



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA**

**EVALUACIÓN DE SOBREVIVENCIA EN LAS
PRIMERAS SEMANAS DE DESARROLLO DE
Ambystoma mexicanum (CAUDATA:
AMBYSTOMATIDAE) EN UN LAGO ARTIFICIAL
URBANO POR MEDIO DE MESOCOSMOS PARA
SU FUTURA REINTRODUCCIÓN**

T E S I S

Que para obtener el título de:

BIÓLOGO

Presenta:

Julio César Parra Escobar

Director de Tesis:

Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera

Los Reyes Iztacala, Tlalneantla de Baz, Estado de México, 2019.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

<<Todos tenemos demonios en los rincones oscuros del alma, pero si los sacamos a la luz, los demonios se achican, se debilitan, se callan y al fin nos dejan en paz.>>

- Isabel Allende.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera, gracias por hacerme parte de este proyecto, así como la ayuda brindada a lo largo de este, siempre he admirado su trabajo y dedicación y es una gran inspiración para seguirme desarrollando como biólogo, gracias por la paciencia, por los buenos consejos, por las pláticas y por todos los buenos ratos que pasé durante mi estancia en el laboratorio.

A mis sinodales, Dra. Sandra Fabiola Arias Balderas, Dr. Luis Alberto Oseguera Pérez, Mtro. Felipe Correa Sánchez y Biol. Raúl Rivera Velásquez por sus revisiones hechas y permitir mejorar la calidad de este trabajo, así como su interés por este proyecto.

Al laboratorio de Bacteriología del proyecto CyMA de la UIICSE en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, por brindarme el equipo necesario para la elaboración de este proyecto.

Al vivario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por permitirme ser parte del ajolotario y conocer más sobre los ajolotes y la donación de ejemplares para este trabajo.

A la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme sus puertas y dejarme ser parte de su comunidad para así poder cumplir mis metas y sueños, esto aún no termina.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, donde pasé una de las mejores etapas de mi vida, aprendí cosas que nunca pensé llegaría a entender, por las buenas y malas anécdotas dentro de ella y por la cantidad de personas que conocí y me brindaron un ambiente de tranquilidad de nuestra hermosa facultad.

A la Dra. Rocío Hernández por su apoyo durante la elaboración de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A mi padre, Santiago Parra Cisneros. Pese a todas las diferencias que hemos tenido me queda claro que tu apoyo nunca me faltará, y que has estado en los momentos más difíciles, gracias por las risas causadas producto de nuestras bromas en casa y por todos los buenos momentos que hemos pasado como padre e hijo, te admiro y te amo.

A mi madre, Zenaida Escobar Torres, por escucharme, por darme un abrazo o un beso en aquellos momentos en los que de verdad los necesitaba, por permitirme cantar por toda la casa sin importar que mi voz no sea la más agraciada de todas, por hacerme sentir orgulloso de lo que hago, por apoyarme incondicionalmente, sé que al final del día estarás ahí para recibirme con los brazos abiertos. Te amo.

A mi hermana, Carla Liliana Parra Escobar. Podrás caerme tremendamente mal, pero al final del día no se me olvida que eres mi hermana y que has estado ahí multitud de veces para apoyarme, te quiero como no tienes idea y me ilusiona ver que tú también estás cerca del final del camino, eres oro puro y siempre veré por ti.

A mis abuelos, Julia Torres, Julia Cisneros y José Parra, por todos los cuidados brindados desde que era pequeño y por preocuparse del joven “intento” de adulto que soy ahora.

A mi abuelo, Gonzalo Escobar, viejo, hace muchos años que partiste de aquí y no tienes idea de cuánto me hubiese gustado que vivieras este momento, te recuerdo siempre como ese gran abuelo, tu foto sigue colgada en la pared y adorna la ofrenda cada noviembre, espero sigas viniendo cada año, terco.

A mis mejores amigos, Jorge Bello y Ariadna Mosco por demostrarme lo hermoso que puede llegar a ser una amistad, 7 años que han pasado como si nada y esta amistad se refuerza aún más, gracias por escucharme en aquellos momentos donde creí pisar fondo y por todos los buenos momentos y anécdotas, podremos pasar días, meses sin hablar y al final sé que nada cambiará, son lo mejor que me pudo haber pasado en mi vida de preparatoria, los amo.

A Ebbel Labastida, más que un compañero de trabajo, eres un amigo, gracias por tus consejos y por todas aquellas pláticas matutinas sobre cualquier tema posible, gracias por tu confianza y la gran amistad forjada durante estos 5 años.

A todos los amigos que conocí a lo largo de la carrera, en especial a Daniela Rico, Bere Pérez, César Torres, Ximena Olín, Adrian Lujan, Lorena Miranda, César Aparicio, Daniel Moreno, Luis Guerrero, Daniela Delgadillo, Amauri Rodríguez y Lucero Rivas gracias por su amistad y por los increíbles ratos durante las clases y las prácticas de Campo.

A la Biol. Rosamond Lutes Coates, jefa de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas y a todo el personal que labora ahí por permitirme realizar mi servicio social dentro de estas instalaciones y poder compartir mis conocimientos con las personas locales de ese lugar, espero algún día volver.

A todos mis compañeros del laboratorio de Bacteriología, en especial a Miguel, Hugo, Frida, Osvaldo, Alejandro, Darío, Luis y Lulú, gracias por ser un motor en la realización de este trabajo, así como todos los buenos momentos y experiencias acumulados a lo largo de más de un año.

RESUMEN

Ambystoma mexicanum es un anfibio endémico el cual actualmente solo se encuentra en el sistema de canales de Xochimilco en la Ciudad de México, durante los últimos años, esta especie ha sufrido un declive lo que lo ha llevado a estar dentro de alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059. Debido a esto, se han desarrollado técnicas como la reintroducción para combatir la creciente tasa de extinción de esta especie, sin embargo, debido a la constante degradación y destrucción del hábitat hacen difícil esta labor, por lo que se sugiere buscar alternativas de cuerpos de agua como lo son los sistemas artificiales los cuales compartan características tanto físicas como biológicas con el hábitat original para realizar introducciones mediante mesocosmos que nos permitirán obtener resultados cercanos a las condiciones reales de los ecosistemas. Se colocaron organismos de 1 día y 2 meses de edad en tres mesocosmos dentro del Lago Viejo (menor) de Chapultepec y de igual manera se tuvo un tratamiento control en laboratorio. Se realizaron muestreos cada 7 días del 28 de febrero al 12 de abril de 2018, se midieron *in situ* pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura, Saturación de Oxígeno (%OD), Conductividad, Turbidez y Clorofila a, asimismo se tomaron muestras de agua para la cuantificación de zooplancton, evaluación de nutrientes y coliformes totales y fecales. No se encontraron diferencias significativas en los parámetros medidos en los tres mesocosmos, pero mediante un ACP se observó qué parámetros estaban relacionados entre sí y afectaban la supervivencia de *A. mexicanum* en cada uno de los mesocosmos, siendo OD, %OD, Temperatura, Turbidez y Nutrientes los que más afectaron a los organismos en el mesocosmos A y B, mientras que en el C fueron nutrientes y pH. Se encontraron diferencias significativas entre los organismos sometidos al tratamiento experimental y los del tratamiento control, siendo mayor la supervivencia en los organismos control, sin embargo, se observó que el crecimiento y desarrollo fue mayor en los organismos del tratamiento experimental, esto debido principalmente a las fuentes de alimento que se encuentran dentro del Lago Viejo (menor) del Bosque de Chapultepec.

