

**ESTRUCTURA POBLACIONAL Y VARIACIÓN FENOTÍPICA DE
Leptodiptomus cf. sicilis EN EL LAGO CRÁTER ATEXCAC, MÉXICO.**

WILSON ANDRÉS PINZÓN CORREDOR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOLOGÍA

BUCARAMANGA

2017

**ESTRUCTURA POBLACIONAL Y VARIACIÓN FENOTÓPICA DE
Leptodiptomus cf. sicilis EN EL LAGO CRÁTER ATEXCAC, MÉXICO.**

WILSON ANDRÉS PINZÓN CORREDOR

Pasantía de Investigación

Proyecto de grado presentado para optar por el título de:

Biólogo

Tutora

DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA

Proyecto de Investigación en Limnología Tropical-UIICSE

Facultad de Estudios Superiores Iztacala

Universidad Nacional Autónoma de México

2017

AGRADECIMIENTOS

A mi familia Pinzón Corredor, por apoyarme y hacer posible la obtención de mi grado profesional.

A la directora Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia del proyecto de Investigación en Limnología Tropical-UIICSE de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México por su guía y apoyo académico.

A todos mis amigos del Laboratorio de Limnología Tropical -UIICSE de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de México quienes hicieron de mi trabajo final una experiencia de vida maravillosa.

A todos los docentes que a lo largo de la carrera nutrieron de conocimientos mi vida como biólogo y como persona.

A Mao, Mayo, Diana y Jeff por su amistad incondicional, risas, apoyo, consejos y compañía.

CONTENIDO

	Páginas
INTRODUCCIÓN.....	10
1. OBJETIVOS.....	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS.....	16
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	25
5. CONCLUSIÓN.....	29
6. COMPETENCIAS DESARROLLADAS POR EL PASANTE.....	30
7. BIBLIOGRAFÍA.....	31

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Localización del lago cráter Atexcac en el Estado de Puebla (Ramírez García y Novelo, 1984).....	14
Figura. 2. Imagen satelital del lago Atexcac, Puebla; 4.5 km de altura (Google Earth,2017).....	14
Tabla. 1. Profundidades y meses de los que se analizaron muestras de zooplancton.....	16
Figura 3. Termoclinas y oxiclinas correspondientes a los meses de 2009	18
Figura 4. Abundancia (ind/L) de las categorías de los estadios en las dos profundidades analizadas.....	19
Figura 5. Abundancias (ind/L) promedio de las categorías a lo largo del año.....	20
Figura 6. Abundancia de Daphnia durante el año 2009.....	21
Figura 7. Promedio y desviación estándar de la talla de hembras adultas durante el año 2009. Las barras indican una desviación estándar.....	22
Figura 8. Biomasa individual promedio de las hembras adultas a lo largo del año 2009. Las barras indican una desviación estándar	23
Figura 9. Diagrama de dispersión de la talla promedio de las hembras adultas contra la temperatura.....	23
Figura 10. Peso y número promedio de huevos a lo largo del año (*sin datos).....	24
Figura 11. Esfuerzo reproductivo promedio. (* sin datos).....	25

RESUMEN

TITULO: ESTRUCTURA POBLACIONAL Y VARIACIÓN FENOTÍPICA DE *Leptodiptomus cf sicilis* EN EL LAGO CRÁTER ATEXCAC*

AUTOR: WILSON ANDRÉS PINZÓN CORREDOR**

PALABRAS CLAVE: temperatura, Lago Atexcac, Zooplancton, variación fenotípica, temperatura, plasticidad térmica.

DESCRIPCIÓN

Muchas especies de organismos ectotermos presentan patrones de plasticidad fenotípica relacionados a la temperatura en la que se desarrollan, la cual influye en otros rasgos como tasas metabólicas, número de descendientes, etc. En ambientes tropicales, la variabilidad fenotípica de la talla y otras características del ciclo de vida de los ectotermos se han atribuido a la disponibilidad de alimento, ya que las oscilaciones térmicas son reducidas en comparación con los ambientes templados. En este trabajo se determinó la posible existencia de plasticidad fenotípica en la talla y algunas variables reproductivas del copépodo *Leptodiptomus cf. sicilis* que habita el lago Atexcac (Cuenca Oriental, México). Se obtuvieron las longitudes de las hembras adultas, su número y tamaño de huevos a lo largo del año, junto con datos de oxígeno y temperatura. La variación en la temperatura anual en la columna de agua fue de 2.8°C. La longitud promedio máxima de las hembras fue de 903 $\mu\text{m} \pm 43 \mu\text{m}$ en junio, seguido de una ligera disminución y oscilando hasta llegar a la longitud promedio mínima que fue de 780 $\mu\text{m} \pm 61 \mu\text{m}$ en el mes de noviembre. Si bien se encontró variabilidad fenotípica en la talla no puede considerarse plasticidad térmica porque no se correlacionó significativamente con la temperatura; dicha variabilidad podría atribuirse a las oscilaciones en la disponibilidad de alimento debido a que Atexcac es oligotrófico.

*Trabajo de grado.

**Facultad de ciencias, Escuela de Biología. Directora: Elizabeth Mayagoitia, Doctora en Ciencias Biológicas

ABSTRACT

TITLE: POPULATION STRUCTURE AND PHENOTIPICAL VARIATION OF *Leptodiaptomus cf. sicilis* IN THE CRATER LAKE ATEXCAC*

AUTHOR: WILSON ANDRÉS PINZÓN CORREDOR**

KEYWORDS: temperature, Atexcac Lake, Zooplankton, phenotypic variation, thermal plasticity.

DESCRIPTION

Many species of ectotherms have patterns of phenotypic plasticity related to the temperature in which they develop, influencing other traits such as metabolic rates, number of descendants, life cycle, etc. The phenotypic variability of size and other life-history traits of ectotherms from tropical environments has been attributed to food availability, because thermal oscillations are narrow compared to temperate environments. In this work, it is tested if there is phenotypic plasticity of size and several reproductive traits of the copepod *Leptodiaptomus cf. sicilis* which inhabits lake Atexcac (Cuenca Oriental, México). Size of adult females, plus number and size of their eggs were measured through a year along with temperature and oxygen. The annual temperature variation in the water column was 2.8°C. The average length of the females maximum was 903 $\mu\text{m} \pm 43 \mu\text{m}$ in June, followed by a slight decrease oscillating until reaching the minimum average length that was 780 $\mu\text{m} \pm 61 \mu\text{m}$ in the month of November. The copepod population showed phenotypic variability in size but cannot be considered thermal plasticity, because a significant relationship to temperature was not observed. Since Lake Atexcac is oligotrophic, it is suggested that the availability of food could be the variable modulating the size of the females and their reproductive traits.

*Bachelor thesis.

**Science faculty, Department of Biology. Director: Elizabeth Mayagoitia, Doctor of Biological Sciences.

INTRODUCCIÓN

La estructura poblacional se define como el número de individuos, estadio y sexo de los organismos que componen una población en un momento y hábitat determinado (Curtis 2007). Los cambios que suceden en la estructura de la comunidad dependen en buena medida de la capacidad de respuesta de las poblaciones a variaciones medioambientales tales como la temperatura, alimento, depredación, entre otros (Curtis 2007).

