza de una vía (ANDEVA) se presentaron diferencias significativas para tasa reproductiva bruta y neta de *E. grandidieri* al ser expuesto a las diferentes dietas. Posteriormente se realizó la prueba Tukey para una múltiple comparación entre las dietas, encontrando diferencias significativas (ANDEVA  $p < 0.05$ ) entre la dieta *C. vulgaris* (control) con la dieta 100 % *Anabaena* sp. filamentos, con la dieta 100 % *Anabaena* sp. unicélulas y con la dieta 50 % *Anabaena* sp. unicélulas.

### **Tasa de consumo**

Los valores de tasa de consumo fueron muy similar para ambos copépodos en cualquiera de las dos dietas *C. vulgaris* y *Anabaena* sp. (unicélulas), sin embargo se observa que el copépodo cyclopoideo presenta los índices mas altos con un consumo de  $0.08 \times 10^6$  céls. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> de *C. vulgaris* y  $0.04 \times 10^6$  céls. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> de *Anabaena* sp.

Se observó que el índice de consumo de *C. vulgaris* es el doble en comparación con el consumo de *Anabaena* sp. (unicélulas), en ambos copépodos, quizá se deba a la poca preferencia hacia esta cianobacteria en su alimentación, ya que son tóxicas para los copépodos (Fig.11).



**Fig.11.** Tasa de consumo de *Elaphoidella grandidieri* y *Eucyclops serrulatus* en dos diferentes dietas: *C. vulgaris* y *Anabaena* sp. unicélulas. Media obtenida de cuatro repeticiones  $\pm$  error estándar.

Se realizó un análisis de varianza de una vía (ANDEVA) para ambos tipos de alimento y ambas especies de copépodos, se demostró una diferencia significativa (ANDEVA  $p < 0.05$ ) en la Tasa de consumo.

### Talla de Copépodos

Copépodo	Longitud	Promedio $\pm$ Error Std.
<i>Eucyclops serrulatus</i>	largo	637 $\pm$ 24 $\mu$ m.

	ancho	287 ± 15 µm.
<i>Elaphoidella grandidieri</i>	largo	652 ± 9 µm.
	ancho	168 ± 5 µm.

**Cuadro 4. Longitud promedio de *Elaphoidella grandidieri* y *Eucyclops serrulatus*.**

La longitud del largo y ancho de ambos copépodos son similares, sin embargo *E. serrulatus* presentó una longitud mayor en la parte ancha del cuerpo (Cuadro 4).

De acuerdo a la longitud promedio de ambos copépodos en relación a la tasa de consumo, se observó un mayor consumo de alimento por *E. serrulatus* el copépodo con mayor tamaño (Fig. 11).



## VIII. DISCUSIÓN

Los crecimientos masivos de cianobacterias como *Anabaena* sp. en cuerpos de agua dulce son una problemática cada vez más grave y frecuente, sobretudo en épocas de verano cuando las condiciones para el crecimiento de este tipo de fitoplancton son óptimas, sin embargo las cianobacterias conviven frecuentemente con otros tipos de fitoplancton como lo es la alga verde *C. vulgaris*, por lo que el alimento de un copépodo de agua dulce como *Elaphoidella grandidieri* estaría compuesto de ambos tipos de fitoplancton tanto de *Anabaena* sp. como de *C. vulgaris*.

Se conoce que los copéodos harpaticoides, tienen una relación dependiente con su fuente alimenticia autotrófica, la cual puede regular su comportamiento en varios ámbitos (Montagna *et al.*, 1995), como son la supervivencia, la reproducción y en general sus características demográficas, factores fueron estudiados en el presente trabajo.

### **Crecimiento poblacional**

El zooplancton al alimentarse presenta diferentes comportamientos, la captura de las partículas es de forma aleatoria y depende de diversos factores como son: movimientos de los apéndices de filtración, tamaño y composición bioquímica de la partícula alimentaria (Sautour y Castel 1993). De esta forma las cianobacterias son poco preferidas por el zooplancton en sus hábitos alimentarios, presentándose

problemas de diferente índole, el primero es un problema mecánico: los filamentos o partículas que provienen de las cianobacterias generalmente son de gran tamaño, provocando interferencia en los apéndices alimentarios (Gulati *et al.*, 2001), el segundo por la toxicidad generada por las cianotoxinas (Vela *et al.*, 2007), y el tercero es un problema nutrimental ya que las cianobacterias presentan un bajo aporte nutricional (Müller-Navarra *et al.*, 2004).

