

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE

LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

Informe de conclusión del servicio social por actividades relacionadas a la profesión

Evaluación del impacto de las variables físicas y químicas, así como biológicas en la salud de *Ambystoma mexicanum*, en los refugios chinamperos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

ALUMNA:

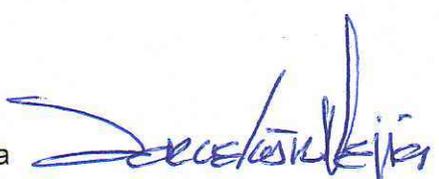
**Alarcón Pineda Kendra**

MATRÍCULA:

2193069959

ASESOR INTERNO:

Dr. Jorge Castro Mejía



Adscripción: Ciencias biológicas y de la salud, Departamento del Hombre y su Ambiente

No. Económico: 13817

ASESOR EXTERNO:

Dr. Luis Zambrano González



Adscripción: Laboratorio de Restauración Ecológica, Departamento de Zoología

Cédula profesional: 3196828

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. Marco Institucional del Instituto de Biología (UNAM): .....   | 3  |
| 1.1 Misión.....  | 3  |
| 1.2 Visión .....   | 3  |
| 2. Justificación.....  | 4  |
| 3. Objetivo General .....  | 5  |
| 3.1 Objetivos Particulares .....   | 5  |
| 4. Aporte a la sociedad .....  | 6  |
| 5. Metodología .....   | 7  |
| 5.1 En campo:.....   | 7  |
| 5.2 En laboratorio:.....   | 8  |
| 5.3 En gabinete: .....   | 8  |
| 6. Resultados .....  | 9  |
| 6.1.1 Parámetros físicos y químicos del refugio chinampero de Crescencio Hernández en San Gregorio Atlapulco. .... | 10 |
| 6.2.1 Morfometrías de los axolotes en el refugio de Crescencio Hernández.....                                      | 13 |
| 6.3.1. Bienestar de los axolotes basados en características físicas en el refugio de Crescencio Hernández.....     | 17 |
| 6.4.1. Zooplancton en el refugio de Crescencio Hernández .....   | 18 |
| 6.1.2 Parámetros físicos y químicos del refugio chinampero de Carlos Sumano en Xochimilco.....                     | 19 |
| 6.2.2. Morfometrías de los axolotes en el refugio de Carlos Sumano.....  | 22 |
| 6.3.2. Bienestar de los axolotes basados en las características físicas en el refugio de Carlos Sumano. ....       | 25 |
| 6.4.2. Zooplancton en el refugio de Carlos Sumano .....  | 27 |
| 7. Aprendizaje y habilidades obtenidas .....   | 28 |
| 8. Cronograma de Actividades .....   | 29 |
| 9. Bibliografía:.....  | 30 |

**Evaluación del impacto de las variables físicas y químicas, así como biológicas en la salud de *Ambystoma mexicanum*, en los refugios chinamperos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.**

### **1. Marco Institucional del Instituto de Biología (UNAM):**

El objetivo principal del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México es desarrollar investigación científica sobre origen, interacciones, distribución, composición actual, aprovechamiento y conservación de la diversidad biológica.

#### **1.1 Misión**

Llevar a cabo el descubrimiento, descripción y documentación sistematizada de la biodiversidad, realizando investigación científica sobre su origen y mantenimiento, composición, distribución e interacciones, y su conservación y aprovechamiento sostenible para el bienestar de la sociedad. De igual forma, albergar las Colecciones Biológicas Nacionales, custodiando, enriqueciendo y estudiando sus acervos, incluyendo sus datos asociados, además de contribuir sustantivamente en la formación de recursos profesionales de alto nivel, y participar en la comunicación pública del conocimiento, con el propósito de contribuir a la comprensión y conservación de la diversidad biológica.

#### **1.2 Visión**

Consolidar al Instituto de Biología como una institución líder y referente a nivel mundial en la investigación sobre la biodiversidad con base en sus competencias y recursos actuales, incorporando y fortaleciendo los componentes analíticos y sintéticos de frontera, y utilizando la biota mesoamericana como modelo para comprender los procesos evolutivos asociados al origen y mantenimiento de la biodiversidad, fomentando su conservación y uso sostenible para el bienestar de la sociedad.

## 2. Justificación

La elección de participar en el proyecto "Chinampa-Refugio" para la realización de mi servicio social se alinea con el objetivo general del plan de estudios de la licenciatura, que busca formar profesionales con una visión crítica y creativa capaces de desarrollar y evaluar estrategias para el manejo de los recursos bióticos, utilizando metodologías de las Ciencias Biológicas. Este proyecto representa un modelo de restauración ecológica enfocado en la recuperación del lago de Xochimilco y la preservación de su biodiversidad endémica, incluyendo al ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*).

El ajolote (*A. mexicanum*), una especie endémica del lago de Xochimilco enfrenta desafíos significativos debido a la contaminación y eutrofización de los canales por aguas residuales, residuos sólidos urbanos y contaminantes de actividades agrícolas e industriales (Chaparro-Herrera *et al.*, 2011). La competencia por recursos alimenticios como el zooplancton se intensifica con la introducción de especies invasoras como la tilapia (*Oreochromis niloticus*), impactando negativamente en las etapas tempranas de desarrollo del ajolote, específicamente porque la mortalidad es alta en esta etapa de vida (Nandini *et al.*, 2013). La categorización del *A. mexicanum* como 'En Peligro de Extinción' (P) en la NOM-059-SEMARNAT-2010 refleja la gravedad de su situación, causada por la introducción de especies exóticas y la extracción no regulada para consumo o uso en remedios tradicionales, lo que aumenta su riesgo de extinción (Zambrano *et al.*, 2006; SEMARNAT, 2018).

El ajolote (*A. mexicanum*) desempeña un papel fundamental en el equilibrio ecológico de los ambientes acuáticos, regulando las poblaciones de invertebrados que participan en la descomposición de materia orgánica y sirviendo como fuente de alimento para consumidores terciarios como aves y roedores (Romero, 2021). Su ciclo de vida, que se desarrolla entre ecosistemas acuáticos y terrestres, lo establece como una especie clave para evaluar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas (Lezama *et al.*, 2021).

Ante las amenazas que enfrenta, el Laboratorio de Restauración Ecológica se involucra activamente en la investigación de la dinámica socio-ecológica para desarrollar estrategias científicas orientadas al manejo y restauración de la especie. Se ha implementado el proyecto Chinampa-Refugio, que promueve la conservación del ajolote (*A. mexicanum*), el charal (*Chirostoma jordani*) y el acocil (*Cambarellus montezumae*), así como la preservación de los sistemas chinamperos tradicionales. La rehabilitación de las chinampas, un método agrícola ancestral, proporciona refugios seguros para estas especies y fomenta la participación comunitaria en el intercambio de conocimientos, incentivando a los chinamperos a ser agentes de cambio positivo. Además, se propone la sustitución de fertilizantes agroindustriales por biofertilizantes y abonos orgánicos locales, mitigando así el impacto negativo de los micro y macronutrientes y el sodio en la productividad de las chinampas (Zambrano *et al.*, 2021).

En el enfoque del modelo chinampa-refugio, se establecen refugios compuestos por apantles rehabilitados o aperturados en los márgenes de las chinampas. Estos apantles están equipados con compuertas al inicio, construidas con mallas plásticas diseñadas para prevenir la entrada de especies invasoras, permitiendo así un flujo controlado de agua. Los biofiltros, integrados por tezontle y vegetación acuática nativa, desempeñan una función biológica esencial al filtrar microorganismos, metales pesados y otras impurezas, mejorando las condiciones físicas y químicas del agua. Esta optimización del hábitat es crucial para la supervivencia de especies endémicas como el *A. mexicanum* (Zambrano, 2021).

### **3. Objetivo General**

Determinar el impacto de las variables físicas y químicas, así como biológicas en la salud de *Ambystoma mexicanum*, en los refugios chinamperos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

#### **3.1 Objetivos Particulares**

1. Evaluar el impacto de las variables físicas y químicas en la salud de *Ambystoma mexicanum*, a través de un monitoreo biológico y visual en los refugios chinamperos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.
2. Determinar la biometría (longitud total, longitud mandibular a cloaca, longitud de branquias medias, cintura pélvica, y peso) de los axolotes en los refugios chinamperos.
3. Evaluar el estado de bienestar del *A. mexicanum* mediante observación directa de la piel, branquias, aleta dorsal y caudal, ojos, cavidad bucal, extremidades y coloración.
4. Determinar la abundancia de zooplancton en los refugios chinamperos.

#### **4. Aporte a la sociedad**

Los anfibios enfrentan actualmente una crisis de extinción sin precedentes. En México, se estima que aproximadamente el 60% de las especies de anfibios son endémicas, lo que constituye una parte significativa de la biodiversidad del país. De estas, 164 especies se encuentran en categorías de amenaza o en peligro crítico, representando el 43% de la diversidad total de anfibios mexicanos. Los factores antropogénicos, como la destrucción del hábitat, la sobreexplotación, la introducción de especies exóticas, el cambio climático acelerado y las enfermedades infecciosas emergentes, son las principales causas de la disminución de sus poblaciones (Parrea-Olea *et al.*, 2014). La preservación de especies endémicas, como el *Ambystoma mexicanum*, es crucial no solo por su rol en el equilibrio ecológico sino también por su potencial en avances biotecnológicos, como en la medicina regenerativa. La investigación y la restauración del lago de Xochimilco facilitarán la implementación de prácticas agroecológicas en las chinampas, reduciendo la dependencia de fertilizantes agroindustriales contaminantes y conservando especies de fauna y flora nativas. Este enfoque promueve un desarrollo sostenible y sustentable, asegurando la preservación de los servicios ecosistémicos vitales.

## 5. Metodología

### 5.1 En campo:

El monitoreo se llevó a cabo en los refugios-chinampas de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco durante los meses de febrero a julio de 2024.

Al descartar cualquier proceso infeccioso o enfermedad de *A. mexicanum* se siguieron criterios descritos en la tabla 1, observando cada organismo de manera detallada.