Por su parte, el concepto de hábitat involucra la suma de factores bióticos y abióticos en los que un grupo de organismos puede subsistir (Press *et al.* 2013). Entre estos factores, la temperatura es uno de los más importantes en los ecosistemas, debido a sus efectos en la composición y dinámica temporal de las comunidades, ya sea delimitando el espacio habitable, afectando directamente la supervivencia de los organismos o el desarrollo de su ciclo de vida, por ejemplo, algunos organismos se mueven a lo largo de la columna de agua buscando su temperatura ideal (Lampert y Sommer 2007).

En el caso de los invertebrados, sus ciclos de vida son ampliamente influenciados por las condiciones medioambientales en las que se encuentren (Atkinson y Morley 2001). Cerca del 80% de los invertebrados ectotermos estudiados presentan una variación del tamaño respondiendo al incremento de la temperatura experimentada durante el desarrollo, dando como resultado una menor talla en el estado adulto. En algunos casos la variación en la talla puede ser explicada por condiciones en la que la disponibilidad de recursos alimenticios es baja o de poca calidad, sin embargo, existen casos en los que a pesar de poseer condiciones de alimento óptimas en las que se esperaría un aumento del tamaño, la disminución de la talla relacionada con la temperatura sigue apareciendo (Atkinson 1995).

Todavía es un tema de debate si la plasticidad térmica del tamaño corporal en ectotermos es de tipo adaptativa o no (Angilletta *et al.* 2004).

La temperatura se ha considerado uno de los factores abióticos con más influencia con la talla final de copépodos (McLaren 1963; El-Maghraby 1965; Angilletta 2009). Los cambios en el tamaño pueden ser resultado de diferentes variaciones en la temperatura que experimentan los copépodos durante su desarrollo o a lo largo de diferentes generaciones (Horne *et al.* 2016; Hart y Bychek 2011).

Se han registrado casos donde la temperatura ambiental puede llegar a afectar el tamaño de la población (Angilletta *et al.* 2006) donde se observa que la talla de los adultos es inversamente proporcional a la temperatura del medio donde se encuentran (regla tamaño-temperatura) la cual influye en otros rasgos como el tamaño y número de descendientes, la actividad metabólica (Atkinson 1994), el comportamiento (West-Eberhard 2003), los patrones de migración y movimiento a lo largo de la columna de agua (Bernal y Zea 1993), así como variaciones en rasgos reproductivos como el tamaño de la puesta y el esfuerzo reproductivo (Dam y Peterson 1991; Escribano y McLaren 2015).

Se ha demostrado experimentalmente que rasgos como el tamaño y el peso en algunas especies también pueden verse fuertemente afectados por la disponibilidad de alimentos, solos o en combinación con la temperatura (Jamieson 1986).

Todavía es un tema de debate si la plasticidad térmica del tamaño corporal en ectotermos es adaptativo o no (Angilletta *et al.* 2004).

En ambientes tropicales, la variabilidad fenotípica de la talla y otras características del ciclo de vida de los ectotermos se han atribuido a la disponibilidad de alimento,

ya que las oscilaciones térmicas son reducidas en comparación con los ambientes templados.

Leptodiaptomus cf. sicilis es una especie de copépodo calanoideo microendémico aún no descrita del lago Atexcac, México. Es una especie iterópara con reproducción continua a lo largo del año con re-cópula obligada, carga un saco con uno a tres huevos y alcanza una talla máxima promedio de 0.90 mm. Presenta coloración rojiza y no posee depredadores en su hábitat (Barrera-Moreno *et al.* 2015).

El objetivo de este trabajo es realizar por primera vez la descripción de la estructura poblacional, la variación en el tamaño de las hembras adultas y las características de la puesta (número y tamaño de los huevos) de *Leptodiaptomus cf. sicilis* en el lago Atexcac usando muestras que fueron colectadas a lo largo del año 2009. Esta información se cotejará con los valores de temperatura de cada muestreo para determinar si existe una relación entre la temperatura y las variables obtenidas de los organismos.

1.OBJETIVOS

General:

Describir la estructura poblacional y plasticidad fenotípica del copépodo calanoide *Leptodiaptomus cf. sicilis* en el Lago Atexcac.

Específicos:

1. Conocer la abundancia de los distintos estadios de desarrollo y sexo del copépodo a lo largo de la columna de agua, durante un ciclo anual.
2. Tipificar la variabilidad fenotípica del tamaño de los individuos adultos.
3. Describir la variabilidad fenotípica de las variables reproductivas (tamaño y número de huevos).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de estudio:

El lago cráter Atexcac (19°20'1" N, 97°27'0" W) (Fig. 1) es un lago cráter salino cercano al poblado de San Luis Atexcac, Municipio de Guadalupe Victoria, Estado de Puebla, a 2510 msnm. Presenta un clima templado subhúmedo, su forma es irregular, pero se aproxima a una elipse cuya longitud máxima es de 780 m con orientación SO-NE (Fig. 2). Tiene un área superficial de 0.29 km² y una profundidad máxima de 34 m, alberga un volumen de 6.15 x 10⁶ m³ (Arellanos Posadas y Gónzales Florez 2011). El lago Atexcac presenta un periodo de mezcla durante los meses de invierno y el resto del año se presenta estratificación; su salinidad fluctúa entre 6 y 7 gL⁻¹ y su pH entre 8.1 y 8.3 (Armienta *et al.* 2008; Arellanos Posadas y Gónzales Florez 2011).

Fig.1 Localización del lago cráter Atexcac en el Estado de Puebla (Ramírez García y Novelo 1984)

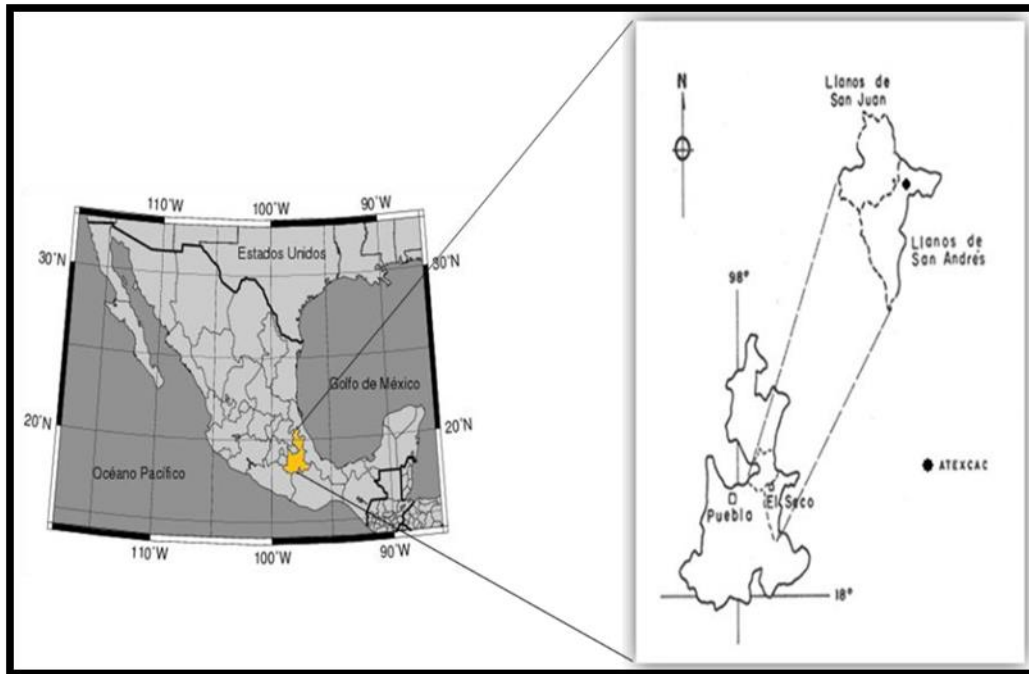


Fig. 2 Imagen satelital del lago Atexcac, Puebla a 4.5 km de altura (Google Earth, 2017).