En el presente estudio *E. grandidieri* obtuvo un crecimiento totalmente nulo cuando *Anabaena* sp. estaba presente en cualquiera de sus concentraciones aun con la adición del alga verde *C. vulgaris*. Esto pudo deberse a dos situaciones: la primera, el tamaño del alimento en el caso de las dietas en las que *Anabaena* sp. estaba presente en su forma filamentosa, el harpacticoide al tratar de ingerir el filamento presentó interferencia en sus apéndices alimentarios, esto coincide con Gulati y cols. (2001) los cuales observaron que los filamentos de la cianobacteria *Oscillatoria limnetica* causan interferencia en los procesos de colección e ingestión de alimento en *Daphnia galeata*. La otra situación es el caso de que las cianobacterias contienen toxinas dañinas para los organismos zooplanctónicos (Vela *et al.*, 2007), por lo que en las dietas en las que *Anabaena* sp. estaba presente en cualquiera de sus concentración causó gran toxicidad en el harpacticoide evitando el crecimiento en su densidad poblacional. Esto coincide con Gilbert (1990), el cual asocia bajas densidades de *Daphnia pulex* con la cianobacteria *Anabaena affinis*, y con Caviedes (2007) quien reporta que una dieta 100% *Anabaena* sp. anula totalmente el crecimiento poblacional de *M. macrocopa*.

## Supervivencia

Gilbert en 1990 observó el posible desarrollo de adaptaciones y/o tolerancia al consumo de cianoprocariontes, volviéndose resistentes a las toxinas (posiblemente una defensa anti-herbívora), permitiendo la supervivencia de zooplancton en sistemas eutróficos, tal es el caso de algunos ejemplares de *E. grandidieri* los cuales presentaron alta resistencia en la dieta 25 % *Anabaena* sp. filamentos + 75 % *C. vulgaris* con 80 días de supervivencia, sin embargo este, es bajo en comparación con la dieta 100 % *Chlorella vulgaris* en el que sobrevivieron casi el doble de tiempo con 140 días. Esta resistencia a la presencia de una cianobacteria también se puede atribuir a la adición de un alga verde, como se ha demostrado en varios estudios, un alga verde con alto valor nutricional como *C. vulgaris* como segundo componente de la dieta ayuda a la mejor asimilación de la cianobacteria en la dieta alimentaria.

Las cianobacterias tienen diferentes adaptaciones de supervivencia por ejemplo la formación de filamentos para evitar su depredación (Lynch, 1980), factor que fue favorable para *E. grandidieri* ya que se obtuvo un mayor índice de supervivencia en la dieta 25 % *Anabaena* sp. filamentos que con la dieta 25 % *Anabaena* sp. unicélulas, en este caso el comportamiento que adoptó el copépodo fue un alto rechazo hacia los filamentos y un proceso pasivo de selección de unicélulas de *C. vulgaris*, lo cual es comparable con el comportamiento de *Daphnia galeata* en presencia de *Oscillatoria limnetica* (Gulati *et al.*, 2001).

## **Fecundidad**

La presencia de *Anabaena* sp. tiene un efecto negativo en la fecundidad del harpacticoide, aun con la adición de *C. vulgaris* en la dieta, se presentan valores muy bajos. Esto representa un fuerte contraste con las altas tasas de fecundidad que presentó *Daphnia pulex* en una dieta 50 % *Anabaena* sp. + 50 % *Scenedesmus acutus* de hasta 24 neontas/hembras/día, en este experimento la dieta compuesta fue mejor que la dieta 100 % *S. acutus* (Caviedes, 2007).

## **Tabla de vida**

Una dieta 100 % *C. vulgaris* provee los nutrimentos necesario para el óptimo comportamiento del harpacticoide. En contraste con una dieta 100 % *Anabena* sp. que provoca una mortalidad inmediata. De igual forma esto se refleja en los valores de tasa reproductiva bruta con 350 nauplios en la dieta 100 % *C. vulgaris* y con 0 nauplios en la dieta 100% *Anabaena* sp.