**Tabla 1.** Criterios basados en características físicas para descartar enfermedades en *Ambystoma mexicanum*.

| Criterios             | Descripción   |
|-----------------------|---|
| Coloración de la piel | La coloración y textura de su piel debe mostrar continuidad y puede ser negra, gris oscura o aperlada, atigrada en tonos verdosos o grises y en ocasiones blanca. No debe haber lesiones, costras, puntos o manchas algodonosas o sangrantes. |
| Extremidades          | Debe tener sus cuatro patas completas, con cuatro dedos en las patas delanteras y cinco dedos en las traseras.  |
| Cola                  | Debe estar completa, bien desarrollada, implantada sobre la línea media hasta la altura de las vértebras cervicales de forma continua y terminar en punta de flecha.  |
| Branquias externas    | Las branquias pueden variar de tamaño, pero deben ser tres ramificaciones bien implantadas de ambos lados de la cabeza, limpias y sin la presencia de manchas algodonosas o costras.  |
| Ojos                  | Deben de verse claramente y sin la presencia de manchas blancas.  |
| Cavidad bucal         | Debe estar visiblemente delineada de manera similar a una sonrisa, sin la presencia de costras o lesiones.  |
| Nado y flotación      | Observar su desplazamiento y posición, la cual no deberá ser boca arriba.   |

*Nota.* Tomado y modificado de Mena-González y Servín-Zamora (2014).

En los refugios-chinampas se recopilaron datos de variables físicas y químicas como la temperatura (°C), sólidos disueltos totales (g/L), conductividad (mS/cm), pH, concentración de oxígeno disuelto (mg/L) y salinidad (PSU) que se midieron con

una sonda multiparamétrica YSI ProQuatro. La profundidad y transparencia se obtuvieron con un disco de Secchi, empleando una cuerda graduada cada diez centímetros.

Para el monitoreo de axolotes en semicautiverio se llevó a cabo morfometrías con una cinta métrica, incluye la medición de la longitud total (LT), la longitud hocico a cloaca (HC), la longitud de branquias medias (LBM), así como el peso de los axolotes. Esto permitió realizar un seguimiento de los cambios relacionados con el aumento o disminución de la talla, causados por factores como el alimento, enfermedades o alteraciones de las condiciones abióticas del refugio.

Por otro lado, la colecta de zooplancton se realizó pasando 35 litros de agua del refugio por un filtro de 50  $\mu\text{m}$ . Posteriormente, la muestra concentrada se diluyó con agua destilada y se depositó en un frasco hasta alcanzar los 40 ml. Se procesaron fijándolas con formol al 4%.

### **5.2 En laboratorio:**

Se realizaron observaciones y conteos de individuos utilizando un microscopio óptico Labtronic modelo BIOS con un objetivo de 10x. Las gotas se analizaron hasta completar cinco mililitros de cada muestra. Finalmente, la identificación del zooplancton a nivel de género se llevó a cabo utilizando los Atlas de microorganismos de Romero (2010) y Streble y Krauter (1987), basándose en las características morfológicas.

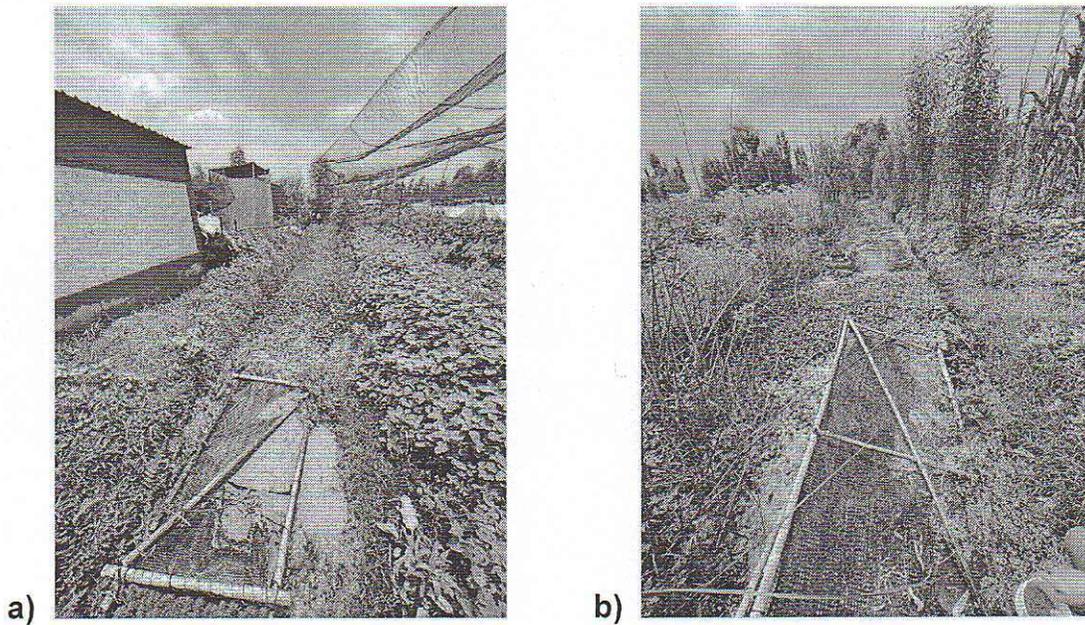
### **5.3 En gabinete:**

Para el análisis de resultados, se determinaron el valor mínimo, promedio y máximo de los parámetros físicos y químicos en los refugios que albergan a los axolotes. Se empleó el software Past 4.05 para generar diagramas de caja y bigotes, con el fin de comparar estos parámetros a lo largo de diferentes temporadas. Las medidas morfométricas se representaron mediante gráficos lineales elaborados en Excel.

Asimismo, la abundancia del zooplancton se determinó y se representó utilizando gráficos de barras también creados en Excel.

## 6. Resultados

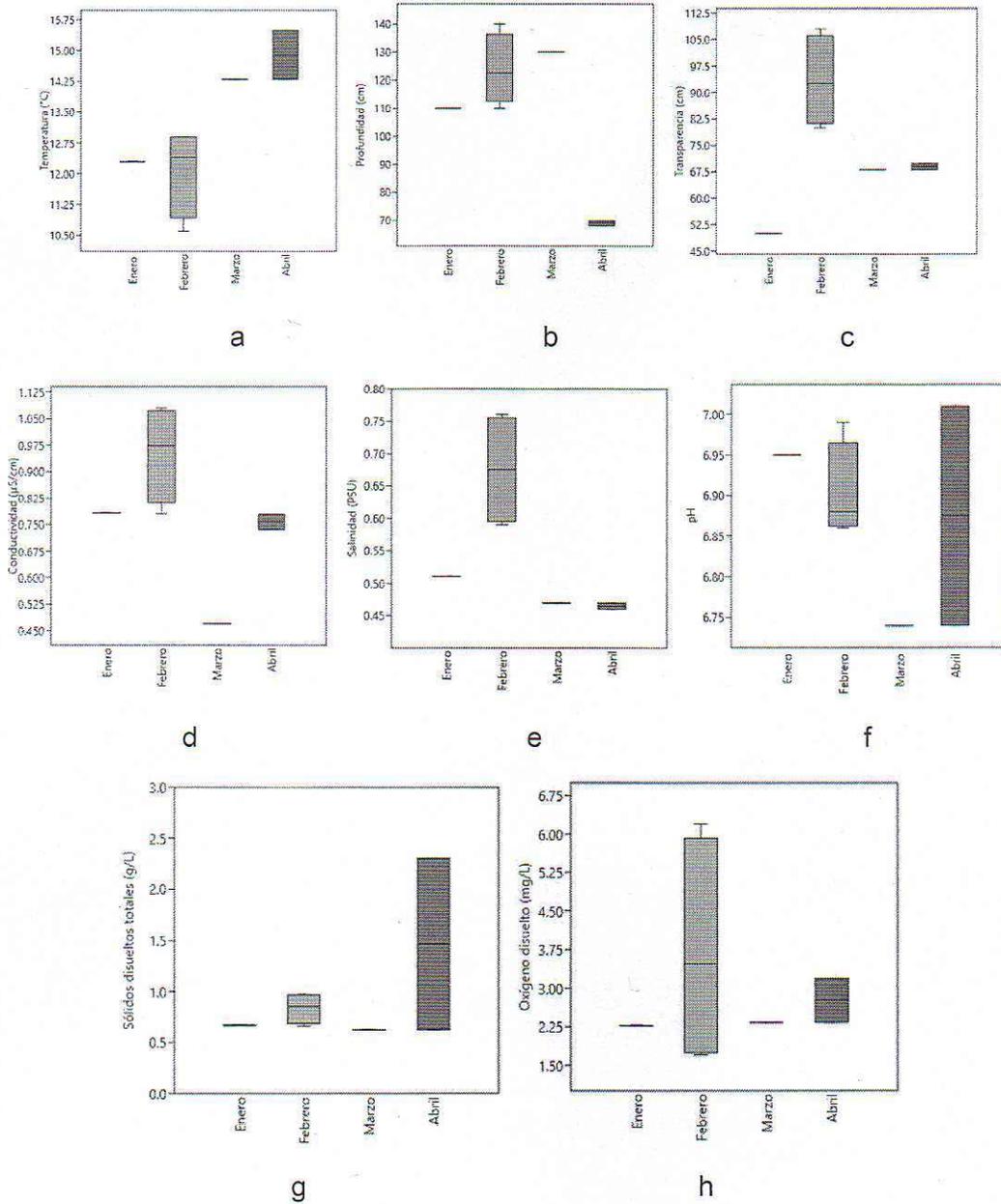
En enero de 2024, se introdujeron dos machos en el refugio chinampero de Crescencio Hernández en San Gregorio Atlapulco, y en mayo del mismo año, dos hembras en el refugio de Carlos Sumano, en Xochimilco (Figura 1). Los refugios fueron seleccionados por cumplir con los parámetros físicos y químicos adecuados para los axolotes, así como por la disponibilidad de alimento, incluyendo materia orgánica, raíces, plantas acuáticas y zooplancton. Tras su introducción en jaulas para semicautiverio, se realizó un monitoreo semanal durante el primer mes. Posteriormente, al no observarse lesiones, enfermedades o pérdida de peso que comprometieran la vida de los organismos, el monitoreo se redujo a una vez al mes.