2.2 Muestreo:

Se recolectaron muestras mensuales usando arrastres verticales (red con poro de 120 μm) y botellas tipo Niskin (6L) a lo largo de la columna de agua del lago Atexcac, posteriormente las muestras se concentraron y se almacenaron usando formaldehído al 40% diluido con agua filtrada del lago hasta una concentración final del 4%.

Los valores de temperatura y de oxígeno disuelto en la columna de agua fueron medidas con una sonda de registro de calidad de agua multiparámetrica Hydrolab Datasonde 3 acoplada a una consola Surveyor 3.

2.3 Fase de laboratorio:

Para cada mes de muestreo se midió la longitud total (excluyendo ramas furcales) de 50 hembras adultas usando un Microscopio Leica modelo S6 con luz fría usando el objetivo de 10x; la biomasa se obtuvo con modelos de regresión longitud -peso seco (McCauley 1984). Asumiendo una proporción de 1:10 para el peso seco: húmedo se calculó el peso húmedo

Se registró la presencia/ausencia de huevos y se midieron sus dimensiones. Se calculó el volumen de los huevos usando la fórmula del elipsoide de revolución $\text{volumen} = \pi/6 * (D1 * D1) * D2$, donde D1 es la dimensión menor del huevo y D2 es la dimensión mayor. Suponiendo una densidad de 1 ($1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ g}$) se calculó el peso húmedo.

El esfuerzo reproductivo (ER), definido como la biomasa total invertida por una hembra en una sola puesta, se calculó de acuerdo con Caley, Schwarzkopf y

Shine (Caley *et al.* 2001): $ER = PH \cdot NH$, donde PH es el peso huevo y NH es el número de huevos.

Para cada mes se realizarán conteos de los diferentes estadios de los copépodos en las profundidades de 10 m y 20 m agrupándolos en las siguientes categorías: estadio larval (LN), copepoditos 1,2,3 (C3), copepoditos 4 y 5 (C4-5), hembras adultas, machos adultos y hembras ovígeras con su respectivo número de huevos. Los estadios fueron identificados según Huys y Boxshall (1991). Los cálculos de abundancias se realizaron según la metodología de McCauley (1987).

Para la estimación de la abundancia se usaron las siguientes profundidades para cada mes del año muestreado:

Tabla. 1 Profundidades y meses de los que se analizaron muestras de zooplancton.

	ENE	FEB	MAR	MAY	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV TEMPRANO	NOV TARDÍO
Profundidad 1	10m	10m	10m	15m	10m	10m	10m	10m	10m	15m
Profundidad 2	15m	20m	20m	20m	20m	19m	20m	19m	20m	20m

3. RESULTADOS

3.1 Variación en temperatura y oxígeno

La temperatura de la columna de agua varió entre los 14.9°C (febrero) y los 21.3 °C (junio), hubo presencia de oxígeno a lo largo de la columna de agua durante todo el año alcanzando el valor mínimo de 0.4 mgL⁻¹ en el mes de septiembre a una profundidad de 30 m y máximo durante el mes de febrero con 8.24 mgL⁻¹ a una profundidad de 5 metros.

La etapa de mezcla se puede apreciar durante los meses de enero y febrero con valores de ($14.96\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.05$), ($15.03\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.27$) para temperatura y ($7.06\text{ mgL}^{-1} \pm 0.13$), ($6.61\text{ mgL}^{-1} \pm 0.62$) para oxígeno respectivamente, la temperatura y el oxígeno se distribuyen de manera homogénea a lo largo de la columna durante estos dos meses (Fig. 2), el resto del año se presentó estratificación.

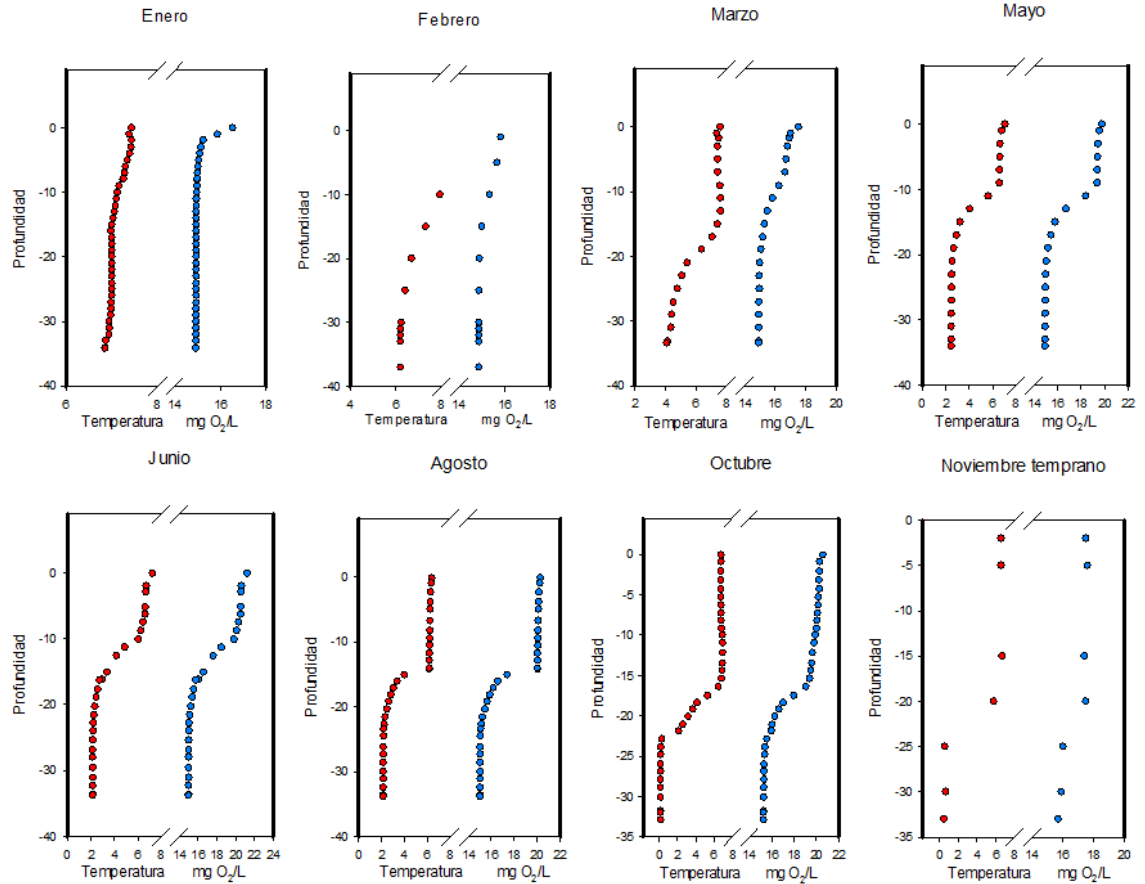
Durante los meses de estratificación los valores máximos y mínimos de temperatura para el epilimnion fueron para los meses de ($16.04\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.69$) marzo y ($20.38\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.28$) julio.