Palabras clave: reintroducción, mesocosmos, degradación, endémico, introducción.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. HIPÓTESIS	5
5. OBJETIVO GENERAL	6
6. OBJETIVO PARTICULAR	6
7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
8. MATERIALES Y MÉTODOS	9
8.1 OBTENCIÓN DE LOS ORGANISMOS.....	9
8.2 ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS MESOCOSMOS DENTRO DE LA ZONA DE ANÁLISIS.....	9
8.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL LAGO DE CHAPULTEPEC.	11
8.4 COLIFORMES TOTALES Y FECALES DEL LAGO DE CHAPULTEPEC.....	13
9. RESULTADOS	15
9.1 SUPERVIVENCIA.....	15
9.2 NUTRIENTES.....	15
9.3 OXÍGENO DISUELTO (OD).....	17
9.4 PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO.....	18
9.5 TEMPERATURA.....	19
9.6 TURBIDEZ	22
9.7 RELACIÓN ENTRE OXÍGENO DISUELTO, SATURACIÓN DE OD Y TEMPERATURA	23
9.8 RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y TURBIDEZ.....	25
9.9 CONDUCTIVIDAD	26
9.10 CLOROFILA A	27
9.11 PH.....	28
9.12 COLIFORMES TOTALES Y FECALES.....	29
9.13 CRECIMIENTO	30
9.14 ANÁLISIS DE ZOOPLANCTON.....	34
9.15 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).	35
9.16 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).....	35
10. DISCUSIÓN	37
11. CONCLUSIONES	47
12. LITERATURA CITADA	49
12. ANEXO	56
I. RESULTADOS DEL MÉTODO HOLM-SIDAK.....	56

1. INTRODUCCIÓN

México es un país megadiverso, constituye cerca del 10% de toda la biodiversidad que hay en el mundo (Rodríguez *et al.* 2003). Alberga al menos 1,070 especies de aves, 528 de mamíferos, 804 reptiles y aproximadamente 376 de anfibios distribuidas en 16 familias, este gran número de especies posiciona a México como el quinto país en riqueza de anfibios (Álvarez *et al.* 2008). En general el nivel de endemismo es muy alto ya que 7 de las 16 familias en México contienen más del 50% de especies endémicas para el país (Parra-Olea *et al.*, 2014). Dentro de la gran cantidad de anfibios endémicos del país, podemos encontrar a *Ambystoma mexicanum*, especie endémica y que históricamente vivía en todo el complejo sistema lagunar que existía en el Valle de México a principios del siglo XVI, el cual abarcaba el lago de Texcoco, el lago de Xochimilco, el lago de Chalco y sus conexiones con el lago de Zumpango y el lago de Xaltocan. Actualmente, en vida libre sólo se encuentra en el sistema de canales de Xochimilco en la Ciudad de México (Zapata & Solis, 2003).

A. mexicanum es un anfibio de la orden Urodela perteneciente a la familia Ambystomatidae, los ajolotes poseen un esqueleto que no está totalmente osificado, ya que en la mayoría del cuerpo se puede encontrar en su mayoría estructuras cartilagosas, el número de vertebras que se encuentran en la columna vertebral por lo general es de 50, la columna se diferencia en cuatro partes: cervical, torácica, sacra y caudal. Posee cuatro extremidades, las anteriores poseen cuatro dedos mientras que las posteriores poseen cinco, estos dedos son finos y puntiagudos y no desarrollan uñas (CONABIO, 2011; Mena & Servín 2014). *A. mexicanum* presenta capacidad regenerativa, la cual se observa desde los estadios tempranos en extremidades y branquias, así como estructuras un tanto más complejas como el corazón o el sistema nervioso (Vargas-González *et al.* 2005). En comparación con otros anfibios, no presenta metamorfosis, posee dos fenómenos distintivos llamados paedomorfosis y neotenia, la primera consiste en mantener características fisionómicas y morfológicas juveniles, estas características son los tres pares de branquias que están posicionados en la cabeza así como la aleta caudal, por otro lado la neotenia es la capacidad de poder alcanzar la madurez



s&xual y poder reproducirse a pesar de poseer características juveniles (Mena y Servín, 2014; Molina, 2010a).

Actualmente las poblaciones de *A. mexicanum* como la de otros anfibios han sufrido un declive debido directa e indirectamente a actividades humanas (Contreras *et al.* 2009), este declive ha terminado por producir una fragmentación de las distribuciones originales en subpoblaciones cada vez más pequeñas y aisladas, sometidas a problemas crecientes de viabilidad genética y demográfica (Santos & Tellería, 2006), es por ello que lo podemos encontrar dentro de la NOM-059 (SEMARNAT,2010) bajo la categoría de en peligro de extinción (P), asimismo se encuentra en la Lista Roja de la IUCN (2018) bajo la categoría de en peligro crítico de extinción (CR), y finalmente también se encuentra en el apéndice II del CITES (2017).

El declive en estas poblaciones se debe principalmente al impacto ecológico que sufre el hábitat de esta especie, por ejemplo, la destrucción del ecosistema, el vertimiento de aguas residuales, el empleo de pesticidas e insecticidas, así como la introducción de especies invasoras; la suma de todos estos factores puede provocar una pérdida total o parcial del ecosistema (Zambrano *et al.* 2009). Debido a estas amenazas, se han desarrollado técnicas para combatir la creciente tasa de extinción de especies, una de las cuales, es la reintroducción (Clark, 1989).

La reintroducción de especies tiene como objetivo restablecer una población dentro de su hábitat original (Sarrazin & Barbault,1996), después de que se haya realizado una restauración en el hábitat original (Gibbs *et al.* 2008), para obtener una reintroducción exitosa, debe de haber una aclimatación de los organismos que se planean reintroducir, esto se puede lograr por medio de mesocosmos, el cual es una gran alternativa para incrementar la calidad y supervivencia de organismos (Prieto *et al.*,2006) dado que son recintos físicos con un confinamiento dentro de un ecosistema donde se adaptan condiciones las cuales permitirán obtener resultados cercanos a las condiciones reales de los ecosistemas naturales (Gonzáles, 2012).

La restauración ecológica involucra ciertos parámetros a seguir para alcanzar el éxito en la población, el seguimiento de parámetros ambientales es una herramienta



que nos ayudará a determinar la sanidad de un ecosistema (Vargas, 2011). Los parámetros ambientales nos dan una información extensa de la naturaleza de las propiedades físicas y químicas del agua (Orozco *et al.*, 2005), la ventaja de los métodos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser realizados con mayor frecuencia en comparación con los métodos biológicos (Samboni *et al.*, 2007).

La influencia que tienen los parámetros ambientales como pH, temperatura, oxígeno disuelto, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO) sobre los seres vivos es de mucha importancia, ya que estos definen la supervivencia de un organismo en el hábitat que ocupan, cualquier cambio que se haga en estos parámetros, puede ocasionar la muerte directa de ciertos organismos y consecuentemente desequilibrios en toda la red trófica (Castañé *et al.*, 1998). Particularmente en *A. mexicanum*, la temperatura del agua debe de estar entre 10 a 18°C, de igual manera, el pH y el oxígeno disuelto deben de estar entre 6.5 a 8 y un porcentaje de saturación igual o mayor al ochenta por ciento respectivamente (Mena & Servín, 2014). Por otro lado, la interacción con otros organismos, resultante de la interacción con parámetros ambientales, es de vital importancia, se sabe que uno de los principales problemas que afectan a *A. mexicanum* son las colonias de bacterias que pueden ocasionar enfermedades infecciosas y afectar a poblaciones enteras de este organismo (Negrete y Romero, 1999), de igual manera, la introducción de especies invasoras como la carpa común (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) afectaron de una manera significativa a las poblaciones de *A. mexicanum*, desplazándolas de su hábitat original (Contreras *et al.* 2009).

2. ANTECEDENTES

Se hizo una búsqueda dentro de la página Web of Science (www.webofknowledge.com) y se encontró que a nivel mundial hay un total de 1163

trabajos en los que se utilizó a *A. mexicanum* como modelo de estudio, de los cuales sólo un 0.5% se encuentran relacionados con el tema del presente proyecto, y de igual manera, un 3% de todos estos trabajos se han realizado en México por la UNAM.

Debido a la escasa información, se han buscado trabajos relacionados con el tema en los que se ha utilizado otras especies de anfibio, dentro de los cuales los más destacados son:

En el año 2008 mediante búsqueda en bases de datos, Griffiths & Pavajeau, encontraron que cerca de 58 especies de anfibios reintroducidas, pudieron criarse exitosamente en la naturaleza y 13 de estas especies pudieron establecer poblaciones autosostenibles.

De igual manera, Molina (2010b), realizó una revisión bibliográfica con bases en datos y revistas especializadas, en dichas revisiones, encontró 11 trabajos enfocados en anfibios, la mayoría correspondientes a reintroducciones fallidas (45,5%), seguidas de las totalmente exitosas (27,3%) y las parcialmente exitosas (18,2%).

En el 2014, Armijos planteó una reintroducción de *Antelopus sp.*, en dicho trabajo evaluaron condiciones ambientales en sitios potenciales para poder detectar el sitio más idóneo para la reintroducción, lamentablemente la reintroducción no pudo darse debido a que las poblaciones no pudieron sobrevivir a las dichas condiciones ambientales.