**Figura 1.** Refugios de Crescencio Hernández en San Gregorio Atlapulco y Carlos Sumano en Xochimilco. **a)** Jaula en el refugio de Crescencio Hernández en Ejidos de San Gregorio Atlapulco. **b)** Jaula en el refugio de Carlos Sumano en la zona chinampera de Xochimilco.

### 6.1.1 Parámetros físicos y químicos del refugio chinampero de Crescencio Hernández en San Gregorio Atlapulco.

En la Fig. 2 se pueden observar los valores promedio de los parámetros físicos y químicos de los cultivos en los refugios chinamperos.



**Figura 2.** Parámetros físicos y químicos en el refugio de Crescencio Hernández.

Nota. Valores mínimos y máximos de los parámetros físicos y químicos en el refugio chinampero de Crescencio Hernández. a) temperatura, b) profundidad, c) transparencia, d) conductividad, e) salinidad, f) pH, g) sólidos disueltos totales y h) oxígeno disuelto.

La temperatura de todos los meses se encontró dentro del rango óptimo (10 °C a 20 °C) para *A. mexicanum*. En enero (12,3 °C), febrero con un promedio (12 °C), valor mínimo (10,6 °C) y valor máximo (12,9 °C), marzo (14,3 °C) y abril con un promedio (14,9 °C), valor mínimo (14,3 °C) y valor máximo (15,5 °C).

La profundidad durante enero (110 cm), febrero (123 cm), valor mínimo (110 cm) y valor máximo (140 cm), marzo (130 cm) se encuentra dentro del rango recomendado para *A. mexicanum*. Sin embargo, en abril se obtuvo un promedio (69 cm), un valor mínimo (68 cm) y un valor máximo (70 cm), y los valores se encuentran dentro del rango óptimo. También se puede observar un descenso en el nivel del agua en comparación con los otros meses. Esto pudo ser ocasionado porque en el refugio se realizó una limpieza en la que se sacó el exceso de plantas acuáticas y sedimento.

La transparencia fue heterogénea en todos los meses: enero (50 cm), marzo (68 cm) y abril (69 cm), con un valor mínimo (68 cm) y un valor máximo (70 cm), febrero (93 cm), con un valor mínimo (80 cm) y un valor máximo (108 cm). La transparencia es un parámetro fluctuante ya que influyen la estacionalidad, la posición del sol, la profundidad del agua y hasta el observador. Las aguas subsuperficiales pueden modificar la columna de agua generando turbulencia y cambiando la estructura vertical del plancton al aportar una mayor cantidad de nutrientes a la zona eufótica, lo cual podría explicar dichas fluctuaciones (González *et al.*, 2006; Escudero, 2022).

La conductividad en los meses: enero (0.783  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), febrero con un promedio (0.952  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), valor mínimo (0.78  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), valor máximo (1.08  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), marzo (0.47  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y abril con un promedio (0.757  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), valor mínimo (0.736  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y valor máximo (0.779  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) tuvieron los valores muy por debajo del rango de tolerancia (500 a 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para *A. mexicanum*. Los axolotes dependen de una concentración de minerales y electrolitos para tener un equilibrio osmótico; por tanto, una conductividad muy baja puede ocasionar un desequilibrio en su metabolismo. Los tejidos como la piel y las branquias pueden irritarse y causarles daño o debilitar el sistema inmunológico, volviéndolos susceptibles a enfermedades o infecciones bacterianas, fúngicas y parasitarias (Farkas y Monaghan, 2015).

La salinidad en enero (0.51 PSU), febrero con un promedio (0.68 PSU), valor mínimo (0.59 PSU) y valor máximo (0.76 PSU), marzo (0.47 PSU) y abril con un promedio (0.47 PSU), valor mínimo (0.46 PSU) y valor máximo (0.47 PSU) todos los valores se encuentran por debajo de 1 PSU, lo cual indica que es óptimo para *A. mexicanum*.

El pH durante los meses es homogéneo: enero (6.95), febrero con un promedio de (6.9) con un valor mínimo (6.86) y un valor máximo (6.99), marzo (6.74) y en abril un promedio (6.8) valor mínimo (6.74) y un valor máximo (7.01). Todos los valores se encuentran dentro del rango de tolerancia (6.5 a 8) (Mena-González y Servín-Zamora, 2014).

Los sólidos disueltos totales (TDS) registrados en enero fueron de 0.672 g/L, con un promedio de 0.835 g/L; un valor mínimo de 0.662 g/L y un máximo de 0.975 g/L. En febrero, los valores mínimos y máximos fueron de 0.662 g/L y 0.975 g/L, respectivamente. En marzo, estos valores fluctuaron entre 0.626 g/L y 0.975 g/L, mientras que en abril se observaron valores de 0.626 g/L como mínimo y 2.303 g/L como máximo. Cabe destacar que todos estos valores superan el rango ideal, especialmente el máximo registrado en abril (2.303 g/L), lo cual podría explicar el letargo observado en los ajolotes del refugio. Este fenómeno fue consecuencia de una limpieza en el refugio destinada a remover el exceso de plantas y sedimentos; sin embargo, no se retiró la jaula que contenía a los ajolotes, lo que provocó una agitación del agua que elevó los niveles de materia orgánica, sedimentos, sólidos, y posiblemente algunos compuestos tóxicos, causando un daño irreparable a los organismos. El refugio está conectado a canales exteriores a través de una barrera de plantas filtradoras. Es posible que la eliminación del exceso de estas plantas haya reducido la capacidad de absorción de amonio ionizado ( $\text{NH}_4^+$ ), permitiendo su acumulación. Se han documentado varios efectos tóxicos asociados a altas concentraciones de amonio ionizado, incluyendo daño al epitelio branquial, disminución en el transporte de oxígeno en la sangre, aumento en los niveles de cortisol, convulsiones, disrupción de la actividad osmorreguladora, supresión del sistema inmunológico, y daño en órganos vitales como el corazón y el cerebro. En

cuanto al comportamiento, se ha observado una reducción en la actividad de búsqueda de alimento, culminando finalmente en la muerte (Rosas, 2023; Zuluaga-González y Martínez-Yáñez, 2017).

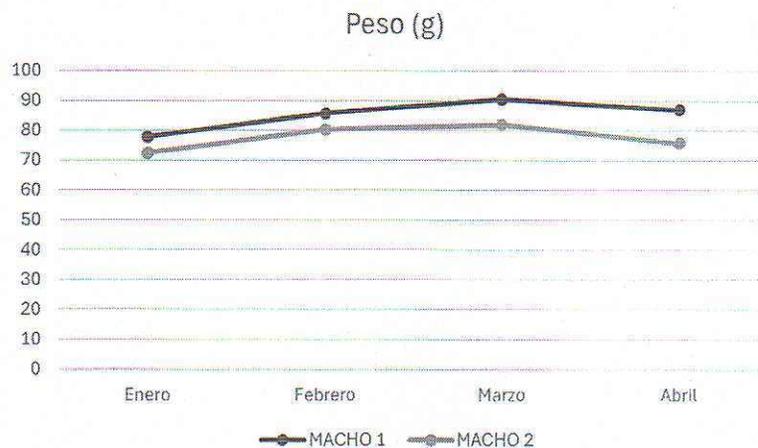
El oxígeno disuelto presentó fluctuaciones a lo largo de los cuatro meses evaluados. En enero, se registró un valor de 2.27 mg/L; en febrero, el promedio fue de 3.71 mg/L, con un valor mínimo de 1.7 mg/L y un máximo de 6.2 mg/L; en marzo, el valor fue de 2.33 mg/L; y en abril, se registró un promedio de 2.76 mg/L, con un valor mínimo de 2.33 mg/L y un máximo de 3.19 mg/L. De todos estos, solo el valor máximo registrado en febrero (6.2 mg/L) se encuentra dentro del rango óptimo para la supervivencia de los organismos acuáticos (5 mg/L – 8 mg/L).

Los niveles bajos de oxígeno disuelto pueden inducir estrés fisiológico en los organismos acuáticos, lo que se manifiesta en un aumento de la frecuencia respiratoria, letargo, y cambios en el comportamiento, como la disminución de la actividad y la capacidad de alimentarse. La hipoxia prolongada puede comprometer la capacidad de los axolotes para llevar a cabo funciones metabólicas esenciales, lo que puede culminar en su muerte. Es probable que la disminución en los niveles de oxígeno disuelto esté relacionada con el aumento en los sólidos disueltos totales, ya que la reducción de plantas acuáticas y bacterias nitrificantes en el refugio pudo haber impedido el proceso de nitrificación, en el cual el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) es oxidado, lo que usualmente consume oxígeno. Además, el exceso de materia orgánica en descomposición podría haber exacerbado este problema, dado que los microorganismos que descomponen la materia orgánica, como las plantas, consumen oxígeno disponible en el agua para llevar a cabo estos procesos (Dodds y Whiles, 2010).

### **6.2.1 Morfometrías de los axolotes en el refugio de Crescencio Hernández**

En la figura 3 se observa un incremento en el peso de enero a febrero tanto en Macho 1 como en Macho 2, seguido de un mayor aumento en marzo. Este

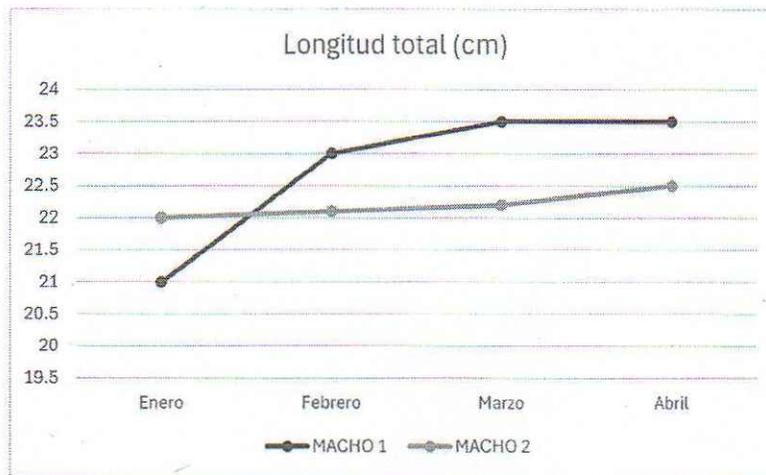
crecimiento se debe a que en la colonia del laboratorio donde se encuentran los axolotes, estos son alimentados cada tres días con charal (*Chirostoma jordanii*) y otros organismos. Al llegar al refugio, el alimento está disponible de forma constante, ya que las mallas de las jaulas tienen una apertura adecuada que permite la entrada de presas como larvas de libélula, larvas de mosquito, ostrácodos, materia orgánica, raíces y zooplancton. Sin embargo, en abril ambos axolotes experimentaron una pérdida de peso, posiblemente debido a la limpieza realizada en el refugio. Esta limpieza perturbó la columna de agua, lo que resultó en la falta de alimento disponible y sometió a los animales a un estado constante de estrés, que eventualmente llevó a su muerte. Según Slight *et al.* (2015), una dieta mal estructurada puede causar enfermedades infecciosas, desnutrición, natación errática e incluso la muerte.