Por otro lado la alta calidad nutrimental y la mejor asimilación y aprovechamiento del alga *C. vulgaris* por el harpacticoide *E. grandidieri* para generar sus óptimas condiciones puede ser demostrada al comparar los valores de tabla de vida obtenidos en el presente trabajo con los obtenidos por Núñez en el 2009 alimentando al harpacticoide *E. grandidieri* con el alga *Scenedesmus acutus*. Los resultados aquí obtenidos, son útiles para el mejor mantenimiento de un cultivo masivo de *E. grandidieri*.

	<b>100% <i>Chlorella vulgaris</i></b>	<b>100% <i>Scenedesmus acutus</i></b>
<b>ALS</b>	39 días	*26 días
<b>LEB</b>	39 días	*26 días
<b>GT</b>	45 días	*47 días
<b>r-F</b>	14 org/ind/día	*48 org/ind/día
<b>GR</b>	350 nauplios	*330 nauplios
<b>NR</b>	95 nauplios	*62 nauplios

**Cuadro 5. Parámetros de tabla de vida de *Elaphoidella grandidieri* en dos diferentes dietas con una concentración de  $1 \times 10^6$  céls.  $\text{ml}^{-1}$ .**

\* Los datos para la dieta *Scenedesmus acutus* fueron obtenidos de Núñez (2009).

### **Tasa de consumo**

Entre los componentes de la dieta alimenticia de harpacticoideos se encuentran las algas y las cianobacterias (Thorp y Covich 2001), aunque estas sean poco preferidas en sus hábitos alimentarios por sus bajas propiedades nutricionales (Müller-Navarra *et al.*, 2004) esto se vió reflejado en el relativo menor consumo de la cianobacteria *Anabaena* sp. por *E. grandidieri*. Sin embargo el consumo no fue nulo, ya que el comportamiento alimentario a menudo depende de la disponibilidad de los recursos (DeMott y Moxter, 1991) por lo cual *E. grandidieri* se vió obligada a consumir la cianobacteria.

Organismos detritívoros como *E. grandidieri* son relativamente insensibles a la calidad del alimento que coleccionan mecánicamente (Gulati *et al.*, 2001), dejándose guiar únicamente por el tamaño de la partícula alimentaria, en este caso el tamaño de las unicélulas tanto de *Anabaena* sp. y de *C. vulgaris* son similares entre 3-5  $\mu\text{m}$ . (ambas partículas fácilmente consumibles), por lo que *E. grandidieri* dirigió el consumo hacia ambas dietas.

Por otro lado *E. grandidieri* resulto ser un eficiente consumidor de *C. vulgaris* con un valor de  $0.07 \times 10^6$  céls.. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>, en estudios preliminares se han reportado índices de consumo más bajos con valores de  $0.002 \times 10^6$  céls.. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> para *Eudiaptomus gracilis* y *Diaptomus oregonensis* de *Chlorella* sp. (Monakov, 2003), estos son cladóceros calanoideos de tamaño similar a *E. grandidieri*, por lo que podemos afirmar que nuestro harpacticoide es un gran consumidor de *C. vulgaris*, un dato importante, ya que utilizar esta alga como alimento sirve para lograr las óptimas condiciones de *E. grandidieri* en su demografía.

Además, según lo reportado por Núñez en el 2009, *E. grandidieri* presenta bajas tasas de consumo con valores de  $0.01 \times 10^6$  céls.. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup> de *C. vulgaris*, sin embargo, este valor se obtuvo de una concentración de  $2 \times 10^6$  céls.. ml<sup>-1</sup> (concentración mayor a la utilizada en el presente estudio) se sabe que el consumo es inversamente proporcional a concentración de las algas o alimento disponible (Monakov, 2003), Núñez (2009) al utilizar una mayor concentración en la dieta obtuvo un menor consumo de *C. vulgaris* por *E. grandidieri* en comparación con los índices de consumo obtenidos en el presente estudio.