Durante el mes de marzo la termoclina se encontró definida por una diferencia térmica de 0.37°C por 1 metro de profundidad ubicando el hipolimnion a una profundidad de 18.9 m, durante los meses posteriores el valor de diferencia térmica aumentó a 0.84°C (mayo a 16.73 m), 1.12°C (junio a 18.51 m), 1.17°C (agosto a 17.42 m), 1.08°C (octubre a 17.5 m) y disminuyó a 0.3°C (noviembre a 25 m).

Con la información anterior podemos observar 3 momentos diferentes a lo largo del año (Fig. 3):

1. Período de mezcla, no hay termoclina definida, temperatura y oxígeno homogéneo a lo largo de la columna (enero, febrero).
2. Termoclina definida por menos de 1°C de diferencia térmica (marzo, mayo, noviembre) hipolimnion a 18.9 m, 16.73 m y 25 m de profundidad.
3. Termoclina definida por más de 1°C de diferencia térmica (junio, agosto, octubre), hipolimnion a 18.51 m, 17.42 m y 17.5 m de profundidad.

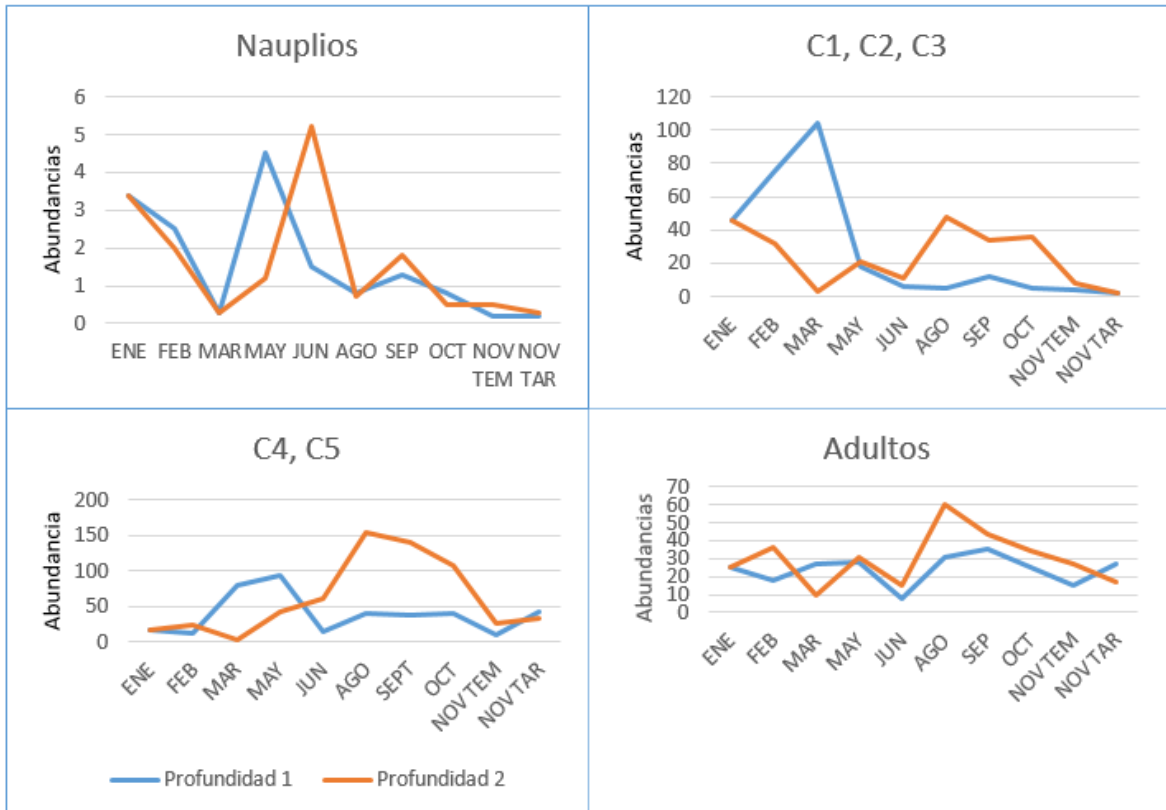
Fig 3. Termoclinas y oxiclinas correspondientes a los meses de 2009.



3.2 Abundancia

Se encontraron individuos de todos los estadios en todos los meses excepto en noviembre temprano-tardío, donde no se encontraron hembras ovígeras.

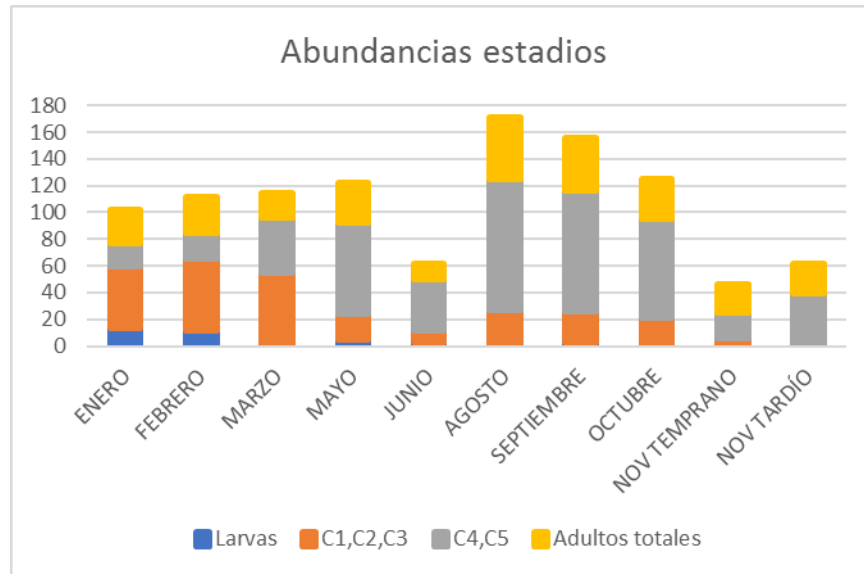
Fig 4. Abundancia (ind/L) de las categorías de los estadios en las dos profundidades analizadas.



Los distintos estadios de desarrollo tuvieron su abundancia máxima en distintos momentos del ciclo anual (Fig. 4). Los nauplios se encontraron en abundancias muy bajas, con picos en mayo y junio. Los estadios C1-C3 fueron más abundantes entre febrero y marzo, mientras que los estadios C4-C5 y los adultos tuvieron sus picos entre agosto y septiembre.

Considerando la población completa (Fig. 5), durante los meses de enero a mayo la abundancia total tuvo una sutil tendencia a incrementarse, seguida de una disminución notable en el mes de junio. En agosto la abundancia total se incrementó significativamente, alcanzando su máximo anual, tras lo cual disminuyó paulatinamente. En este contexto, la categoría C1-C3 fue la dominante de enero a marzo, mientras que de mayo en adelante la categoría C4-C5 tuvo un mayor aporte de organismos.