**Figura 3.** Pesos de Macho 1 y Macho 2 en el refugio de Crescencio Hernández.

En la Figura 4 se observa que el macho 1 incremento su longitud total dos centímetros de enero a febrero, esto puede ser debido a la disponibilidad de alimento en el refugio como se ha mencionado anteriormente. El macho 2 incremento su longitud total cinco milímetros para abril. La calidad de agua optima está ligada al crecimiento de *A. mexicanum* ya que promueve su bienestar y desarrollo. El tamaño es variable, pero en promedio tienen una longitud de 20 a 25

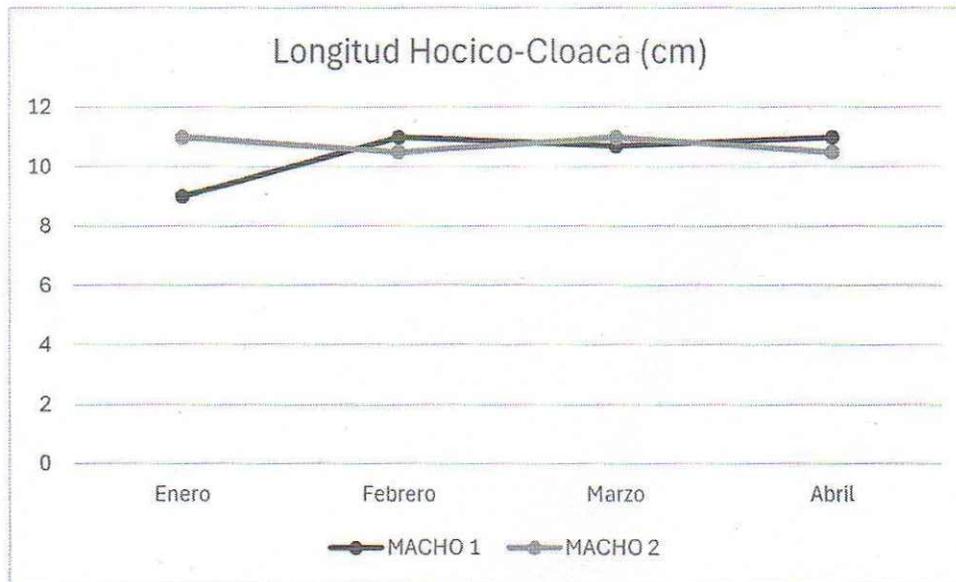
cm, sin embargo, pueden alcanzar los 35 cm de longitud total (Ávila Akerberg *et al.*, 2021).



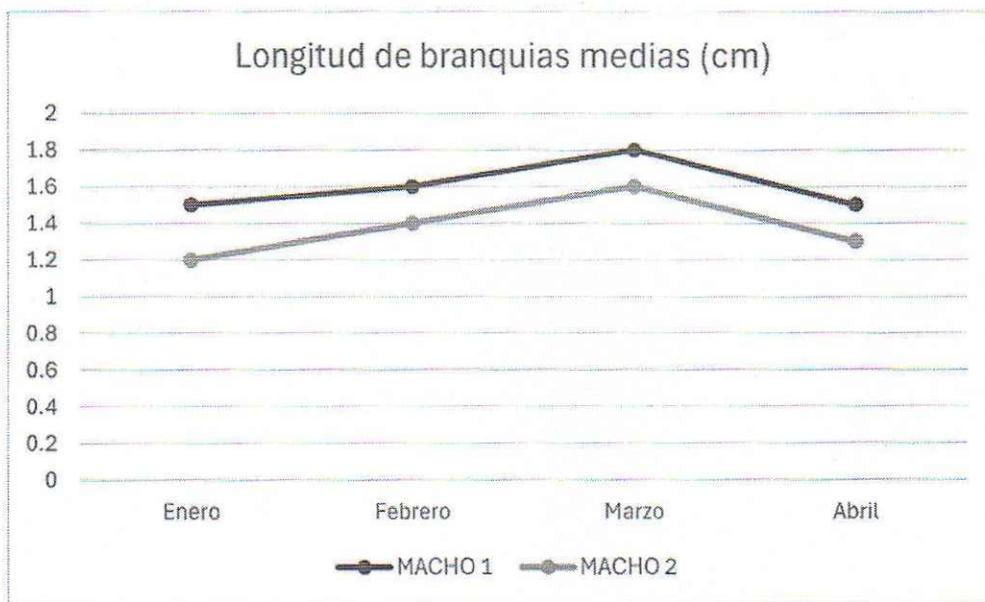
**Figura 4.** Longitud total (LT) de Macho 1 y Macho 2 en el refugio de Crescencio Hernández.

Entre enero y abril de la Figura 5, se observó que el Macho 1 experimentó un aumento en su longitud hocico-cloaca (LHC), pasando de 9 cm a 11 cm. Este crecimiento adecuado sugiere una buena alimentación y una alta calidad del agua en el refugio. Por otro lado, la LHC del Macho 2 fluctuó entre 11 cm y 10.5 cm. Esta variación podría deberse a un error de medición o a posibles problemas de salud del ajolote; sin embargo, no se registraron heridas, enfermedades ni parásitos durante este período. De acuerdo con la SEMARNAT (2018), *A. mexicanum* presenta una longitud hocico-cloaca promedio de  $13.3 \pm 1.25$  cm.

Entre enero y abril de la figura 6, la longitud de las branquias medias del Macho 1 fluctuó, alcanzando 1.8 cm en marzo, mientras que en enero y abril fue de 1.5 cm. De manera similar, en el Macho 2 también se observaron fluctuaciones, con un máximo de 1.6 cm en marzo. Un aumento en la longitud branquial puede ser una respuesta adaptativa a condiciones de bajo oxígeno disuelto en el agua. Los ajolotes tienden a incrementar el tamaño de sus branquias para maximizar la superficie disponible para la absorción de oxígeno, como un mecanismo compensatorio que mejora la eficiencia respiratoria en ambientes donde el oxígeno es limitado (Segev *et al.*, 2021).



**Figura 5.** Longitud hocico-cloaca (LHC) de Macho 1 y Macho 2 en el refugio de Crescencio Hernández.



**Figura 6.** Longitud de branquias medias (LBM) de Macho 1 y Macho 2 en el refugio de Crescencio Hernández.

### 6.3.1. Bienestar de los axolotes basados en características físicas en el refugio de Crescencio Hernández

En enero se introdujeron dos axolotes machos en el refugio-chinampa, ambos en buenas condiciones de salud (Tabla 2).

**Tabla 2.** Bienestar de los axolotes en el refugio de Crescencio Hernández basándose en sus características físicas.

| Mes                       | Criterios basados en características físicas. | MACHO 1   | MACHO 2                     |
|---------------------------|---|---|-----------------------------|
| Enero                     | Piel:   | Sana y lisa   | Sana y lisa                 |
|                           | Coloración:                                   | Negra con costados blancos                                | Negra con costados blancos  |
|                           | Extremidades:                                 | Completas   | Completas                   |
|                           | Aleta dorsal y caudal:                        | Completas   | Completas                   |
|                           | Ojos y orificios nasales:                     | Sanos   | Sanos                       |
|                           | Cavidad bucal:                                | Sana  | Sana                        |
|                           | Estímulos:                                    | Reactivo  | Reactivo                    |
|                           | Febrero                                       | Piel:   | Sana y lisa                 |
| Coloración:               |   | Negra con costados blancos                                | Negra con costados blancos  |
| Extremidades:             |   | Completas   | Completas                   |
| Aleta dorsal y caudal:    |   | Aleta dorsal completa y ápice de aleta caudal incompleto. | Completas                   |
| Ojos y orificios nasales: |   | Sanos   | Sanos                       |
| Cavidad bucal:            |   | Sana  | Sana                        |
| Estímulos:                |   | Reactivo  | Reactivo                    |
| Marzo                     |   | Piel:   | Sana y lisa                 |
|                           | Coloración:                                   | Negra con costados blancos                                | Negra con costados blancos  |
|                           | Extremidades:                                 | Completas   | Completas                   |
|                           | Aleta dorsal y caudal:                        | Aleta dorsal completa y ápice de aleta caudal incompleta  | Completas                   |
|                           | Ojos y orificios nasales:                     | Sanos   | Sanos                       |
|                           | Cavidad bucal:                                | Sana  | Sana                        |
|                           | Estímulos:                                    | Reactivo  | Reactivo                    |
|                           | Abril   | Piel:   | Sana y lisa                 |
| Coloración:               |   | Negra con costados blancos                                | Negra con costados blancos  |
| Extremidades:             |   | Completas   | Completas                   |
| Aleta dorsal y caudal:    |   | Aleta dorsal completa y ápice de aleta caudal incompleta  | Completas                   |
| Ojos y orificios nasales: |   | Sanos   | Sanos                       |
| Cavidad bucal:            |   | Hocico lastimado, estaba cicatrizando                     | Sana                        |
| Estímulos:                |   | No reactivo (muy letárgico)                               | No reactivo (muy letárgico) |