Montes (2018) realizó una alternativa de introducción de *Ambystoma mexicanum* en el Valle de México (Sierra Hermosa, Tecámac y Tepetzotlán), en este trabajo se determinaron las condiciones idóneas para una supervivencia saludable, establecimiento y reproducción en medio silvestre, al introducir alevines, se constató que hubo diferencias de crecimiento/desarrollo en comparación con organismos criados en cautiverio.



3. JUSTIFICACIÓN

En la época prehispánica el Lago de Xochimilco formaba parte del antiguo lago de Texcoco, en esta zona se distribuían grandes poblaciones de *Ambystoma mexicanum*. En la actualidad solo se presenta un pequeño remanente del Lago de Xochimilco, donde se localiza una mínima o nula población de *A. mexicanum*, los cuales han sido desplazados de su hábitat original, ya sea por la introducción de especies exóticas, contaminación del medio o por la destrucción del hábitat, por lo que es de vital importancia proponer alternativas en donde los organismos puedan completar su ciclo de vida. Una alternativa de introducción de esta especie de anfibio endémico son los lagos urbanos artificiales siendo el lago de Chapultepec el lugar más idóneo para una introducción de Ajolotes de Xochimilco, debido a algunas características fisicoquímicas y biológicas que comparte con el lago de Xochimilco: pH (7.77-9.18). OD (5.28 mg/L - 38.79 mg/L), temperatura (16.97 °C – 20.02 °C), (Zambrano *et al.*, 2003). Estas condiciones son a su vez en las que se están aclimatando los ajolotes en el Lago de Xochimilco, sin embargo, la constante degradación y destrucción del Lago pone en riesgo la introducción de especies de *A. mexicanum*, por lo que se sugiere buscar alternativas de cuerpo de agua como ya se indicó los sistemas artificiales. El Lago de Chapultepec serviría como un modelo previo para realizar una introducción a futuro, hoy en día, son pocos los trabajos que abordan la problemática de la pérdida y restauración del hábitat, así como la reintroducción de esta especie en sus áreas geográficas conocidas.

4. HIPÓTESIS

Al tener las mismas condiciones en el Lago Menor de Chapultepec y Xochimilco, se espera que las larvas se adapten a las condiciones de un lago artificial, por lo que



los lagos urbanos serían una buena alternativa para la reintroducción de especies acuáticas nativas.

5. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la supervivencia de larvas de *Ambystoma mexicanum* por medio de mesocosmos dentro de un lago urbano ubicado en Chapultepec, que presenta características similares a las del lago de Xochimilco, Ciudad de México.

6. OBJETIVO PARTICULAR

- Observar la sobrevivencia de las larvas de *A. mexicanum* de acuerdo a la evaluación de las características ambientales y biológicas presentes en el lago urbano.
- Analizar el crecimiento de las larvas de *A. mexicanum* de acuerdo a la evaluación de las características ambientales y biológicas presentes en el lago urbano.
- Estudiar el comportamiento de las larvas de *A. mexicanum* de acuerdo a la evaluación de las características ambientales y biológicas presentes en el lago urbano.
- Por medio de mesocosmos, evaluar la sobrevivencia de larvas de *A. mexicanum* para así obtener resultados cercanos a las condiciones naturales en las que los organismos se desarrollan.

7. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Lago Menor de Chapultepec se localiza dentro del Bosque de Chapultepec al poniente de la Ciudad de México, en la alcaldía Miguel Hidalgo dentro del

pedemonte volcánico de la Sierra de las Cruces (Figura 1), sus coordenadas geográficas extremas están entre los 99°14'15" de longitud oeste y 19°23'40" y 19°25'25" de latitud norte, está ubicado a una altitud de entre los 2200 y 2500 msnm (INEGI, 2012).

La temperatura varía de los 12 a 18°C, posee un rango de precipitación de 600 a 900 mm y un clima que se mantiene en templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (48%), templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad (41%) y templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad (11%) (INEGI, 2012).

Dentro del bosque se pueden encontrar tres lagos: Lago mayor, lago menor y lago viejo, este último está dividido en mayor (parte abierta al público) y menor (sección que se encuentra cerrada al público), se encuentra ubicado en la primera sección y la parte menor posee una extensión de 29 mil 142 m² y un volumen de 33 mil 102 m³ (Alcocer, 1988).

La alimentación de estos lagos proviene de dos fuentes: la PTAR de Chapultepec y la descarga de agua cruda proveniente de los comercios locales (Alcocer, 1988).





Figura 1. Ubicación del Lago viejo (menor) en la primera sección del Bosque de Chapultepec.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 OBTENCIÓN DE LOS ORGANISMOS

Para la obtención de las larvas de *A. mexicanum* se utilizaron inicialmente dos organismos adultos procedentes del ajolotario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, a estos organismos adultos se les puso en reproducción obteniendo así una puesta de aproximadamente 400 huevos, los cuales fueron colocados en un recipiente de plástico de 60x90x60 cm hasta la eclosión (dos semanas). Posteriormente las larvas fueron trasladadas a recipientes de 500 mL, colocando 10 larvas por cada recipiente. Las larvas se mantuvieron en periodos de luz 12/12 cambios constantes de agua (cada tercer día), alimentándolas *ad libitum* con zooplancton.

Para los experimentos se utilizaron 48 larvas de 1 día y 24 larvas de 2 meses de edad, esto se hizo para poder determinar en qué etapa los organismos pueden resistir y adaptarse a las condiciones fisicoquímicas y biológicas del Lago Menor de Chapultepec.

8.2 ELABORACIÓN Y COLOCACIÓN DE LOS MESOCOSMOS DENTRO DE LA ZONA DE ANÁLISIS

Se fabricaron tres mesocosmos elaborados con tubos de pvc y malla mosquitera, cada mesocosmos contiene 4 espacios aislados entre sí y poseen una medida de 110 x92 x24 cm. Estos mesocosmos se introdujeron en el Lago viejo (menor) de Chapultepec fijándose en la plataforma (Figura 2). Debido a que las larvas de *A. mexicanum* presentaban tamaño chico en comparación con el del mesocosmos, se elaboró otro tipo de encierro adicional, esto para prevenir que los organismos escaparan. El segundo encierro presentaba una dimensión de 20cm de diámetro, y una luz de malla de 1 mm, como se observa en la imagen (Figura 3).

La columna de agua del lago mide en promedio un metro de profundidad, después de la columna de agua se encuentra una capa gruesa de sedimento, constituida principalmente por detritus y materia orgánica, sabiendo esto cada mesocosmos fue introducido en el lago hasta que tuvieran contacto con la capa de sedimento, posteriormente para evitar que los mesocosmos se movieran de lugar, se fijaron con ayuda de cinturones de plástico en la base de la plataforma.



Las larvas se colocaron de la siguiente manera: en dos encierros presentaban dos organismos de dos meses de edad, cada uno; dos encierros restantes presentaban cada uno 4 organismos de 1 día de edad. Este mismo número de organismos fue utilizado en el laboratorio para llevar un grupo control con condiciones totalmente controladas.

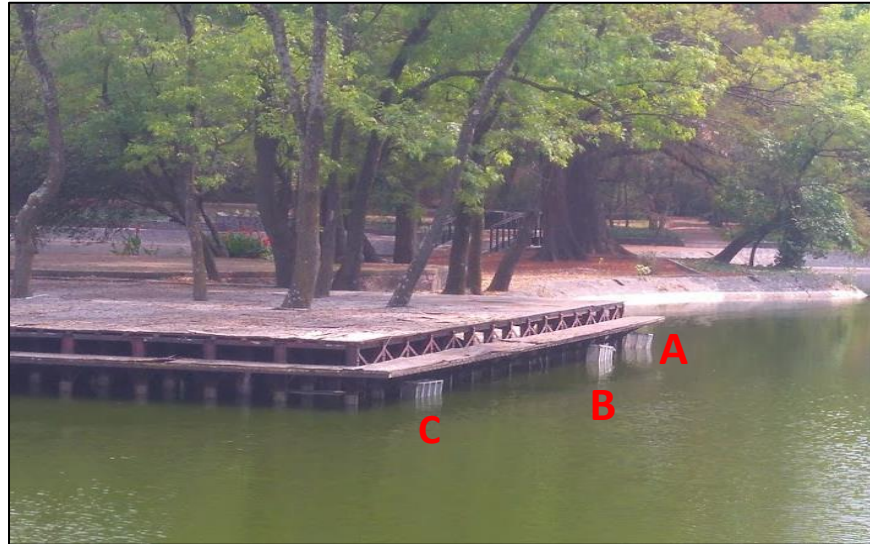


Figura 2. Mesocosmos. Ubicación de los tres mesocosmos (A, B y C) dentro de la plataforma del Lago Menor.