Fig 5. Abundancia (ind/L) promedio de las categorías a lo largo del año

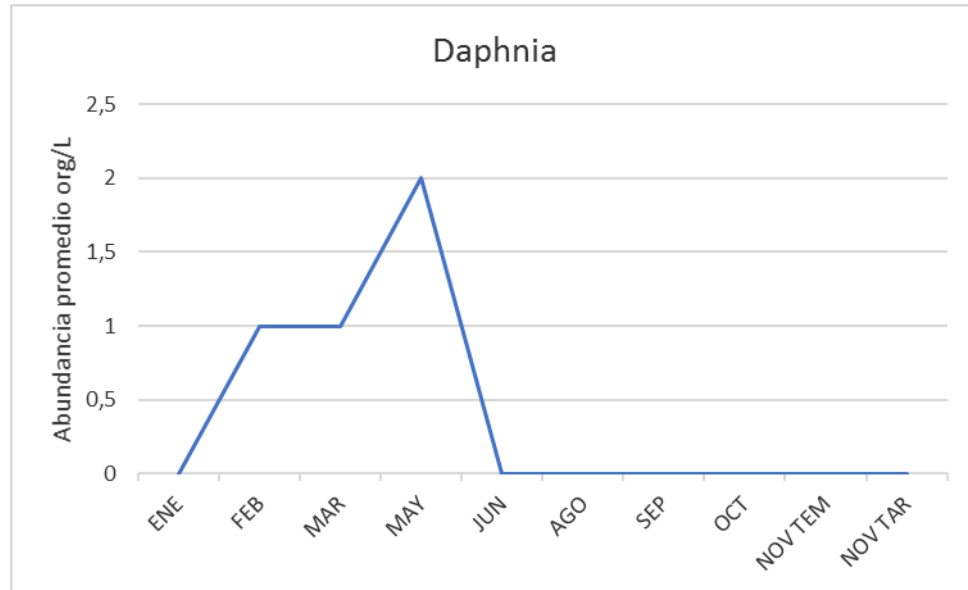


No se encontraron correlaciones significativas entre la temperatura y la abundancia de las distintas categorías de copépodos.

Durante los meses de enero-mayo las abundancias totales se comportaron de manera similar con un leve aumento mensual seguido de una disminución notable en el mes de junio, posteriormente se observó un aumento en la abundancia total) de la profundidad 1 desde febrero hasta mayo con un pico en marzo(261 ind); desde junio hasta noviembre temprano la abundancia fue mayor para la profundidad 2 alcanzando el mayor pico de abundancia total en el mes de agosto (332 ind).

Adicionalmente se registró la presencia de *Daphnia* sp. en febrero, marzo y mayo, alcanzando un valor máximo de 2 ind/L.(Fig 6)

Fig 6. Abundancia de *Daphnia* durante el año 2009.

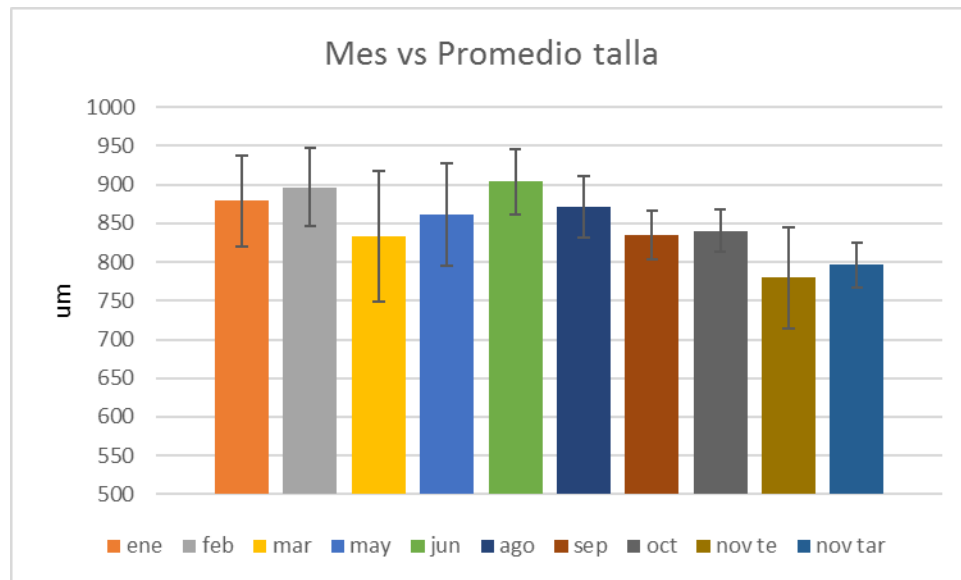


3.3 Tallas y biomasa

La talla de las hembras fluctúa irregularmente, con los individuos más grandes en invierno y verano, y los más pequeños en otoño. La longitud promedio máxima de las hembras fue de $903 \mu\text{m} \pm 43 \mu\text{m}$ en junio, seguido de una ligera disminución oscilando hasta llegar a la longitud promedio mínima que fue de $780 \mu\text{m} \pm 61 \mu\text{m}$ en el mes de noviembre (Fig. 7).

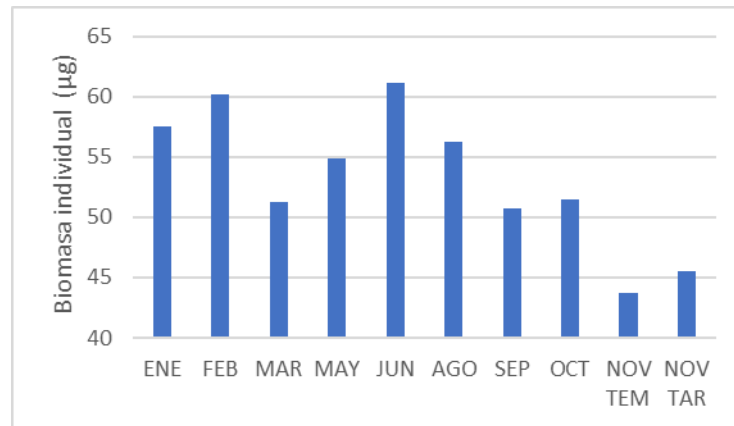
No se obtuvieron valores significativos entre abundancia y temperatura para ninguno de las categorías: C1,C2,C3 ($P=0.07$) ; C4,C5 $P=(0.08)$; hembra adulta; macho adulto y adultos totales ($P=0.8$, $P=0.45$, $P=0.75$ y $P=0.66$) respectivamente.

Fig 7. Promedio y desviación estándar de la talla de hembras adultas durante el año 2009. Las barras indican una desviación estándar.



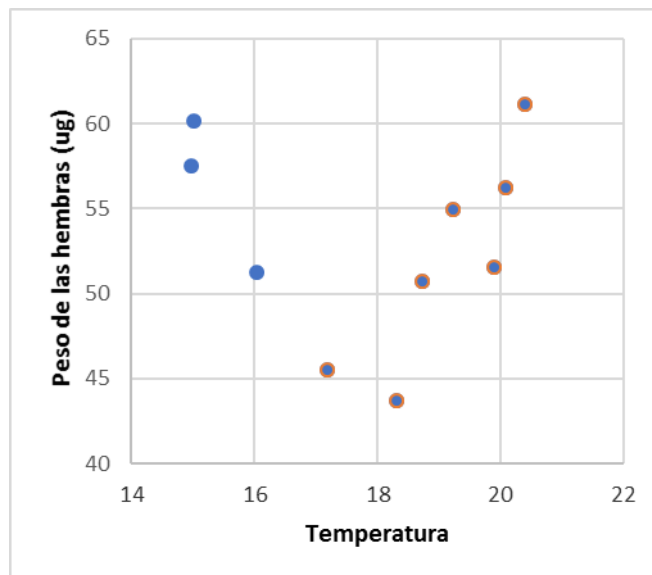
La biomasa promedio de las hembras alcanzó sus dos mayores picos en los meses de febrero y junio (60.17 ± 8.03 y 61.17 ± 6.6 , respectivamente) posterior a ellos se encuentra una disminución en general alcanzando el valor mínimo a comienzos del mes de noviembre (43.74 ± 8.34) (Fig.8).