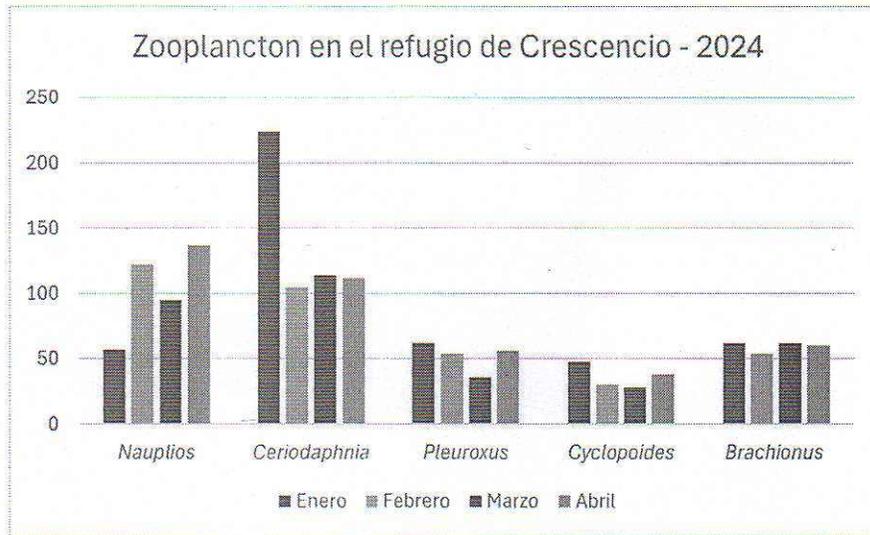
Durante febrero y marzo, se observó que el macho 1 presentaba una lesión en el ápice de la aleta caudal, que estaba incompleta. Esta lesión pudo haber sido causada por la jaula o por la competencia entre los machos, lo que generó heridas que posteriormente cicatrizaron. Sin embargo, en abril, tanto el macho 1 como el macho 2 mostraron signos de letargo y un nado anormal, similar al comportamiento que se observa en organismos sedados. Ambos fueron trasladados de emergencia al laboratorio; no obstante, el macho 1 falleció durante el trayecto, y aunque el macho 2 fue sometido a tratamiento con solución salina y glucosa, murió al día siguiente.

Antes del monitoreo de abril, se realizó una limpieza del refugio debido al exceso de plantas acuáticas, pero la jaula permaneció dentro del agua. Es probable que la agitación de la columna de agua durante la limpieza haya aumentado los sólidos disueltos totales y reducido los niveles de oxígeno disuelto, como se explicó anteriormente, lo que provocó hipoxia en los axolotes y, finalmente, su muerte.

#### **6.4.1. Zooplancton en el refugio de Crescencio Hernández**

En la Figura 7 se presentan los cuatro géneros y dos grupos de zooplancton identificados durante la temporada de seca: Nauplios, *Ceriodaphnia*, *Pleuroxus*, Cyclopoides y *Brachionus*. El género más abundante en todos los meses fue *Ceriodaphnia* sp., un crustáceo que está adaptado para tolerar bajas concentraciones de oxígeno y amplias variaciones de temperatura, lo que le permite distribuirse ampliamente y estar presente en una gran variedad de cuerpos de agua dulce (Villalobos y González, 2006). Los Cyclopoides fueron consistentemente menos abundantes en todos los meses. En muchos canales de Xochimilco, el zooplancton está dominado por rotíferos; sin embargo, Flores-Burgos *et al.* (2003) y Cruz-Escalante *et al.* (2015) han reportado una baja diversidad de copépodos y cladóceros, y la información disponible sobre estos grupos en vida libre es limitada. El zooplancton depende en gran medida de las variaciones estacionales, las cuales promueven una elevada riqueza y abundancia de especies. A medida que cambian las condiciones abióticas, como la temperatura, el fotoperiodo y el pH, aparecen

especies que son tolerantes a ciertos rangos de estas condiciones, mientras que otras pueden entrar en letargo o mantener una baja densidad poblacional (Nandini, Ramírez-García y Sarma, 2005).



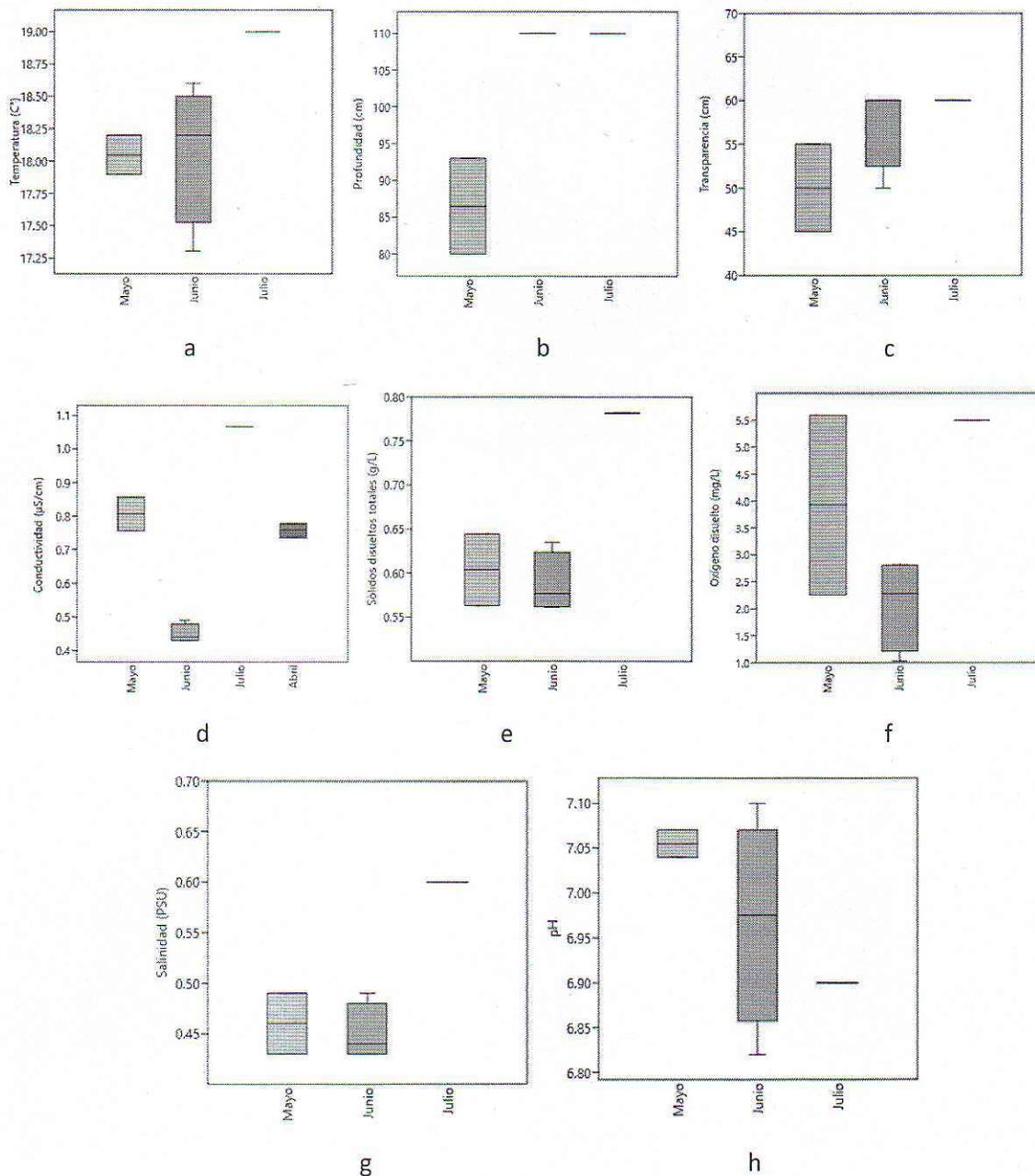
**Figura 7.** Abundancia de zooplancton en el refugio chinampero de Crescencio Hernández 2024.

### 6.1.2 Parámetros físicos y químicos del refugio chinampero de Carlos Sumano en Xochimilco.

Durante los tres meses evaluados, la temperatura mostró fluctuaciones: junio presentó el valor mínimo más bajo (17.3 °C), mientras que julio registró el valor máximo (19 °C). El promedio de temperatura en junio fue de 18.1 °C. Todos los valores se encuentran dentro del rango óptimo para *A. mexicanum* (10 °C a 20 °C) (Figura 8).

En cuanto a la profundidad en los refugios, esta puede variar, siempre y cuando se mantenga dentro del rango de 100 cm a 200 cm como máximo. Es crucial mantener una profundidad adecuada, ya que esta influye directamente en la estratificación térmica del agua. Durante el verano, si la temperatura aumenta, *A. mexicanum* tiende a desplazarse verticalmente en la columna de agua para mantener una estabilidad térmica (Alcaraz *et al.*, 2015). En junio y julio, la profundidad se mantuvo estable en 110 cm, con un incremento en el nivel del agua debido a la temporada

de lluvias. Mayo registró el valor mínimo más bajo de profundidad (80 cm), aunque la mayoría de los valores se encuentran dentro del rango tolerable para esta especie.



**Figura 8.** Parámetros físicos y químicos en el refugio chinampero de Carlos Sumano. Valores mínimos y máximos de los parámetros físicos y químicos en el refugio chinampero de Carlos Sumano. a) temperatura, b) profundidad, c) transparencia, d) conductividad, e) salinidad, f) pH, g) sólidos disueltos totales y h) oxígeno disuelto.

En cuanto a la transparencia, no se ha definido un valor ideal específico para *A. mexicanum*; sin embargo, se recomienda una visibilidad mínima de al menos 30 cm. Durante el mes de mayo, se registró el valor mínimo más bajo (45 cm), mientras que en junio el promedio fue de 57.5 cm y en julio el valor máximo alcanzó 60 cm. Todos estos valores se encuentran dentro de las recomendaciones generales. No obstante, una baja disponibilidad de luz puede deberse a la presencia de sólidos disueltos, lo que también podría afectar la visibilidad del axolote para cazar su alimento (Aragón, 2014; Utne-Palm, 2002).