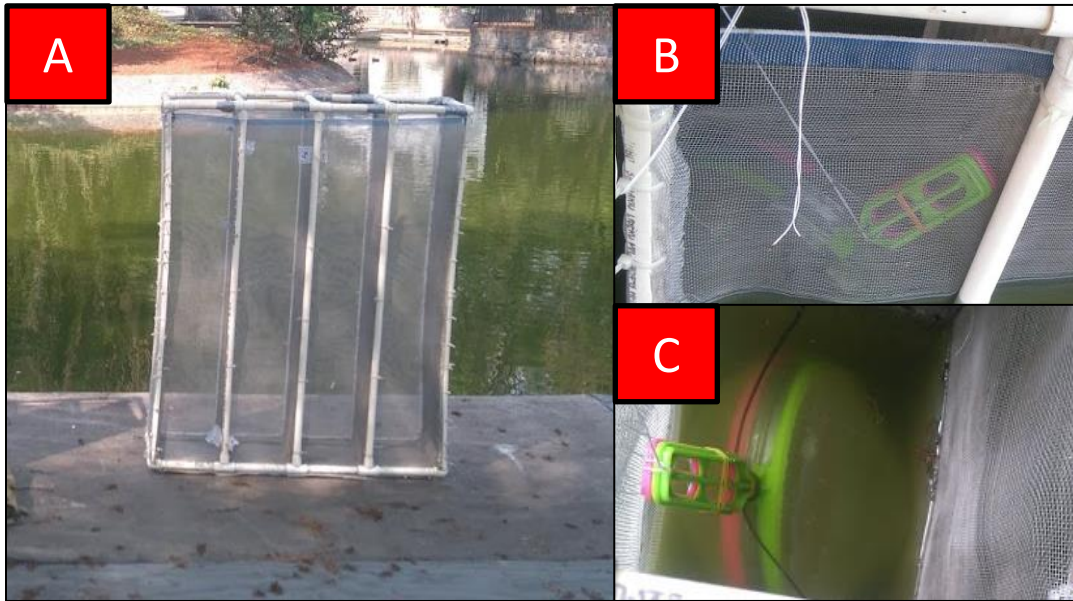


Figura 3. Mesocosmos. A: uno de los tres mesocosmos utilizados para el estudio, B y C; mientras que en la derecha se puede observar el encierro adicional.

8.3 ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL LAGO DE CHAPULTEPEC.

FÍSICOQUÍMICOS DEL LAGO DE CHAPULTEPEC

Se midieron *in situ* pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura, Saturación de Oxígeno, Conductividad, Turbidez y Clorofila *a*, con ayuda de una sonda multiparamétrica de calidad del agua marca *Hydrolab* modelo DS5X.

Se introdujo una cubeta con un volumen de cinco litros para tomar las muestras que se procesarían en laboratorio, por cada punto de muestreo se utilizó una garrafa de dos litros las cuales fueron transportadas al laboratorio en una hielera a una temperatura promedio de 4 °C.

Asimismo, para cada punto, con ayuda de esta cubeta y una malla de 50 μm de abertura se filtraron 20 L de agua, estas muestras fueron posteriormente analizadas en laboratorio para realizar conteos por mililitro sobre una cámara de Sedgwick-Rafter en un microscopio invertido marca Nikon Eclipse TS 100 con la finalidad de analizar los grupos de Zooplancton.



NUTRIENTES.

La evaluación de nutrientes se llevó a cabo por el método de Colorimetría con un fotómetro marca EcoSence YSI 9500.

AMONIO

Se utilizaron las tabletas YSI Ammonia N°1 y N° 2, se colocaron 10 mL de muestra en una celda y se añadieron las tabletas N°1 y N°2 las cuales se aplastaron hasta disolver, posteriormente se esperaron 10 minutos hasta que la muestra virara a un color verde o amarillo. Finalmente, en el fotómetro se seleccionaron los patrones de medición (phot 4 y phot 62).

NITRITOS

Se utilizaron tabletas YSI Nitricol, en una celda se colocaron 10 mL de muestra y se le añadió una tableta de YSI Nitricol la cual se maceró mezclo hasta disolver, se esperaron 10 minutos hasta el desarrollo de color rosa. En el fotómetro se seleccionaron los patrones phot 24 y phot 64.

NITRATOS

Para este parámetro se utilizaron tabletas YSI Nitratest, YSI Nitricol y polvo YSI Nitratest poder, se colocaron 20 mL de muestra en una celda y se le añadió una cucharada de polvo nitratest, posteriormente se esperó un minuto y se le añadió la tableta de Nitratest, se agitó la muestra hasta disolver y se dejó sedimentar todo el precipitado. Una vez que la muestra estuviera clara, se tomaron 10 mL y se colocaron en una celda, se agregó una tableta de Nitricol y se trituro hasta disolver. Se esperó durante 10 minutos hasta el cambio a color rosa. En el fotómetro se seleccionaron los patrones phot 23 y phot 63.



FOSFATOS

Se utilizaron tabletas YSI Phosphate N° 1 LR y YSI Phosphate N°2 LR. En una celda se colocaron 10 mL de muestra y se añadió una tableta N°1 y N°2, se trituró y mezcló hasta disolver, se esperó un tiempo de 10 minutos hasta obtener un color azul. Se seleccionaron los patrones phot 28 y phot 70 en el fotómetro.

Para cada parámetro, se utilizó un blanco el cual fue colocado dentro del fotómetro antes de la medición de nutrientes de cada muestra.

8. 4 COLIFORMES TOTALES Y FECALES DEL LAGO DE CHAPULTEPEC.

La determinación de coliformes totales y fecales se utilizó la técnica de NMP (Número más probable), de acuerdo a los criterios de la NMX-AA-42-1987, la toma de muestras se realizó con ayuda de bolsas de polietileno estériles, se utilizó una bolsa por cada punto de muestreo, una vez tomada la muestra, la bolsa se etiquetó y fue almacenada en una nevera a una temperatura de 4°C para su posterior traslado al laboratorio, de acuerdo a los resultados obtenidos, para la siembra se utilizaron dos tipos de diluciones de 10,1 y 0.1 mL.

PRUEBA PRESUNTIVA

- a) Se tomó la 1ª serie de cinco tubos de fermentación con caldo lactosado y se inocularon con 10 mL de muestra directa.
- b) Una 2ª serie de 5 tubos de fermentación con caldo lactosado se inocularon esta vez con 1 mL de muestra directa.
- c) Se tomo la 3ª serie de 5 tubos de fermentación con caldo lactosado y se inocularon con 0.1 mL de muestra directa.
- d) Se agitó suavemente la gradilla con todos los tubos inoculados.
- e) Los tubos fueron incubados a 35°C +/- 0.5°C por 24 – 48 horas.
- f) Se revisó cada tubo, considerando positivos aquellos que presentaran burbujas.
- g) Los tubos negativos se volvieron a incubar otras 24 horas, después de este tiempo se descartaron aquellos que siguieran mostrando un resultado negativo.



PRUEBA CONFIRMATIVA.

- a) Los tubos positivos fueron resembrados en tubos de fermentación con caldo Verde Bilis Brillante (VBB) y medio EC.
- b) Se agitó suavemente la gradilla con los tubos resembrados.
- c) Los tubos con caldo VBB fueron incubados a $35^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas mientras que los que contenían medio EC fueron colocados en baño maría a $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ durante el mismo tiempo observando que este mantuviera una temperatura constante con ayuda de un termómetro.
- d) A las 24 horas se revisó cada tubo y siendo positivos aquellos que presentaban una producción de gas.
- e) Se registró el número de tubos positivos de cada serie (tanto en medio EC y caldo VBB) y con el código obtenido se buscó el NMP en las tablas.