## IX. CONCLUSIONES

- ❖ El índice Crecimiento Poblacional de *E. grandidieri* fue totalmente nulo cuando *Anabaena* sp. estaba presente en cualquiera de sus concentraciones aun con la adición del alga verde *C. vulgaris*.
- ❖ El índice de Crecimiento Poblacional y de Supervivencia depende del tipo y concentración de las algas en las dietas.
- ❖ Conforme aumenta la concentración de *Anabaena* sp. en la dieta, mayor es el índice de mortalidad de los harpacticoideos.
- ❖ Una dieta 100 % *C. vulgaris* provee los nutrimentos necesario para el óptimo comportamiento del harpacticoide.
- ❖ Un alga verde con alto valor nutricional como *C. vulgaris* como segundo componente de la dieta ayuda a la mejor asimilación de la cianobacteria en la dieta alimentaria. Se observaron índices mas altos en promedio de vida con una dieta 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena* sp. que en una dieta 100 % *Anabaena* sp.
- ❖ Una dieta 100% *Anabaena* sp. anula totalmente la fecundidad; la adición del alga verde *C. vulgaris* en una proporción mayor que la cianobacteria 75 % *C. vulgaris* + 25 % *Anabaena* sp. fue benéfica para su reproducción, aunque en índices muy bajos.
- ❖ La forma y tamaño de la cianobacteria *Anabaena* sp. unicélulas es similar a las unicélulas de *C. vulgaris*, por lo cual ambas fueron consumidas sin

ningún problema, provocando gran toxicidad y la mortalidad inmediata de *E. grandidieri*.

- ❖ *E. grandidieri* presento un alto rechazo hacia los filamentos, evitando así la toxicidad por cianotoxinas.
- ❖ Podemos afirmar que *E. grandidieri* es un excelente consumidor de *C. vulgaris* con tasas de consumo de  $0.01 \times 10^6$  céls. individuo<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>, con una eficiente asimilación y aprovechamiento de esta alga para lograr las óptimas condiciones en su demografía.



## X. REFERENCIAS

- APHA. 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC.
- Alva-Martínez A.F., Sarma S.S.S., Nandini S. 2007. Effect of mixed diets (cyanobacteria and green algae) on the population growth of the cladocerans *Ceriodaphnia dubia* and *Moina macrocopa*. *Aquat Ecology*. 41:579–585.
- Alva-Martínez A.F., Fernández R., Sarma S.S.S., Nandini S. 2009. Effect of mixed toxic diets (*Microcystis* and *Chlorella*) on the rotifers *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus havanensis* cultured alone and together. *Limnologica*. 39:302-305.
- Arzate M.A. 2008. Detección de cianobacterias toxigénicas pertenecientes al género *Microcystis* mediante marcadores moleculares y ensayos biológicos. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 71.
- Bartram J., Charmichael W.W., Chorus I., Jones G., Skulberg, O.M. 1999. Introduction. In: Chorus I. y Bartram J. (Eds.) *Toxic Cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. Spon, London, United Kingdom. pp. 1-14.
- Becker V., Cardoso L. de S., Motta Marquez D.D.A. 2004. Development of *Anabaena Bory* (Cyanobacteria) blooms in a subtropical shallow lake, south Brazil. *Acta Limnologica*. 16:1-10.

- Borowitzka M.A. y Borowitzka L.J. 1988. Micro-algal biotechnology. Cambridge University Press, United Kingdom.
- Briand J., Jacquet S., Bernard C., Humbert J. 2003. Health hazards for terrestrial vertebrates from toxic cyanobacteria in surface water ecosystems. *Vertebrate Research*. 34:361-377.
- Bryant D.A. 1994. The molecular biology of cyanobacteria. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. p. 879.
- Carmichael W.W. 1994. The toxins of cyanobacteria. *Scientific American*. 270:78-86.
- Caviedes S.S.M. 2007. Dinámica poblacional de tres especies de cladóceros (*Daphnia pulex*, *Moina macrocopa* y *Simocephalus vetulus*) utilizando una cianobacteria (*Anabaena* sp.) y una alga verde (*Scenedesmus acutus*) como alimento. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 51.
- Cood G.A., Lindsay J., Young F.M., Morrison L.F. Metcalf J.S. 2005. Harmful cyanobacteria: from mass mortalities to management measures. In: Huisman J., Matthijs, H., Visser, P. (Eds.) *Harmful Cyanobacteria*. pp. 1-24.
- Cood G. 1995. Cyanobacterial toxins: Occurrence, properties and biological significance. *Water Sci Technol* 32:149-156
- CONAGUA: Estadísticas del agua en México, Edición 2010, pp. 46-55.
- Chorus I. y Bartram J. 1999. *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*. WHO.