La conductividad debe oscilar entre 500 y 1,500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Khattak y Tanaka, 2015; Farkas y Monaghan, 2015). Los valores obtenidos durante los tres meses presentan una variabilidad: en mayo, la conductividad osciló entre 0.756  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (mín.) y 0.856  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (máx.), mientras que en julio se registró un valor de 1.066  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ambos dentro del rango ideal. Sin embargo, en junio, con un promedio de 0.45  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se observaron los valores más bajos. Una baja conductividad puede estar asociada con una baja salinidad, dado que ambos parámetros están relacionados con la cantidad de iones disueltos en el agua. Para *A. mexicanum*, una conductividad baja puede indicar una deficiencia en las sales minerales esenciales necesarias para su metabolismo y osmorregulación (Chaparro-Herrera, 2013).

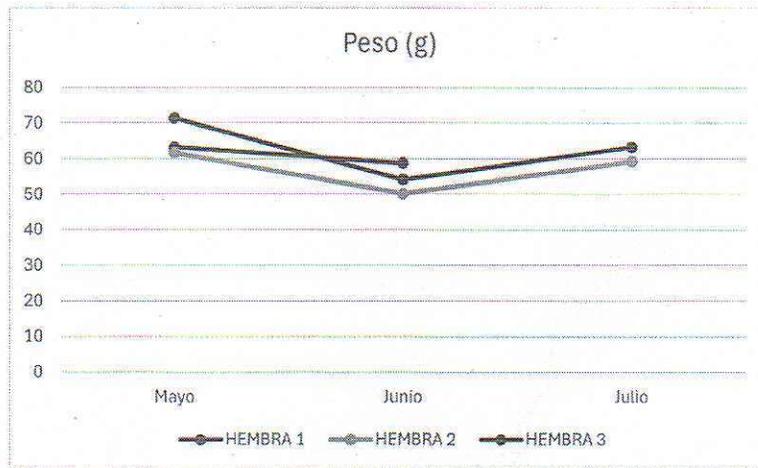
Los valores máximos de oxígeno disuelto en mayo (5.6 mg/L) y en julio (5.5 mg/L) se encontraron dentro del rango óptimo para *A. mexicanum* (5 mg/L – 8 mg/L). Sin embargo, en junio, el promedio de oxígeno disuelto fue de 2.1 mg/L, lo que se encuentra por debajo del rango adecuado. Este nivel insuficiente de oxígeno puede afectar negativamente el bienestar de los organismos, ya que puede inducir estrés respiratorio y metabólico, e incluso, en casos de exposición prolongada, puede provocar la muerte (Servín, 2011). En cuanto a la salinidad, en mayo el promedio fue de 0.46 PSU; en junio, el promedio fue de 0.45 PSU, con un valor mínimo de 0.43 PSU y un valor máximo de 0.49 PSU; y en julio, el promedio fue de 0.6 PSU. Todos estos valores se encuentran dentro del rango óptimo, ya que, tratándose de agua dulce, la salinidad no debe exceder 1 PSU.

El pH promedio en mayo fue de 7.05, en junio de 6.97, con un valor mínimo de 6.82 y un valor máximo de 6.98, y en julio fue de 6.9. Todos estos valores están dentro del rango de tolerancia de *A. mexicanum* (6.5 a 8) (Mena-González y Servín-Zamora, 2014). Un pH ácido o alcalino puede causar estrés fisiológico y afectar la capacidad de homeostasis de los organismos (Zambrano *et al.*, 2010).

Para los sólidos disueltos totales, no se ha especificado un rango adecuado para *A. mexicanum*. Sin embargo, se recomienda mantener los niveles por debajo de 0.5 g/L para evitar problemas de salud. En mayo, el promedio fue de 0.603 g/L, superando el valor recomendado. En junio, el promedio fue de 0.587 g/L, con un valor mínimo de 0.561 g/L y un valor máximo de 0.635 g/L, todos fuera del rango óptimo. En julio, el promedio fue de 0.782 g/L, el valor más alto registrado. Estos incrementos pueden atribuirse al aumento en el nivel del agua del refugio debido a la temporada de lluvias, lo que provoca que el sedimento y la materia orgánica se mezclen en la columna de agua, coincidiendo con el mayor valor de profundidad registrado (110 cm). Además, las concentraciones elevadas de sólidos disueltos afectan el equilibrio hídrico de las células de los organismos acuáticos, ya que el agua sale de sus células, causando una posible deshidratación (USEPA, 2024).

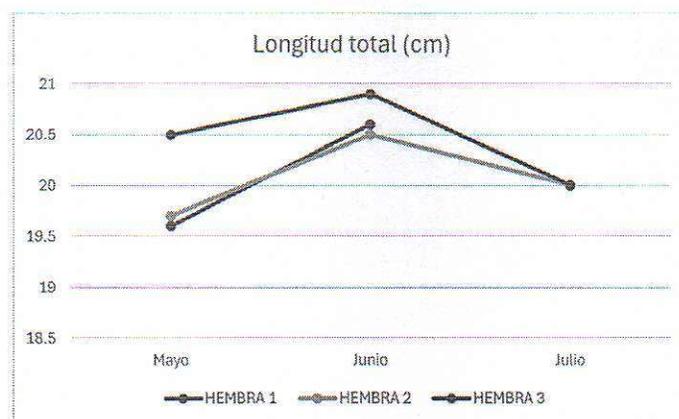
### **6.2.2. Morfometrías de los axolotes en el refugio de Carlos Sumano.**

La Hembra 1 experimentó una pérdida de peso entre mayo y junio, como se observa en la Figura 9, mientras que las Hembras 2 y 3 perdieron peso desde mayo hasta julio. Es probable que estas pérdidas de peso se deban al estrés ocasionado por los ataques de serpientes, ya que en el interior de la jaula no existen lugares adecuados para refugiarse o protegerse. Este estrés prolongado no solo contribuyó a la pérdida de peso, sino que también resultó en fracturas mandibulares en los individuos afectados.



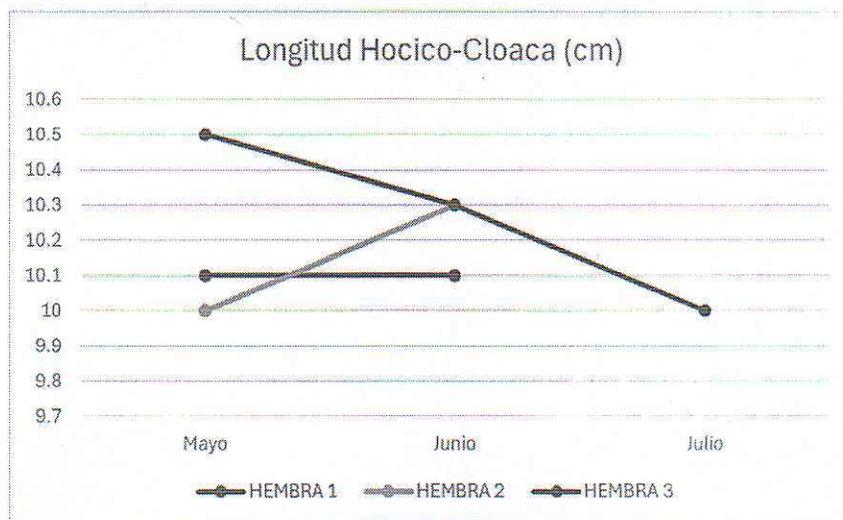
**Figura 9.** Pesos de los axolotes Hembra 1, Hembra 2 y Hembra 3 en el refugio de Carlos Sumano.

La Figura 10 muestra la variación en la longitud total (LT) de tres hembras de *A. mexicanum* durante un periodo de tres meses en 2024. La Hembra 1 experimentó un incremento en su longitud total, pasando de 19.6 cm en mayo a 20.6 cm en junio, lo que representa un aumento de 1 cm en su LT. La Hembra 2 aumentó su longitud de 19.7 cm en mayo a 20.5 cm en junio; sin embargo, en julio se observó una disminución a 20 cm. La Hembra 3 mostró un aumento en su talla de 20.5 cm en mayo a 20.9 cm en junio, pero en julio su longitud se redujo a 20 cm. La reducción en la longitud total observada en las Hembras 2 y 3 durante el mes de julio podría estar relacionada con el estrés causado por los ataques de serpientes, lo que provocó una disminución en su crecimiento.



**Figura 10.** Longitud total (LT) de los axolotes Hembra 1, Hembra 2 y Hembra 3 en el refugio de Carlos Sumano.

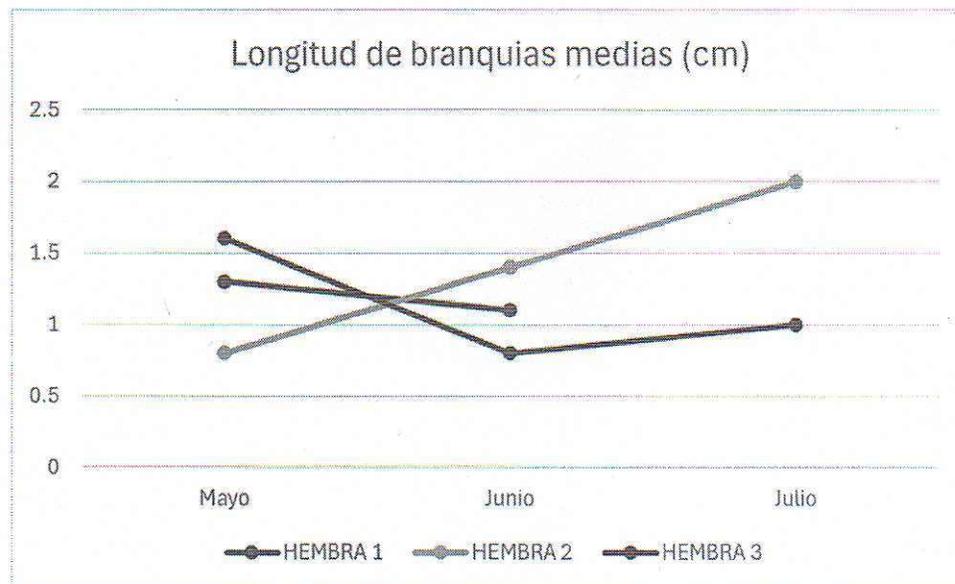
La Figura 11 muestra la variación en la longitud hocico-cloaca (LHC) de la Hembra 1, la cual se mantuvo constante en 10.1 cm durante los meses de mayo a junio. La Hembra 2 experimentó un aumento de LHC, pasando de 10.0 cm en mayo a 10.3 cm en junio; sin embargo, en julio su longitud disminuyó nuevamente a 10.0 cm. La Hembra 3 mostró una reducción progresiva en su LHC, de 10.5 cm en mayo a 10.3 cm en junio, y finalmente a 10.0 cm en julio. Estas disminuciones en LHC podrían estar asociadas con el estrés provocado por los ataques de serpientes, dado que la Hembra 1 en junio, y las Hembras 2 y 3 en julio, presentaron fracturas mandibulares. Estas lesiones limitaron su capacidad para capturar alimento de manera eficiente, lo que se reflejó en una reducción general en las medidas morfométricas de las hembras afectadas.