Se analizó la influencia de los factores fisicoquímicos y biológicos sobre la sobrevivencia de las larvas por lo que cada semana se monitoreaba la sobrevivencia de las larvas dentro de los mesocosmos. Asimismo con ayuda de un teléfono celular se tomaron fotos a los organismos y por medio de una escala conocida, las fotos fueron analizadas en el programa ImageJ en el cual se midieron las tallas de los organismos. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para determinar qué conjunto de variables están correlacionadas entre sí y cuáles están influyendo sobre la sobrevivencia de las larvas de *A. mexicanum*, este análisis se realizó con ayuda del programa SPSS Statistics.

Consecutivamente se realizó un análisis estadístico de ANOVA para determinar si hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de todos los grupos.



9. RESULTADOS

9.1 SUPERVIVENCIA

En la figura 4 se observan las sobrevivencias semanales de las larvas de *Ambystoma mexicanum* de acuerdo a la edad en las que se colocaron, por repeticiones. En el mesocosmos A se observa que los organismos de dos meses murieron en la primera semana, por otro lado, los organismos que tenían un día de eclosión murieron en la segunda semana. Así mismo el mesocosmos B muestra que las larvas de un día de edad murieron la segunda semana, sin embargo, las larvas que tienen dos meses sobrevivieron todo el tiempo del muestreo. En el mesocosmos C la sobrevivencia de los organismos tanto de un día como de dos meses se prolongó hasta el final del proyecto. Por otro lado, los organismos pertenecientes al mesocosmos disminuyeron durante las siguientes semanas del estudio, siendo los organismos de 2 meses de edad los que murieron en la quinta semana mientras que los de 1 día de edad redujeron su número hasta un 50% al término del estudio.

Por otro lado, se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) de dos vías y se encontró una diferencia significativa ($P = <0.001$), de acuerdo con el análisis Holm-Sidak, los mesocosmos A, B y C se comportan de manera similar y a su vez el tratamiento control difiere de los anteriores, siendo mayor la supervivencia en este último tratamiento.

9.2 NUTRIENTES

En el primer mes de evaluación de nutrientes las concentraciones de nitritos, fosfatos y amonios fueron similares, teniendo valores de 1 a 1.15 mg/L, 1 a 1.2 mg/L y 0.03 a 0.08 mg/L respectivamente, exceptuando en el mesocosmos A donde se encontró una concentración mayor de amonio (0.08 mg/L), asimismo la concentración nitratos estuvieron por debajo del límite de detección del método en los tres mesocosmos.

En el segundo mes las concentraciones difirieron en cada mesocosmos, se notó una disminución de nitritos del 62% y del 33% en los mesocosmos B y C respectivamente, en cuanto al amonio, hubo un aumento de 0.22 mg/L en los



mesocosmos B y C. Al igual que en el primer mes, no se detectó nitratos y además las concentraciones de fosfatos estuvieron por debajo del límite de detección del método. Se decidió no evaluar nutrientes en el mesocosmos A (Tabla 1).

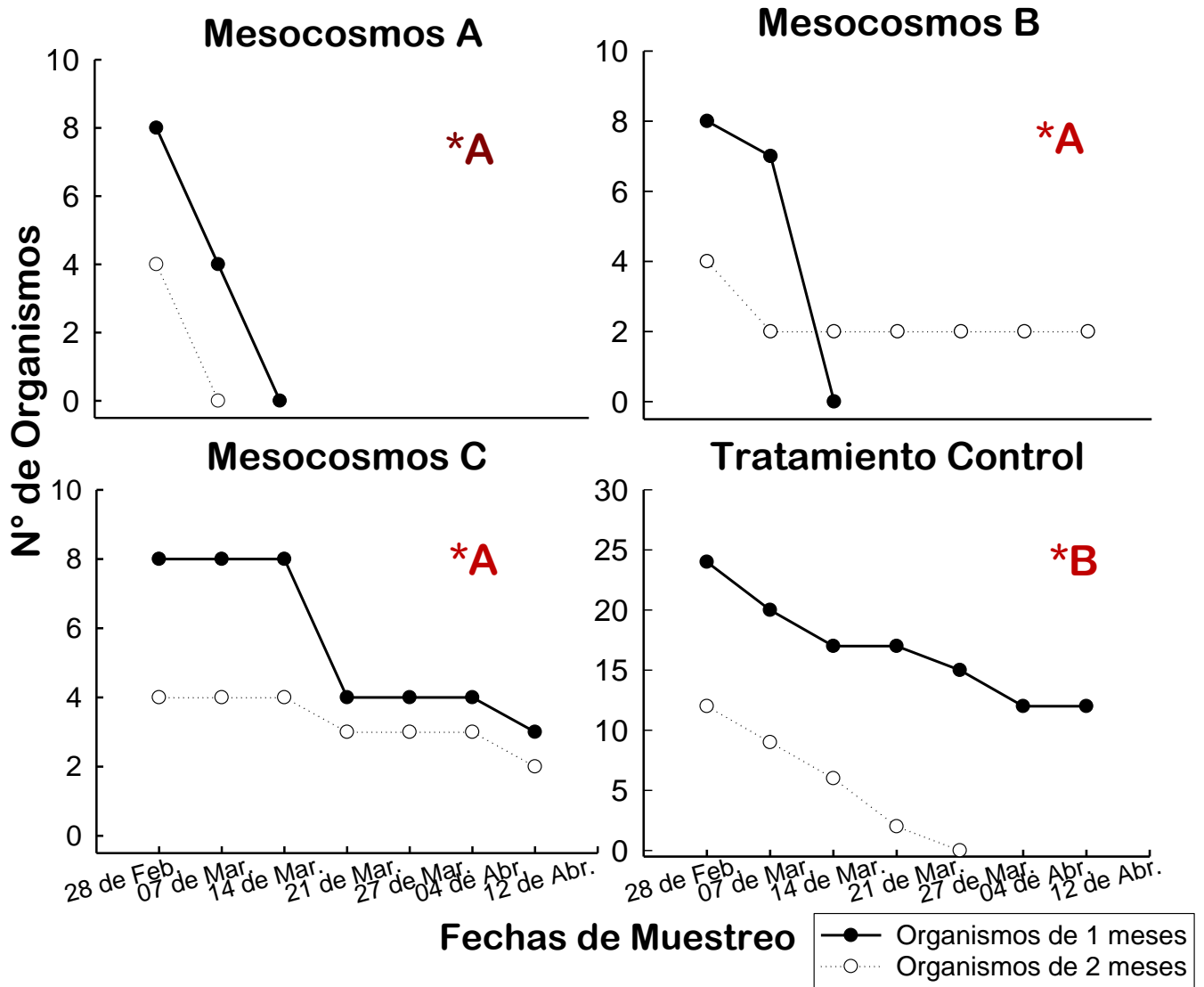


Figura 4. Supervivencia de las larvas de *A. mexicanum* por cada mesocosmos y control de acuerdo a las fechas de muestreo. Diferencia significativa ANOVA ($P = <0.001$), *Holm-Sidak (ver anexo)

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes evaluados en los dos meses por mesocosmos.



PRIMER MES			
	Mesocosmos A	Mesocosmos B	Mesocosmos C
Nitritos	0.350 mg/L N 1.15 mg/L NO ₂	0.300 mg/L N 1.00 mg/L NO ₂	0.350 mg/L N 1.15 mg/L de NO ₂
Nitratos	-	-	-
Fosfatos	3.00 mg/L PO ₄ 1.00 mg/L P	2.90 mg/L PO ₄ 1.2 mg/L P	3.30 mg/L PO ₄ 1.08 mg/L P
Amonio	0.05 mg/L N 0.08 mg/L NH ₄	0.70 mg/L N 0.06 mg/L NH ₄	0.02 mg/L N 0.03 mg/L NH ₄
SEGUNDO MES			
	Mesocosmos A	Mesocosmos B	Mesocosmos C
Nitritos	-	0.115 mg/L N 0.38 mg/L NO ₂	0.235 mg/L N 0.77/L de NO ₂
Nitratos	-	-	-
Fosfatos	-	-	-
Amonio	-	0.21 mg/L N 0.28mg/L NH ₄	0.80 mg/L N 0.28 mg/L NH ₄

9.3 Oxígeno Disuelto (OD).

Las concentraciones de OD en los tres mesocosmos fueron similares, teniendo concentraciones por encima de los 8 mg/L en cada uno, el mesocosmos C fue el



que mantuvo las concentraciones más bajas a lo largo de todo el estudio (10 mg/L). Se puede notar que en las primeras 4 semanas hay un incremento en el OD, de 9 mg/L a 24 mg/L en los mesocosmos A y B y de 11 a 20 mg/L en el mesocosmos C, siendo la cuarta en donde se registró el mayor dato en los tres mesocosmos, posterior a esta semana, se nota un decremento de 6 a 8 mg/L en las concentraciones (Figura 5).