- Dahms H.U. y Qian P.Y. 2004. Life histories of the Harpacticoida (Copepoda, Crustacea) a comparison with meiofauna and macrofauna. *Journal of Natural History*. 38:1725-1734.
- DeMott W.R. y Moxter F. 1991. Foraging on cyanobacteria by copepods: Responses to chemical defenses and resource abundance. *Ecology*. 72:1820-1834.
- De Troch M., Grego M., Chepurnov V.A., Vincx M. 2007. Food patch size, food concentration and grazing efficiency of the harpacticoid *Paramphiascella fulvofasciata* (Crustacea, Copepoda). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 343:210-216.
- Downing J.A. y Rigler F.H. 1984. A manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters. 2<sup>a</sup> (Ed). Blackwell scientific publications. pp. 336-412.
- Downing T.G., Meyer C., Gehringer M.M., Van de Venter M. 2005. Microcystin content of *Mycrocystis aeruginosa* is modulated by uptake rate relative to specific growth rate or carbon fixation rate. *Environ. Toxicology*. 20:257-62.
- Escobar-Briones E., Cortez-Aguilar A.M., García-Ramos M., Mejía-Ortiz L.M., Simms-Del Castillo A.Y. 2002. Structure of a pond community in Central México. *Hydrobiologia*. 467:133-139.
- Ferguson A.J.D. 1997. The role of modeling in the control of toxic blue-green algae. *Hydrobiologia*. 349:1-4.

- Fernández R. 2010. La capacidad de consumo y los efectos demográficos de microcrustáceos alimentados con cianoprocariontes. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 79.
- Gilbert J.J. 1990. Differential effects of *Anabaena affinis* on cladocerans and rotifers mechanisms and implications. *Ecology*. 71:1727-1740.
- Gómez-Luna L.M., Álamo-Díaz B., Rodríguez-Tito J.C. 2010. Riesgo de contaminación con cianobacterias en tres embalses de agua de Santiago de Cuba. *MEDISAN*. 14:175-176.
- Gulati R.D., Bronkhorst M., Van Donk E. 2001. Feeding in *Daphnia galeata* on *Oscillatoria limnetica* and on detritus derived from it. *Journal of Plankton Research*. 23:705-718.
- Gutierrez-Aguirre M., Suarez-Morales E., Cervantes A., Nandini S., Sarma S.S.S. 2010. Redescription of *Elaphoidella grandidieri* (Guerne y Richard, 1893) (Copepoda: Harpacticoida), a new record to México with notes on their culture under laboratory conditions. *Crustaceana*.
- Jarvis A.C., Hart R.C., Combrink S. 1987. Zooplankton feeding on size fractionated *Microcystis* colonies and *Chlorella* in a hypertrophic lake (Hartbeespoort Dam, South Africa): implications to resource utilization and zooplankton succession. *Journal of Plankton Research*. 9:1231-1249.
- Jochimsen E.M., Carmichael W.W., An J.S., Cardo D.M., Cookson S.T., Holmes C.E., Antunes M.B., de Melo Filho D.A., Lyra T.M., Barreto V.S., Azevedo S.M., Jarvis W.R. 1998. Liver failure and death after exposure to