**Figura 11.** Longitud hocico-cloacal (LHC) de los axolotes Hembra 1, Hembra 2 y Hembra 3 en el refugio de Carlos Sumano.

En la Figura 12, la Hembra 1 comenzó en mayo con una longitud de branquias medias (LBM) de 1.3 cm, disminuyendo a 1.1 cm en junio. La Hembra 2 mostró un aumento progresivo en su LBM, pasando de 0.8 cm en mayo a 1.4 cm en junio, y alcanzando 2.0 cm en julio. Por otro lado, la Hembra 3 registró una LBM de 1.6 cm en mayo, seguida de una disminución a 0.8 cm en junio, y finalmente 1.0 cm en julio. Estas variaciones en la LBM están asociadas con los niveles de oxígeno disuelto en el agua. Un ambiente con bajos niveles de oxígeno disuelto puede inducir un

aumento en la longitud de las branquias, lo que permite una mayor superficie de contacto con el agua y facilita la absorción de oxígeno necesario para la respiración. Este crecimiento es un mecanismo compensatorio que mejora la eficiencia respiratoria en condiciones de hipoxia (Linder *et al.*, 2010).



**Figura 12.** Longitud de branquias medias (LBM) de los axolotes Hembra 1, Hembra 2 y Hembra 3 en el refugio de Carlos Sumano.

### 6.3.2. Bienestar de los axolotes basados en las características físicas en el refugio de Carlos Sumano.

En mayo se introdujeron tres axolotes hembras en el refugio de Carlos Sumano (Tabla 3). La hembra 3 presentó una mancha blanca en las branquias, y la hembra 2 mostró el mismo síntoma en junio. Estas manchas pueden indicar la presencia de *Saprolegnia* spp., una de las enfermedades micóticas más comunes en ambientes acuáticos. Esta enfermedad se caracteriza por el crecimiento algodonoso sobre la piel y las branquias, y puede provocar letargia, anorexia, estrés respiratorio, pérdida de peso e incluso la muerte (Mena-González y Servín-Zamora, 2014).

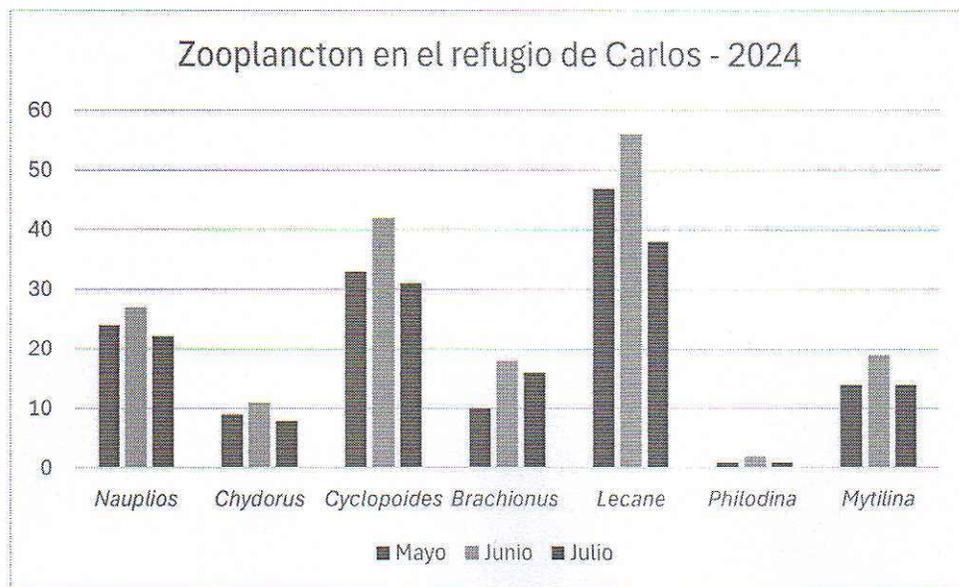
**Tabla 3.** Bienestar de los axolotes en el refugio de Carlos Sumano basándose en sus características físicas.

| Mes                       | Criterios basados en características físicas. | HEMBRA 1                             | HEMBRA 2                         | HEMBRA 3                              |
|---------------------------|---|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Mayo                      | Piel:   | Sana y lisa                          | Sana y lisa                      | Sana y lisa                           |
|                           | Coloración:                                   | Negra                                | Negra                            | Negra                                 |
|                           | Extremidades:                                 | Completas                            | Completas                        | Branquia izquierda con mancha blanca. |
|                           | Aleta dorsal y caudal:                        | Completas                            | Completas                        | Completas                             |
|                           | Ojos y orificios nasales:                     | Sanos                                | Sanos                            | Sanos                                 |
|                           | Cavidad bucal:                                | Sana                                 | Sana                             | Sana                                  |
|                           | Estímulos:                                    | Reactiva                             | Reactiva                         | Reactiva                              |
|                           | Junio   | Piel:                                | Sana y lisa                      | Sana y lisa                           |
| Coloración:               |   | Negra                                | Negra                            | Negra                                 |
| Extremidades:             |   | Completas                            | Branquias con coloración blanca. | Completas                             |
| Aleta dorsal y caudal:    |   | Ápice incompleto de la aleta dorsal. | Aleta caudal lastimada           | Completas                             |
| Ojos y orificios nasales: |   | Sanos                                | Sanos                            | Sanos                                 |
| Cavidad bucal:            |   | Mandíbula fracturada                 | Labio inferior irritado          | Hocico lastimado                      |
| Estímulos:                |   | Reactiva                             | Reactiva                         | Reactiva                              |
| Julio                     |   | Piel:                                | No aplica                        | Sana y lisa                           |
|                           | Coloración:                                   | No aplica                            | Negra                            | Negra                                 |
|                           | Extremidades:                                 | No aplica                            | Completas                        | Completas                             |
|                           | Aleta dorsal y caudal:                        | No aplica                            | Aleta caudal en regeneración     | Completas                             |
|                           | Ojos y orificios nasales:                     | No aplica                            | Sanos                            | Sanos                                 |
|                           | Cavidad bucal:                                | No aplica                            | Mandíbula fracturada             | Mandíbula fracturada                  |
|                           | Estímulos:                                    | No aplica                            | Reactiva                         | Reactiva                              |

En junio, se observó que la hembra 1 tenía el ápice incompleto de la aleta caudal y presentaba una fractura en la mandíbula. En julio, las hembras 2 y 3 también mostraron fracturas en la mandíbula. Las hembras afectadas fueron trasladadas de inmediato a la colonia del laboratorio para recibir el cuidado necesario. Durante este período, se observó la presencia de culebras *Thamnophis eques* en los refugios y jaulas, lo que probablemente causó las heridas encontradas en los axolotes. La dieta de *T. eques* es generalista y abarca una variedad de presas, incluyendo salamandras, peces, ranas y sanguijuelas, tanto en agua como en tierra (Macías-García y Drummond, 1988).

#### 6.4.2. Zooplancton en el refugio de Carlos Sumano

En la figura 13 se representan los cuatro género y dos grupos de zooplancton encontrados: *Lecane* sp., *Cyclopoides* sp., Nauplios sp., *Mytilina* sp., *Brachionus* sp., *Chydorus* sp. y *Philodina* sp. El género más abundante de rotíferos durante todos los meses fue *Lecane* sp. Los *Cyclopoides* sp. también mostraron abundancia en todos los meses. Los géneros menos abundantes fueron el cladóceros *Chydorus* sp. y el rotífero *Philodina* sp. Según estudios realizados por Chaparro-Herrera *et al.* (2011), los géneros más comunes de rotíferos en los canales de Xochimilco son *Brachionus*, *Keratella*, *Polyarthra*, *Trichocerca*, *Filinia* y *Asplachna*. De manera similar, los microcrustáceos más comunes son *Alona glabra*, *Ceriodaphnia dubia*, *Macrothrix triserialis*, *Simocephalus vetulus* y *Moina macrocopa*.



**Figura 13.** Abundancia de zooplancton en el refugio de Carlos Sumano.

Las poblaciones de zooplancton son el principal alimento para las larvas de *Ambystoma mexicanum* en sus primeras semanas de vida. Sin embargo, estas poblaciones se han visto afectadas por la introducción del pez exótico *Oreochromis niloticus*, que depreda a los rotíferos y tiene preferencia por el zooplancton de mayor tamaño, como los cladóceros (Chaparro-Herrera, Nandini y Sarma, 2013). En los

refugios se ha implementado un biofiltro que impide la entrada de *Cyprinus carpio* y *O. niloticus*, al tiempo que reduce los contaminantes y mejora la calidad del agua. Dado que los axolotes en semicautiverio son adultos y requieren otras fuentes de alimento además del zooplancton, es necesario seguir estudiando la diversidad y abundancia de zooplancton en los refugios chinamperos para facilitar la futura reproducción de *A. mexicanum* en estos entornos.

### **7. Aprendizaje y habilidades obtenidas**

Durante mi servicio social en el Laboratorio de Restauración Ecológica, reforcé mis conocimientos adquiridos en el módulo "Historias de Vida" mediante el monitoreo de anfibios, específicamente el axolote (*Ambystoma mexicanum*). Este proceso implicó la manipulación y obtención de medidas morfométricas, alineándose con el objetivo de emplear métodos de monitoreo para comprender los ciclos de vida de los organismos.