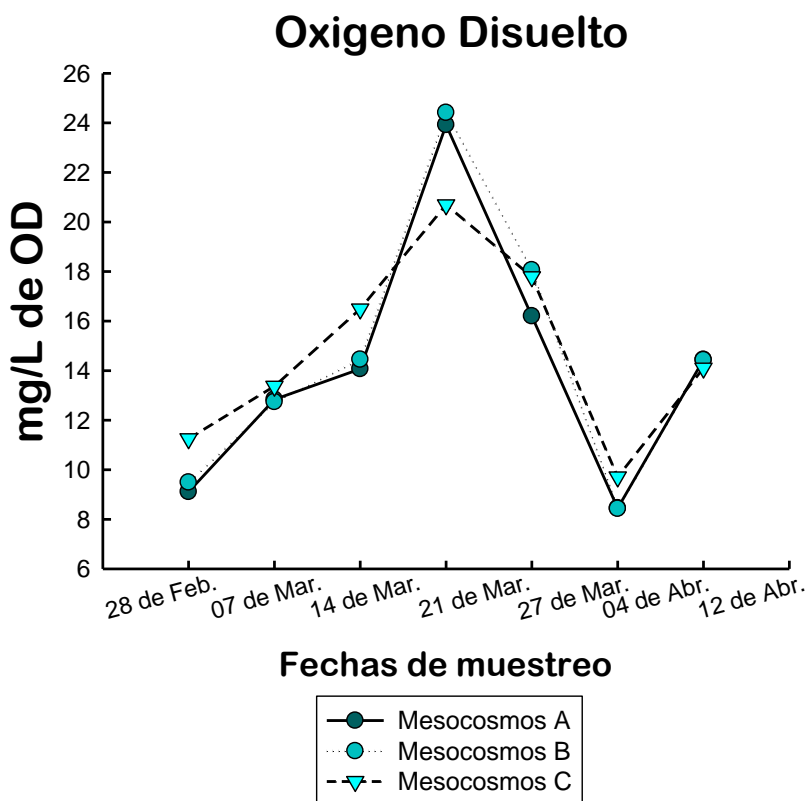


Figura 5. Concentraciones de Oxígeno Disuelto presente en los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo.

9.4 PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO.

En los tres mesocosmos se detectó una sobresaturación de oxígeno teniendo el más mínimo porcentaje de alrededor de 130% y el mayor de 380 %. El mesocosmos

que presentó una menor saturación durante todo el estudio fue el mesocosmos C (142%-320%), debido a que tanto el OD y la saturación de OD se relacionan directamente, se puede notar una tendencia similar al OD en cuanto al incremento de la saturación (Figura 6).

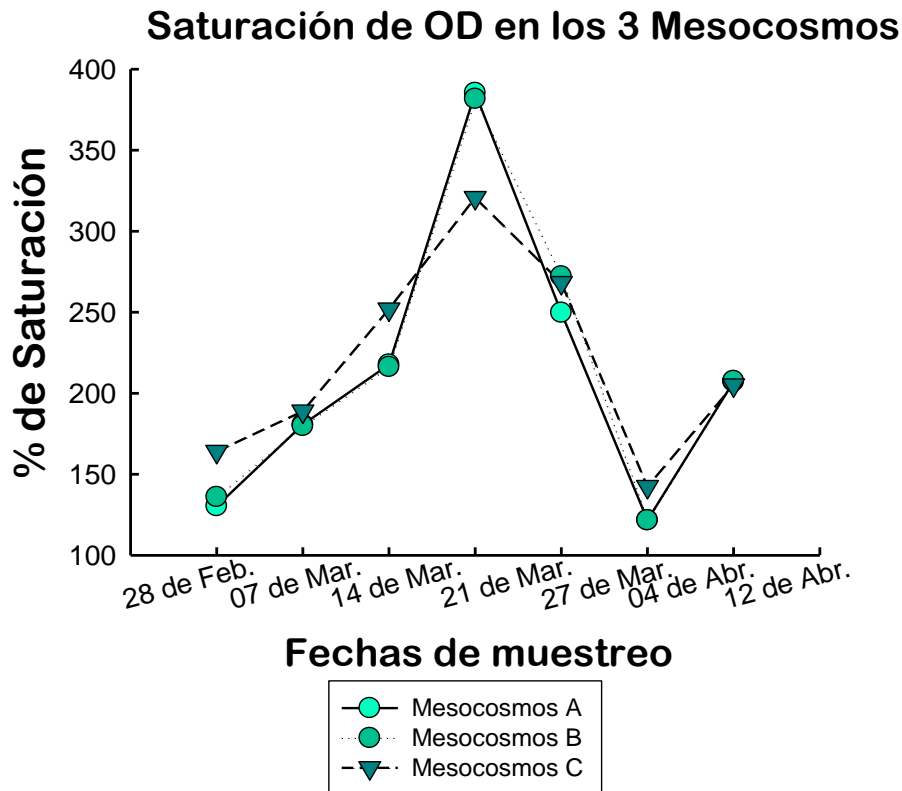


Figura 6. Porcentajes de saturación de Oxígeno Disuelto presente durante el periodo de muestreo.

9.5 TEMPERATURA

La temperatura varió en los tres puntos, los mesocosmos A y C son los que en algunas semanas presentaron temperaturas mayores. Las temperaturas en los tres mesocosmos estuvieron por encima de los 18 °C, siendo 18 °C la menor y la mayor



de 24.8 °C registrada en el día 21 de marzo de 2018, en semanas anteriores se nota un incremento de 5 °C a 6°C en la temperatura y posterior a esa fecha, se nota un decremento de entre 4°C y 5°C en los tres mesocosmos (Figura 7), asimismo al compararse la temperatura con la supervivencia de los organismos, se puede notar una tendencia en cuanto al incremento y disminución de la temperatura con respecto a la supervivencia de los organismos (Figura 8).

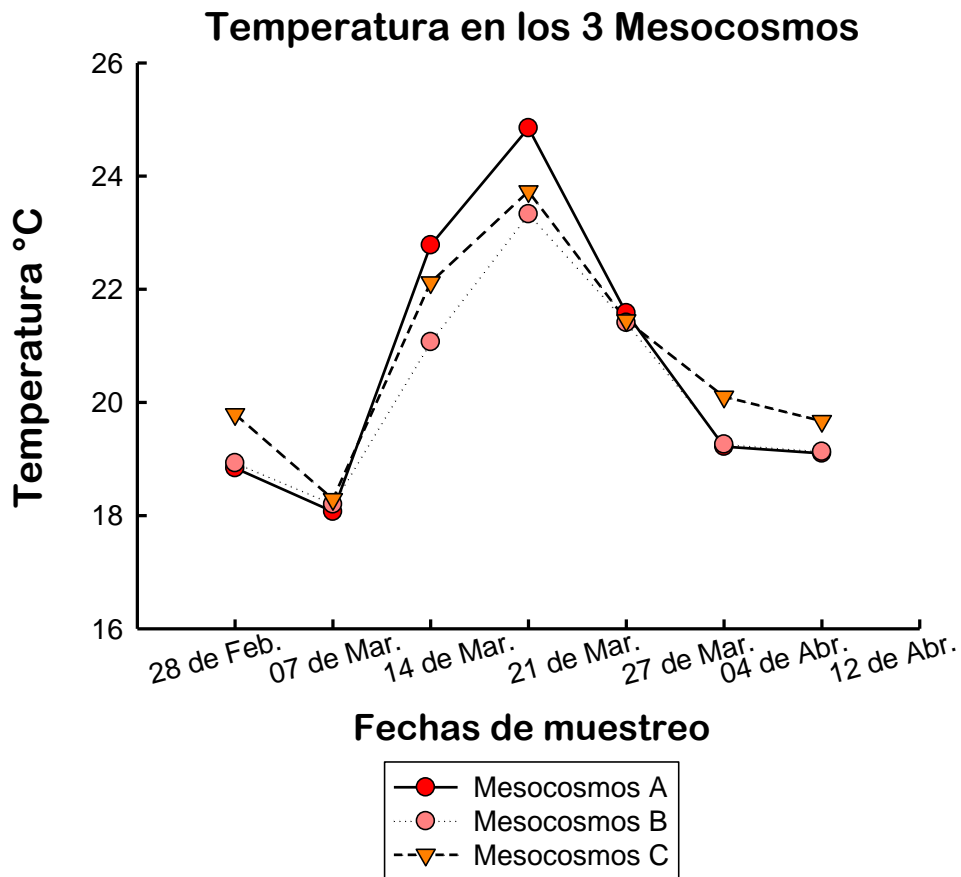


Figura 7. Temperatura presente en los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo.