- microcystins at a hemodialysis centre in Brazil. *The New England Journal of Medicine*. 338:873-878.
- Kagami M., Yoshida T., Gurung T.B., Urabe J. 2002. Direct and indirect effects of zooplankton on algal composition in in situ grazing experiments. *Oecologia*. 133:356-363.
- Krebs C.J. 1985. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. Harper and Row, New York. p. 800.
- Lynch M. 1980. *Aphanizomenon* blooms: alternate control and cultivation by *Daphnia pulex* in W. C. Kerfoot, (Ed), *Evolution and ecology of zooplankton communities*. University Press of England. Hanover, USA. pp. 229-304.
- Msagati T.A., Siame B.A., Shushu D.D. 2006. Evaluation of methods for the isolation, detection and quantification of cyanobacterial hepatotoxins. *Aquatic Toxicology*. 78:382-397.
- Monakov A.V. 2003. *Feeding of freshwater invertebrates*. Kenobi productions. Belgium. pp. 173-197.
- Montagna P.A., Blanchard G.F., Dinet A. 1995. Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 185:149-165.
- Müller-Navarra D.C., Brett M.T., Park S., Chandra S., Ballantyne A.P., Zorita E., Goldman C.R. 2004. Unsaturated fatty acid content in seston and trophodynamic coupling in lakes. *Nature*. 427:68-72.
- Mur L.R., Skulberg O.M., Utkilen H. 1999. *Cyanobacteria in the environment*, in Chorus I., y Bartram J. (Eds.) *Toxic Cyanobacteria in Water: a guide to their*

- public health consequences, Monitoring and management. Spon, London, United Kingdom. pp. 14-40.
- Mur L.R., Gons H.J., Van Liere L. 1978. Competition of the green alga *Scenedesmus acutus* and the blue-green alga *Oscillatoria* in light limited environments. FEMS Microbiol. Letters 1:335-338.
- Nandini S., Nuñez O.A.R., Sarma S.S.S. 2011. *Elaphoidella grandidieri* (Harpacticoida: Copepoda): Demographic characteristics and possible use as live prey in aquaculture. Journal of Environmental Biology. 32:505-511.
- Nuñez O.A.R. 2009. Demografía y comportamiento alimentario del copépodo *Elaphoidella grandidieri* (Clase: Crustacea; Subclase: Copepoda; Orden: Harpacticoidea). Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 69.
- Peterson S.A., Miller W.E., Greene J.C., Callahan C.A. 1985. Use of bioassays to determine potential toxicity effects of environmental pollutants. In: *Perspectives on Nonpoint Source Pollution*. Environmental Protection Agency, EPA 440/5-85-001, Washington DC, USA. pp. 38-45.
- Reinikainen M., ketola M., Walls M. 1994. Effects of the concentrations of toxic *Microcystis aeruginosa* and an alternative food on the survival of *Daphnia pulex*. Limnology and Oceanography. 39:424-432.
- Roset J., Aguayo S., Muñoz M.J. 2001. Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión. Revista de Toxicología. 18:65-71.
- Sarvala J. 1979. A parthenogenetic life cycle in a population of *Canthocamptus staphylinus* (Copépoda, Harpacticoida). Hydrobiologia. 62:113-129.

- Sautour B. y Castel J. 1993. Feeding behavior of the coastal copepod *Euterpina acutifrons* on small particles. *Marina*. 34:239-251.
- Scheffe M., Hosper S.H., Meijer M.L., Moss B., Jeppesen E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes: Trends in ecology & Evolution. 8:8, pp. 275-279.
- Sigee D.C., Glenn R., Andrews M.J., Bellinger E.G., Butler R.D., Epton H.A.S., Hendry R.D. 1999. Biological control of cyanobacteria: principles and possibilities. *Hydrobiologia*. 395/396:161-172.
- Thorp J.H. y Covich A.P. 2001. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. 2ª Edición. Academic Press. pp. 915-938.
- Vargas H.A.A. 2007. Efecto de la cianobacteria *Anabena* sp. sobre la demografía de *Brachionus havanaensis* (Brachionidae: Rotifera). Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 41.
- Vela L., Sevilla E., Martín B., Pellicer S., Bes M.T., Fillat M.F., Peleato M.L. 2007. Las microcistinas. *Rev. Real Academia de Ciencias. Zaragoza*. 62:135-146.
- Walsby A.E. y Hayes P.K. 1989. Gas vesicle proteins. Review article. *Biochemistry Journal*. 264:313-322.
- Weber C.I. 1993. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. 4ª (Ed.), United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio. p. 293.
- Wetzel G.R. 1991. *Limnología*. Omega. S.A., Barcelona. p. 679.
- WHO 2003. Algae and cyanobacteria in fresh water. In: Guidelines for safe and recreational water environments. Vol 1: Coastal and fresh waters. World Health Organization, Geneva, Switzerland. pp. 136-158.