Fig 8. Biomasa individual promedio de las hembras adultas a lo largo del año 2009.



Se realizaron las pruebas de correlación de Pearson para evaluar la existencia de una relación significativa entre la temperatura y la talla. Se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.02 ($P=0.94$), por lo que no hay evidencia de que la talla del copépodo dependa de la variación de la temperatura (Fig. 9).

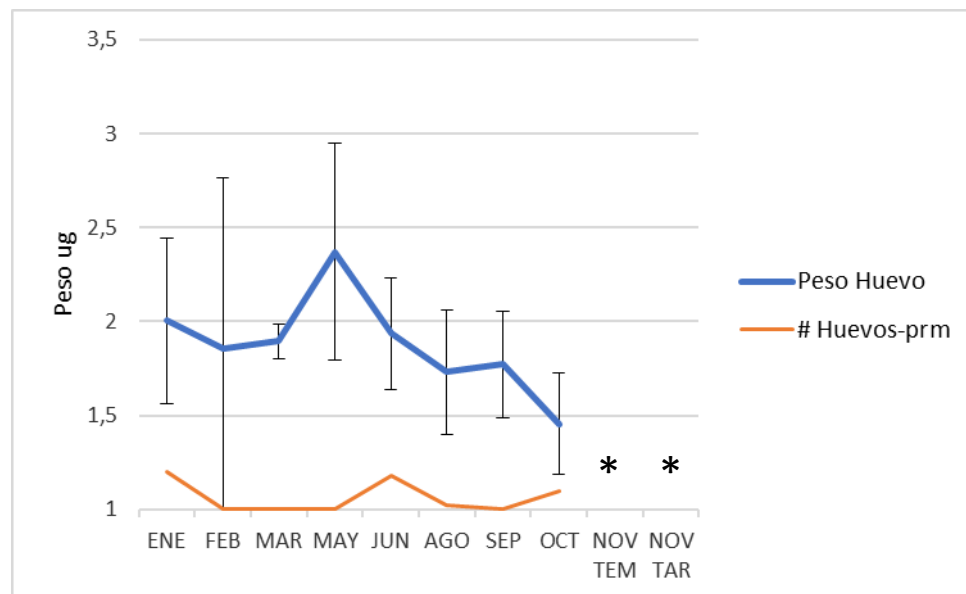
Fig 9. Diagrama de dispersión de la talla promedio de las hembras adultas contra la temperatura.



El esfuerzo reproductivo (cantidad de biomasa invertida en cada puesta) cambia poco a lo largo del tiempo. Alcanzó su pico más alto en el mes de enero con $2.38 \mu\text{g/puesta} \pm 0.89 \mu\text{g}$, seguido de mayo $2.37 \mu\text{g} \pm 0.57 \mu\text{g}$ y junio $2.21 \mu\text{g} \pm 1.92 \mu\text{g}$ disminuyendo hasta el mes de octubre con valores de $1.6 \mu\text{g} \pm 0.61 \mu\text{g}$.

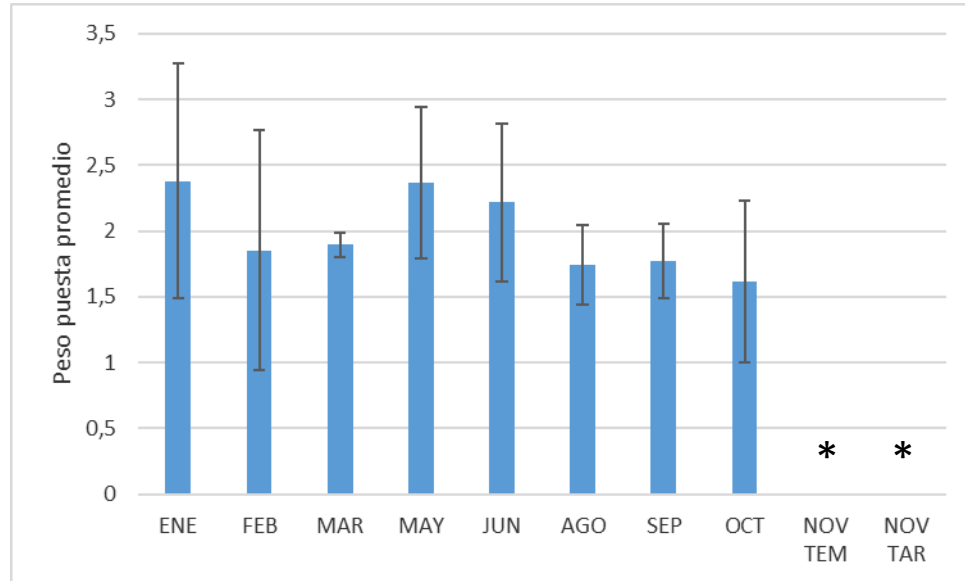
El número máximo de huevos encontrado en una puesta fue de dos huevos, el peso promedio del huevo varió desde los $1.45 \mu\text{g} \pm 0.26$ en octubre a los $2.37 \mu\text{g} \pm 0.57$ en mayo. (Fig.10). El número y peso de los huevos no se correlacionan con la temperatura ($p=0.936$) y ($p=0.262$) respectivamente.

Fig 10. Peso y número promedio de huevos a lo largo del año (*sin datos)



En cuanto al esfuerzo reproductivo, éste varía a lo largo del año alcanzando su mayor pico durante el mes de mayo con un valor de $2.38 \mu\text{g} \pm 0.89$ y un mínimo de $1.61 \mu\text{g} \pm 0.61$ (Fig 11.), sin embargo, estos datos tampoco se correlacionan con la temperatura ($P=0.261$).

Fig 11. Esfuerzo reproductivo promedio. (*sin datos)



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Factores abióticos

Se observa que el lago Atexcac es un lago cálido monomítico, presenta un periodo de mezcla observable durante los meses de enero y febrero (invierno) y un periodo de estratificación durante el resto del año. Es de destacar que a diferencia del lago Alchichica, el cual se encuentra cercano y tiene un hipolimnion anóxico la mayor parte de la estratificación, en Atexcac se registró la presencia de oxígeno en la columna de agua durante todo el año.

El lago Atexcac presenta una variación anual en la temperatura de 14.6 a 22 °C, con un promedio anual de 16.7 ± 6.05 °C, que es ligeramente superior a la observada en otros lagos cráter de la zona como La Preciosa y Alchichica, donde se registran temperaturas promedio de 15.2 ± 2.0 °C y 15.9 ± 1.5 °C, respectivamente (Reyes Rodríguez, 2017; Adame *et al.* 2008).

De esta manera, aunque el lago Atexcac es un lago monomítico cálido, presenta condiciones particulares en cuanto a condiciones de temperatura, salinidad y oxígeno comparado a los lagos vecinos La Preciosa y Alchichica.

4.2 Abundancia

Hubo presencia de todos los estadios de desarrollo del copépodo durante todo el año. La abundancia del estadio larval se encuentra en una densidad muy baja en todos los meses del año (0.3-3.4 ind/L). Cabe recordar que el número de huevos que producen las hembras en cada puesta es bastante bajo, aspecto que se discutirá más adelante.