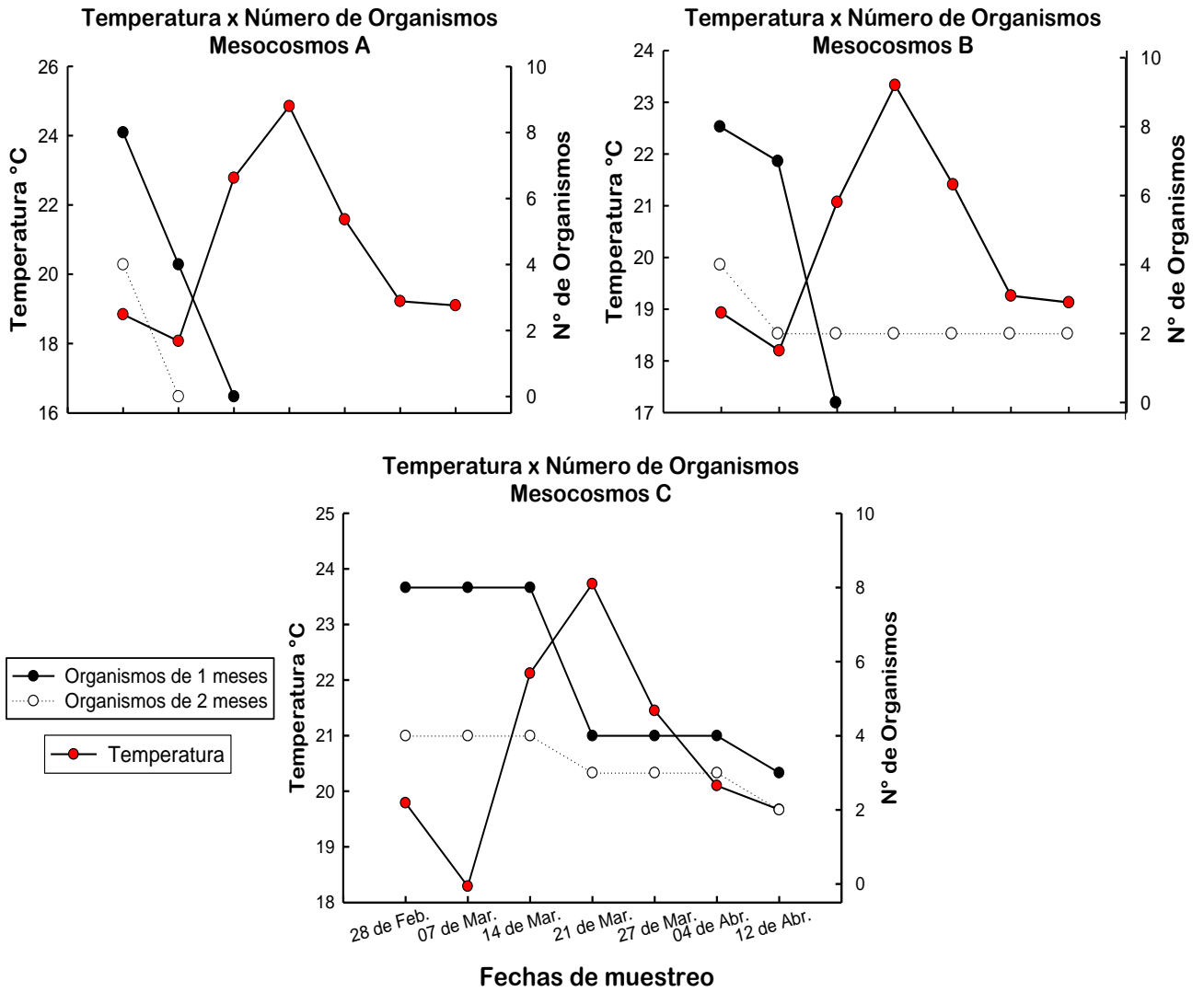


Figura 8. Relación entre la temperatura y el número de organismos durante el periodo de muestreo.

9.6 TURBIDEZ

La turbidez se mantuvo en valores similares en los tres mesocosmos durante las primeras tres semanas (21 UNT a 40 UNT), en la cuarta semana y quinta semana se puede notar un cambio en la turbidez, el mesocosmos C posee un valor de turbidez bajo con respecto a los otros dos mesocosmos, de 70 UNT a 13 UNT en cada respectiva semana, en las últimas dos semanas, todos los valores vuelven a ser similares (4 UNT a 10 UNT) (Figura 9).

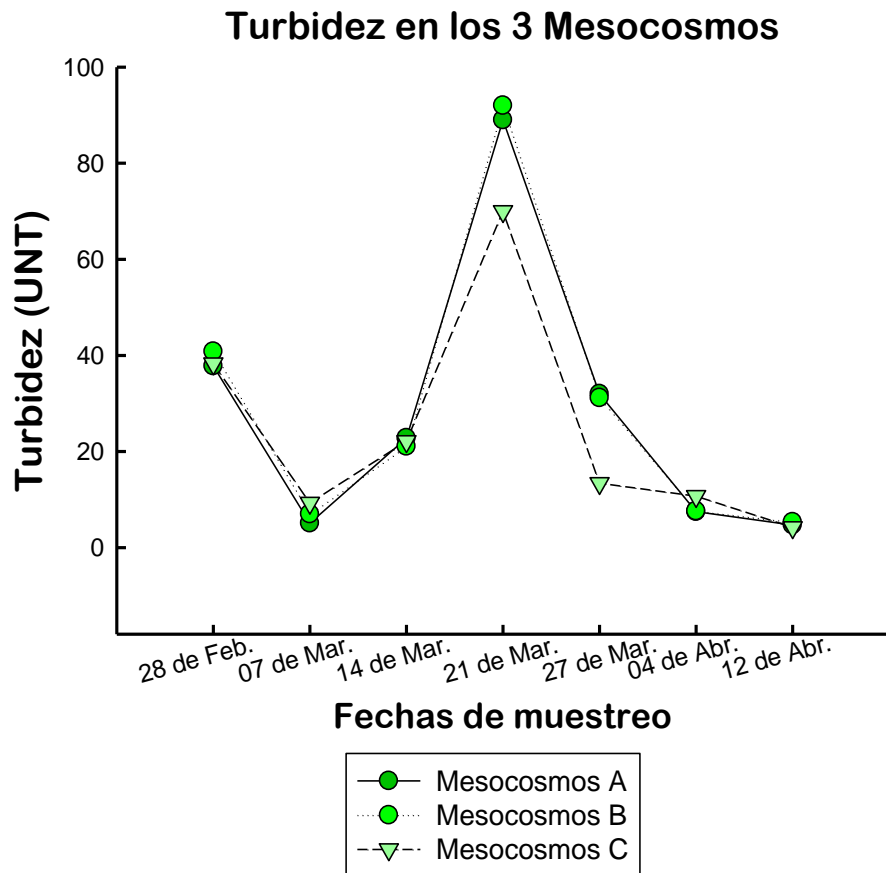


Figura 9. Niveles de Turbidez en los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo



9.7 RELACIÓN ENTRE OXÍGENO DISUELTO, SATURACIÓN DE OD Y TEMPERATURA.

Al relacionar las concentraciones y la saturación de OD con la temperatura, se puede observar una tendencia inversamente proporcional en los tres mesocosmos, esto se puede observar en cada una de las semanas del estudio (Figura 10).

En la segunda semana, se detectaron temperaturas de 18.07 °C, 21.07°C y 22.12°C y una concentración de OD de 12.84 mg/L (180.70%), 12.74 mg/L (179.80%) y 12.37 mg/L (188.90%), mientras que en la tercer semana se tienen temperaturas de 14.07°C, 14.45°C y 16.49°C y concentraciones de OD de 14.07 mg/L (217.70%), 14.45 mg/L (21.07%) y 16.49 mg /L (251.90%) en los mesocosmos A, B y C respectivamente.