Además, al evaluar la salud de los axolotes para detectar posibles enfermedades o parásitos, apliqué las técnicas aprendidas en el módulo "Plagas y Enfermedades de Recursos Naturales", empleando métodos para evaluar el daño en los organismos. La identificación y determinación de la abundancia de zooplancton, así como el muestreo para evaluar la calidad del agua, reforzaron el conocimiento adquirido en el módulo "Análisis de Comunidades y Producción Secundaria". Estos procedimientos implicaron la aplicación de técnicas para medir y analizar comunidades, comprender sus interacciones con otros niveles tróficos y determinar los rangos óptimos de parámetros físicos y químicos necesarios para la supervivencia de los organismos.

Asimismo, en el módulo "Análisis y Planeación Ambiental" se integraron conceptos relacionados con las comunidades humanas locales. En particular, los chinamperos, que participan en el intercambio de conocimientos y en la conservación del ecosistema chinampero, buscan recuperar y restaurar su entorno para preservar sus tradiciones sustentables y agroecológicas.

| <b>8. Cronograma de Actividades</b>                          |  | <b>2024</b>      |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Objetivos</b>   | <b>Actividades para realizar</b>   | <b>MES<br/>1</b> | <b>MES<br/>2</b> | <b>MES<br/>3</b> | <b>MES<br/>4</b> | <b>MES<br/>5</b> | <b>MES<br/>6</b> |
| Elaboración de informe para el registro del servicio social. | Establecer los objetivos particulares y describir la metodología de las actividades a realizar.  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Monitoreo de los parámetros físicos y químicos.              | Organización y limpieza del material y equipo para realizar el monitoreo en campo.   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Monitoreo de los axolotes (semicautiverio).                  | Observación directa del estado de salud de los axolotes, tomar sus medidas morfométricas y describir alteraciones o contaminantes de los refugios.   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Identificación y conteo de zooplancton.                      | Preservar las muestras, realizar la identificación a nivel género con un microscopio y guías taxonómicas.  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| Análisis de resultados y entrega de informe final.           | Elaborar diagramas de cajas y bigotes para comparar las variables físicas y químicas en cada mes. Elaborar gráficas de la abundancia de zooplancton. |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

## 9. Bibliografía:

- Alcaraz, G., López-Portela, X., y Robles-Mendoza, C. (2015). Response of a native endangered axolotl, *Ambystoma mexicanum* (Amphibia), to exotic fish predator. *Hydrobiologia*, 753(1), 73–80. doi: 10.1007/s10750-015-2194-4
- Aragón, J. (2014). Transparencia y colores de las aguas de la hulla blanca a las autopistas azules. *Boletín especial del Día Mundial del Agua*, 6.
- Ávila-Akerberg, D., González-Martínez, M., González-Hernández, A. y Vázquez-Trejo, M. (2021). El género *Ambystoma* en México: ¿Qué son los ajolotes? *CIENCIA ergo-sum*, 28(2). doi: 10.30878/ces.v28n2a10
- Chaparro-Herrera, D. de J., Nandini, S., y Sarma, S. (2013). Effect of water quality on the feeding ecology of axolotl *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Limnology*, 72(3), 555- 563. doi: 10.4081/jlimnol.2013.e46
- Chaparro-Herrera, D., Nandini, S., Sarma, S., y Zambrano, L. (2011). Feeding behaviour of larval *Ambystoma mexicanum*. *Amphibia-Reptilia*, 32(4), 509-517. doi: 10.1163/156853811X610348
- Contreras, V., Martínez-Meyer, E., Valiente, E., y Zambrano, L. (2009). Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation*, 142(12), 2881–2885. doi: 10.1016/j.biocon.2009.07.008
- Cruz-Escalante, L. (2015). Respuesta funcional y preferencia alimentaria del copépodo *Microcyclops rubellus* bajo diferentes tipos y densidades de presas. *Tendencias de Investigación en limnología tropical*, 307.
- Dodds, K. y Whiles, R. (2010). *Freshwater ecology: concepts and environmental applications of limnology*. Academic Press, Elsevier. 2 ed. 1-840.
- Escudero, G. (2022). Distribución espacial del estado trófico de los canales de San Gregorio Atlapulco-Xochimilco, CDMX. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza [Tesis de licenciatura].

- Farkas, E. y Monaghan, R. (2015). Housing and Maintenance of *Ambystoma mexicanum*, the Mexican Axolotl. In: Kumar, A., Simon, A. (eds) *Salamanders in Regeneration Research: Methods in Molecular Biology*, 1290. Humana Press, New York, NY.
- Flores-Burgos, J., Sarma, S. y Nandini, S. (2003). Estudio preliminar sobre la fauna de rotíferos de Xochimilco (México). *El agua de cuenca de México. Sus problemas históricos y perspectivas de solución, Parque ecológico de Xochimilco, Universidad Autónoma Metropolitana, México City, México*. 1, 163-171.
- González, F., Zoppi, E. y Montiel, E. (2006). Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Invest. Mar.* 34(2), 37-45. doi: 10.4067/S0717-71782006000200004
- González-Carmona, E., y Torres-Valladares, C. I. (2014). La sustentabilidad agrícola de las chinampas en el Valle de México: caso Xochimilco. *Revista Mexicana de agronegocios*, 34(2014).
- Khattak, S., y Tanaka, M. (2015). Transgenesis in axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Salamanders in Regeneration Research: Methods and Protocols*, 269-277.
- Lezama, C., Bautista, R., Hernández, M., y Aguilar, O. (2021). *Ambystoma*, un fascinante género de anfibios en México. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, (120), 5-18.
- Linder, G., Palmer, B. D., Little, E. E., Rowe, C. L., y Henry, P. (2010). Physiological ecology of amphibians and reptiles. *Ecotoxicology of amphibians and reptiles. CRC Press, Pensacola*, 105-166.
- Macías-García, C. y Drummond, H. (1988). Seasonal and ontogenetic variation in the diet of the Mexican garter snake, *Thamnophis eques*, in Lake Tecocomulco, Hidalgo. *Journal of Herpetology*. 22(2), 129-134. doi: 10.2307/1563991

- Mena-González, H., y Servín-Zamora, E. (2014). Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). *Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología*, 28-32.
- Nandini, S., Chaparro-Herrera, D. y Sarma, S. (2013). Effect of water quality on the feeding ecology of axolotl *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Limnology*, 72(3), 555-560. doi: 10.4081/jlimnol.2013.e46
- Nandini, S., Ramírez-García, P., y Sarma, S. (2005). Seasonal Variations in the Species Diversity of Planktonic Rotifers in Lake Xochimilco, Mexico. *Journal of Freshwater Ecology*, 20(2), 287–294. doi: 10.1080/02705060.2005.9664968
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial*, 10 de julio de 2010.
- Parra-Olea, G., Flores-Villela, O., y Mendoza-Almeralla, C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 460–466. doi: 10.7550/rmb.32027
- Romero A. L. (2021). Ajolotes, especies endémicas mexicanas en peligro de extinción. *Biología y Sociedad*, 4(7), 10-19.
- Romero, M. B. (2010). Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Rosas, F. J. (2023). Toxicidad de compuestos nitrogenados (amonio, nitrito y nitrato) en el desarrollo embrionario de anfibios anuros y urodelos: estudio de casa del *Ambystoma mexicanum* de la Zona Lacustre de Xochimilco. Una revisión bibliográfica [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Sánchez, M. (2020). Impacto de la especie invasora *Oreochromis niloticus* sobre la red trófica del lago de Xochimilco influenciando el comportamiento alimentario del anfibio endémico *Ambystoma mexicanum* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2018). Programa de acción para la conservación de las especies *Ambystoma* spp. SEMARNAT Y CONANP. 38-39.
- Segev, O., Pezaro, N., Rovelli, V., Rybak, O., Templeton, R., y Blaustein, L. (2019). Phenotypic plasticity and local adaptations to dissolved oxygen in larvae fire salamander (*Salamandra infraimmaculata*). *Oecologia*, 190, 737-746. doi: 10.1007/s00442-019-04446-5
- SEMARNAT (2018). Programa de acción para la conservación de las especies: *Ambystoma* spp. SEMARNAT/CONANP, México, 1-70.
- Servín, Z. E. (2011). "Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) en el Zoológico de Chapultepec", México [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Slight, J., Nichols, J., y Arbuckle, K. (2015). Are mixed diets beneficial for the welfare of captive axolotls (*Ambystoma mexicanum*). Effects of feeding regimes on growth and behavior. *Journal of Veterinary Behavior*, 10(2), 185-190. doi: 10.1016/j.jveb.2014.09.004
- Streble, H. y Krauter, D. (1987). *Atlas de los Microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua: libro de clasificación con 1700 ilustraciones*, Omega.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2024). 5.8 Total Solids | Monitoring & Assessment | US EPA. Epa.gov.
- Utne-Palm, A. C. (2002). Visual feeding of fish in a turbid environment: Physical and behavioural aspects. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 35(1-2), 111–128. doi: 10.1080/10236240290025644

- Villalobos, J. y González, J. (2006). Estudios sobre la biología y ecología de *Ceriodaphnia cornuta* SARS: UNA REVISIÓN. *Interciencia*, 31(5), 351-357.
- Zambrano, L. (2021). Conservación y reactivación de la zona chinampera de Xochimilco (Quinta fase). *Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología*.
- Zambrano, L., Martínez-Meyer, E., Menezes, N., y Peterson, A. T. (2006). Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63(9), 1903-1910. doi: 10.1139/f06-088
- Zambrano, L., Rivas, M. y Rojas, R. (2021). Plan estratégico de restauración de tres espacios prioritarios de la zona chinampera de Xochimilco. *Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología*, 16-20.
- Zambrano, L., Valverde, J., Ortega, A., y León, P. (2010). Temperature effects on growth and survival of the Mexican salamander *Ambystoma mexicanum*. *Journal of Herpetology*, 44(2), 276-280.
- Zambrano, L., Vega, E., Herrera M, L. G., Prado, E., y Reynoso, V. H. (2007). A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems. *Animal Conservation*, 10(3), 297-303. doi: 10.1111/j.1469-1795.2007.00105.x
- Zuluaga-González, N. A., y Martínez-Yáñez, R. (2017). Capacidad de absorción de amonio de plantas acuáticas como filtros biológicos en sistemas acuapónicos. *Jóvenes en la ciencia*, 3(2), 112–116.