Atexcac cuenta con una fuerte predominancia del copépodo calanoide *L. cf. sicilis* seguido de *Daphnia* sp. (un máximo de 2 ind/L). En este proyecto no se detectó la presencia del rotífero *Brachionus* sp. México, el cual ha sido encontrado en otros estudios (Alcántara-Rodríguez *et al.* 2012)

En cuanto a la densidad poblacional de *L. cf. sicilis*, ésta fue más alta durante la estratificación, en contraste con lo que ocurre en el vecino lago de Alchichica, donde el copépodo *L. garciai* disminuye significativamente su presencia en esa época (Ciros-Pérez *et al.* 2015). En cambio, la dinámica en Atexcac es más parecida a la de La Preciosa, donde la población de *L. cf. sicilis* tiene un pico de abundancia también durante la estratificación (Reyes-Rodríguez 2017). La diferencia entre las poblaciones de Atexcac y La Preciosa radica en que en el primer lago la abundancia llega a ser hasta del doble que en el segundo, reflejo probablemente de la disponibilidad de alimento, ya que La Preciosa es más oligotrófico que Atexcac, y a que *L. cf. sicilis* carece de competidores en este último lago.

4.3 Biomasa individual de hembras adultas

La biomasa corporal de las hembras alcanza sus dos mayores picos en los meses de febrero y junio ($60.17 \pm 8.03 \mu\text{g}$ y $61.17 \pm 0.6 \mu\text{g}$ respectivamente) la cual es similar a la reportada para *L. cf sicilis* del lago La Preciosa ($66.36 \pm 5.83 \mu\text{g}$ en hembras y $55.41 \pm 4.05 \mu\text{g}$ en machos) por Reyes-Rodríguez (2017), sin embargo, decaen progresivamente desde el mes de junio hasta noviembre alcanzando un valor mínimo de $43.74 \mu\text{g} \pm 8.34$.

4.4 Relación talla-temperatura

La talla de las hembras varía de forma irregular alcanzando los mayores tamaños durante el invierno y las de menos tamaño durante el otoño. La talla no presentó correlación con la temperatura por lo que probablemente el factor modulante de la talla sea otra variable como la alimentación. Hay que recordar que Atexcac es oligotrófico y que el fitoplancton asume un papel en las respuestas fenotípicas bajo ciertas condiciones medioambientales cuando la comida es un factor limitante (McLaren 1963; El-Maghraby 1965; Boxshall *et al.* 1988; McLaren 1963; Ban 1994), como es el caso de *Oithona similis* y *Euterpina acuífrons*, a los cuales se les atribuyen cambios en su tamaño debido a factores diferentes a la temperatura (Riccardi *et al.* 2000).

Se ha reportado casos en los que las estrategias de alimentación pueden desempeñar un papel significativo en la magnitud de respuesta a la regla de tamaño-temperatura, obteniendo resultados en los que la respuesta a dicha regla era más variable en condiciones de exceso de comida. Lo anterior sugiere que las condiciones de campo modifican la respuesta tamaño-temperatura (Horne *et al.* 2016).

Se han realizado estudios en los que se evalúa la influencia de la comida y la temperatura en la longitud y peso para dos copépodos marinos (i.e. *Calanus*

glacialis y *Eurytemora herdmani*) encontrando que la temperatura afecta significativamente la longitud pero no su peso estructural (sin lípidos) o su peso total, y que los factores “alimento” y “temperatura” actúan de manera independiente (Escribano y McLaren, 2015).

Uno de los acercamientos para identificar las causas de la variación tamaño-temperatura es comparar los ciclos de vida y nichos de las especies que son excepciones a la regla tamaño-temperatura con aquellas que siguen esta regla, especialmente aquellas que se encuentran filogenéticamente cercanas. En el caso de *L. cf. sicilis* del lago Atexcac podríamos comparar con *L. garciai* del lago Alchichica, que es una especie cercana tanto filogenética como espacialmente. Sin embargo, *L. cf. sicilis* presenta grandes diferencias tanto en coloración, tamaño, tolerancia a la salinidad, esfuerzo reproductivo y condiciones ecológicas (Ortega-Mayagoitia *et al.* 2017) ya que no posee depredadores en su hábitat, lo cual probablemente le brinda características muy particulares.

4.5 Variables reproductivas

El esfuerzo reproductivo (cantidad de biomasa en cada puesta) es bajo y de poca variación a lo largo del tiempo, alcanzando su máximo valor durante el otoño con un máximo de 2 huevos por puesta. Estos valores son ligeramente más bajos comparados a los obtenidos en condiciones de laboratorio, donde se han observado en promedio 2.3 ± 0.7 huevos por puesta. Es de destacar que en los lagos La Preciosa y El Carmen habitan otras poblaciones de *Leptodiatomus cf. sicilis*, las cuales en condiciones de laboratorio producen en promedio 6.2 ± 2.0 y 11.9 ± 6.6 huevos por puesta, respectivamente (Barrera-Moreno *et al.* 2015).

El tamaño de los huevos de *L. cf. sicilis* de Atexcac varía entre un peso mínimo de 1.45 ug y uno máximo de 2.37 ug, en contraste a los de *L. garciai* (proveniente de Alchichica) que son más pequeños, con un peso mínimo de 0.7 en septiembre y

máximo de 1.2 ug en marzo (Ortega-Mayagoitia *et al.* 2017), pero produciendo hasta 11 huevos por puesta. Por lo tanto, aunque *L. cf. sicilis* presenta un número mucho menor de huevos que *L. garciai*, invierte mayor esfuerzo en la biomasa de cada huevo individual, debido quizás al ambiente oligotrófico y la disponibilidad de alimento del lago.

En otros estudios en los que se comparan copépodos cercanos filogenéticamente se plantea la pregunta de por qué especies aparentemente similares (i.e. *Eudiaptomus gracilis* y *Eudiaptomus graciloides*) exhiben historias de vida marcadamente diferentes (Jiménez-Melero *et al.* 2005; Jiménez-Melero *et al.* 2007), encontrando que a pesar su cercanía filogenética, presentan tolerancias y respuestas a la temperatura ligeramente distintas.

En cuanto a los efectos de la temperatura en la variación de tamaño, número y biomasa del huevo, las correlaciones no fueron significativas por lo que la variación fenotípica en estas variables no puede atribuirse a la plasticidad fenotípica. En contraste, en algunas otras especies de copépodos como *Eudiaptomus gracilis* y *Eudiaptomus graciloides*, se han podido observar cambios en el porcentaje de eclosión de huevos, tamaño y supervivencia a determinadas temperaturas (Zeller *et al.* 2004).

5. CONCLUSION

Se observó variabilidad en la talla del copépodo *Leptodiaptomus cf. sicilis*, sin embargo, esta característica no está directamente influenciada con la temperatura, por lo que a diferencia de lo reportado para otras especies del género *Leptodiaptomus* como *L. garciai*, no presenta plasticidad fenotípica en respuesta a la temperatura.

Dado que el lago Atexcac es oligotrófico, se plantea que la disponibilidad de alimento podría ser la variable modulante del tamaño de las hembras y de sus variables reproductivas.

6. COMPETENCIAS DESARROLLADAS POR EL PASANTE

Se forma un futuro profesional biólogo con conocimientos y habilidades para diseñar y ejecutar un estudio descriptivo de ecología de organismos planctónicos en ambientes lacustres, para posteriormente comunicar sus resultados de forma idónea (escrita y oral, así como la capacidad de relacionar su trabajo con otras áreas de la ecología y la biología evolutiva, con fortaleza en las siguientes competencias:

1. Conocer el uso y cuidado de microscopios invertidos y estereoscópicos de luz fría.
2. Profundizar sus conocimientos en la ecología y diversificación de copépodos lacustres.
3. Aprender a planificar y ejecutar un muestreo limnológico enfocado a la colecta de organismos zooplanctónicos en lagos de distintas profundidades.
4. Cuantificar la riqueza específica y abundancia de organismos zooplanctónicos lacustres en muestras cuantitativas.
5. Calcular la biomasa individual y poblacional de organismos zooplanctónicos.
6. Interpretar datos limnológicos para entender la hidrodinámica de los lagos monomícticos.
7. Aprender a elaborar un reporte técnico de calidad profesional con sus resultados.
8. Refinar sus habilidades de comunicación oral y escrita en el ámbito profesional de la biología.

8. BIBLIOGRAFÍA

ANGILLETTA JR, Michael J.; OUFIERO, Christopher E. y LEACHÉ, Adam D. Direct and indirect effects of environmental temperature on the evolution of reproductive strategies: an information-theoretic approach. *The American Naturalist*, 2006, vol. 168, no 4, p. E123-E135

ANGILLETTA JR, Michael J.; STEURY, Todd D. y SEARS, Michael W. Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: fitting pieces of a life-history puzzle. *Integrative and Comparative Biology*, 2004, vol. 44, no 6, p. 498-509.

ARELLANOS POSADAS, Juan Antonio ; GÓNZALES FLOREZ, Eunice. Dinámica espacio-temporal del picoplanton procarionte y su relación con la variabilidad limnológica del lago volcánico Atexcac, Puebla. Tesis de Licenciatura. Carrera de Biología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México 2011.

ARMIENTA, María Aurora, et al. Water chemistry of lakes related to active and inactive Mexican volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, vol. 178, no 2, p. 249-258.

ATKINSON, David. Temperature and organism size: a biological law for ectotherms?. *Advances in ecological research*, 1994, vol. 25, p. 1-1.

ATKINSON, David. Effects of temperature on the size of aquatic ectotherms: exceptions to the general rule. *Journal of Thermal Biology*, 1995, vol. 20, no 1, p. 61-74.

ATKINSON, David, et al. Offspring size responses to maternal temperature in ectotherms. *Environment and animal development: genes, life histories and plasticity*, 2001, p. 269-285.

BAN, Syuhei. Effect of temperature and food concentration on post-embryonic development, egg production and adult body size of calanoid copepod *Eurytemora affinis*. *Journal of Plankton Research*, 1994, vol. 16, no 6, p. 721-735.

BARRERA MORENO, Omar Alfredo, et al. From local adaptation to ecological speciation in copepod populations from neighboring lakes. *PloS one*, 2015, vol. 10, no 4, p. e0125524.

BERNAL, V.; RAMIRO, Álvaro y ZEA, Sven. Variaciones nictemerales en la comunidad de zooplancton de la Bahía de Santa Marta, Mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 1993, vol. 22, no 1, p. 5-20.

BRETELER WCM, Klein; GONZALEZ, S. R. Influence of temperature and food concentration on body size, weight and lipid content of two calanoid copepod species. *Hydrobiologia*, 1988, vol. 167, no 1, p. 201-210.

CALEY, M. Julian; SCHWARZKOPF, Lin y SHINE, Richard. Does total reproductive effort evolve independently of offspring size?. *Evolution*, 2001, vol. 55, no 6, p. 1245-1248.

CIROS PÉREZ, Jorge; ORTEGA MAYAGOITIA, Elizabeth y ALCOCER, Javier. The role of ecophysiological and behavioral traits in structuring the zooplankton assemblage in a deep, oligotrophic, tropical lake. *Limnology and Oceanography*, 2015, vol. 60, no 6, p. 2158-2172.

CURTIS, Helena ; SCHNECK, Adriana. *BIOLOGIA* 7a edición, Editorial Panamericana, 2007. Capítulo 47. Estructura y dinámica de las poblaciones

DAM, Hans G.; PETERSON, William T. In situ feeding behavior of the copepod *Temora longicornis*: effects of seasonal changes in chlorophyll size fractions and female size. *Marine Ecology Progress Series*, 1991, p. 113-123.

EL MAGHRABY, A. M. The seasonal variations in length of some marine planktonic copepods from the eastern Mediterranean at Alexandria. *Crustaceana*, 1965, vol. 8, no 1, p. 37-47.

ESCRIBANO, Ruben; MCLAREN, Ian A. Influence of food and temperature on lengths and weights of marine copepods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1992, vol. 159, no 1, p. 77-88.

HALL, Linnea S.; KRAUSMAN, Paul R. y MORRISON, Michael L. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin*, 1997, p. 173-182.

HART, R. C.; BYCHEK, E. A. Body size in freshwater planktonic crustaceans: an overview of extrinsic determinants and modifying influences of biotic interactions. *Hydrobiologia*, 2011, vol. 668, no 1, p. 61-108.

HORNE, Curtis R., et al. A global synthesis of seasonal temperature–size responses in copepods. *Global Ecology and Biogeography*, 2016, vol. 25, no 8, p. 988-999.

JAMIESON, C. D. The effects of temperature and food on naupliar development, growth and metamorphosis in three species of *Boeckella* (Copepoda: Calanoida). *Hydrobiologia*, 1986, vol. 139, no 3, p. 277-286.

JIMÉNEZ MELERO, Raquel, et al. Post-embryonic developmental plasticity of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda: Calanoida) at different temperatures. *Journal of Plankton Research*, 2007, vol. 29, no 6, p. 553-567.

JIMÉNEZ MELERO, Raquel; SANTER, Barbara y GUERRERO, Francisco. Embryonic and naupliar development of *Eudiaptomus gracilis* and *Eudiaptomus graciloides* at different temperatures: comments on individual variability. *Journal of plankton research*, 2005, vol. 27, no 11, p. 1175-1187.

LAMPERT, Winfried; SOMMER, Ulrich. *Limnoecology: the ecology of lakes and streams*. Oxford university press, 2007.53: 1689–1699.

MCCAULEY, EDWARD. The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. *A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters*, 1984, p. 228-265.

MCLAREN, Ian A. Effects of temperature on growth of zooplankton, and the adaptive value of vertical migration. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 1963, vol. 20, no 3, p. 685-727.

ORTEGA MAYAGOITIA, Elizabeth; CIROS PÉREZ, Jorge y SÁNCHEZ MARTÍNEZ, Mayeli. A story of famine in the pelagic realm: temporal and spatial patterns of food limitation in rotifers from an oligotrophic tropical lake. *Journal of plankton research*, 2011, vol. 33, no 10, p. 1574-1585.

ORTEGA MAYAGOITIA, Elizabeth.; MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, Osvaldo y CIROS PÉREZ, Jorge. Does thermal plasticity exist in the tropics? Phenotypic plasticity of life-history traits of a calanoid copepod in a tropical lake 2017. *PLOS ONE* (en revisión).

RICCARDI, Nicoletta; MARIOTTO, Luca. Seasonal variations in copepod body length: a comparison between different species in the Lagoon of Venice. *Aquatic Ecology*, 2000, vol. 34, no 3, p. 243-252.

STARR, Cecie ; TAGGART, Ralph .Which factors shape community structure? *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 11th ed. (Belmont: Thomson/Brooks-Cole, 2006), 822.

WEST EBERHARD, Mary Jane. *Developmental plasticity and evolution*. Oxford University Press, 2003.

ZELLER, Martina; JIMÉNEZ-MELERO, Raquel y SANTER, Barbara. Diapause in the calanoid freshwater copepod *Eudiaptomus graciloides*. *Journal of plankton research*, 2004, vol. 26, no 12, p. 1379-1388.