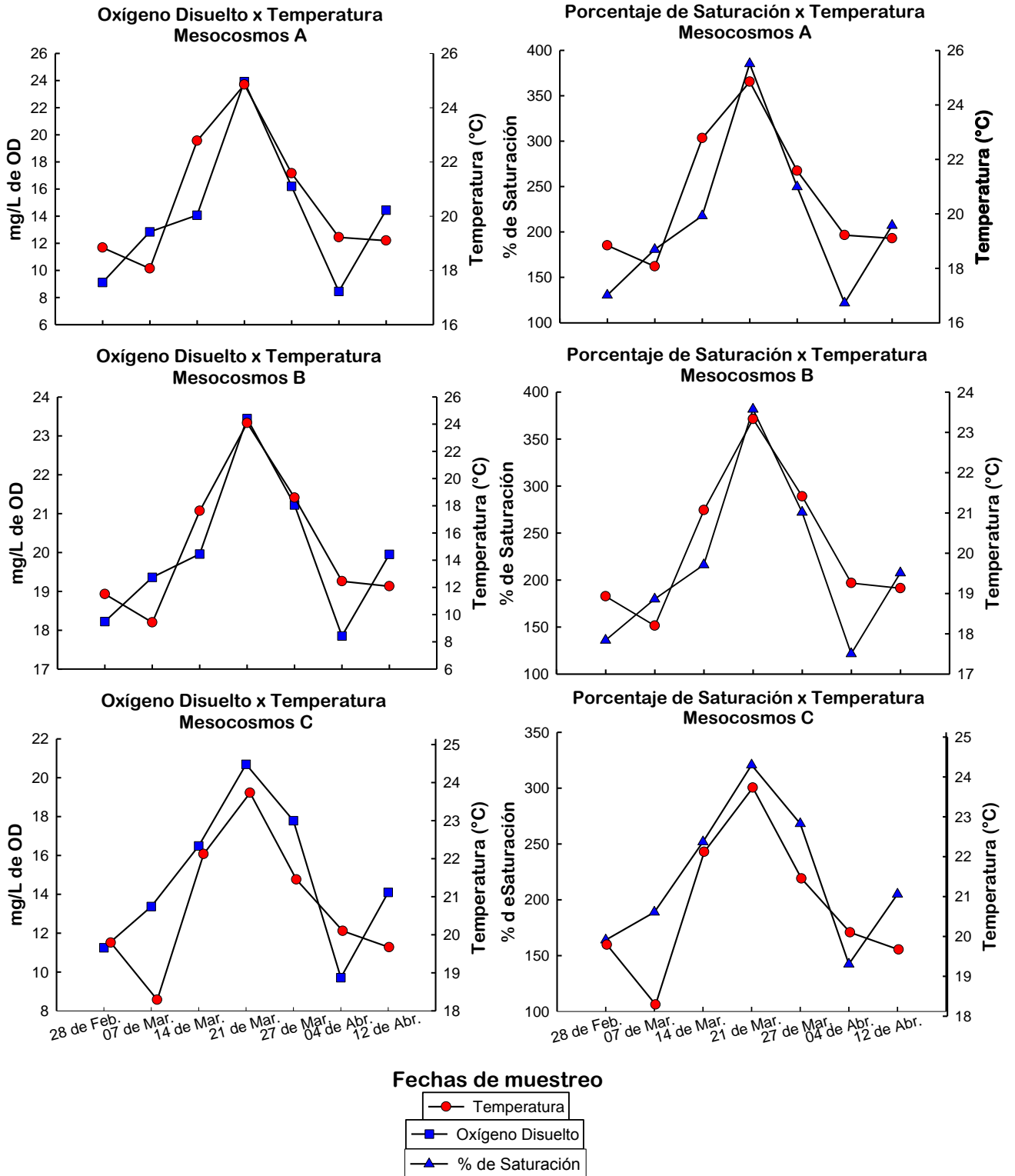


Figura 10. Relación entre las concentraciones de OD y %OD con la temperatura presente en los mesocosmos.



9.8 RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y TURBIDEZ

En los tres mesocosmos se pudo observar una relación directamente proporcional entre la turbidez y la temperatura, se observa durante las primeras cuatro semanas un aumento de la turbidez de los 37.8 UNT – 89 UNT en el mesocosmos A, 40.8 UNT – 92 UNT en el B y 38.3 UNT – 70 UNT en el C mientras que la temperatura tiene un aumento de 18.84°C – 24.85°C, 18.93°C – 23.33°C y 19.79 °C – 23.73°C en los respectivos mesocosmos, por otro lado, en las últimas cuatro semanas cuando la turbidez disminuye constantemente (aproximadamente >50% por cada semana en cada mesocosmos) se observó un descenso en la temperatura de más o menos un 25% entre la cuarta y última semana del estudio (Figura 11).

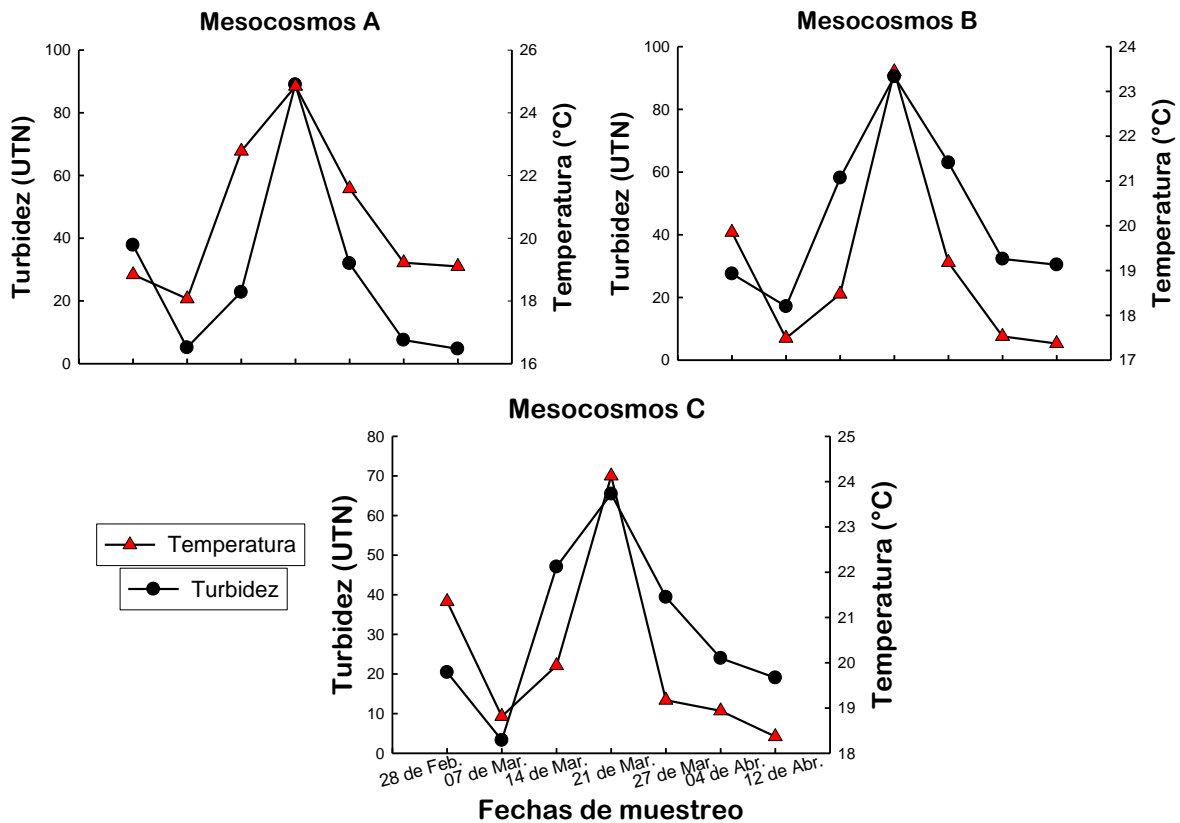


Figura 11. Relación de la turbidez con la temperatura presente en los tres mesocosmos.



9.9 CONDUCTIVIDAD

La conductividad se mantuvo en valores similares en los tres mesocosmos durante todas las semanas de estudio, durante la primera fecha hay valores de entre 523 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$, posteriormente de la segunda a la penúltima semana, los valores varían entre 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en la última semana ocurre un descenso abrupto en la conductividad de aproximadamente un 40% (Figura 12).

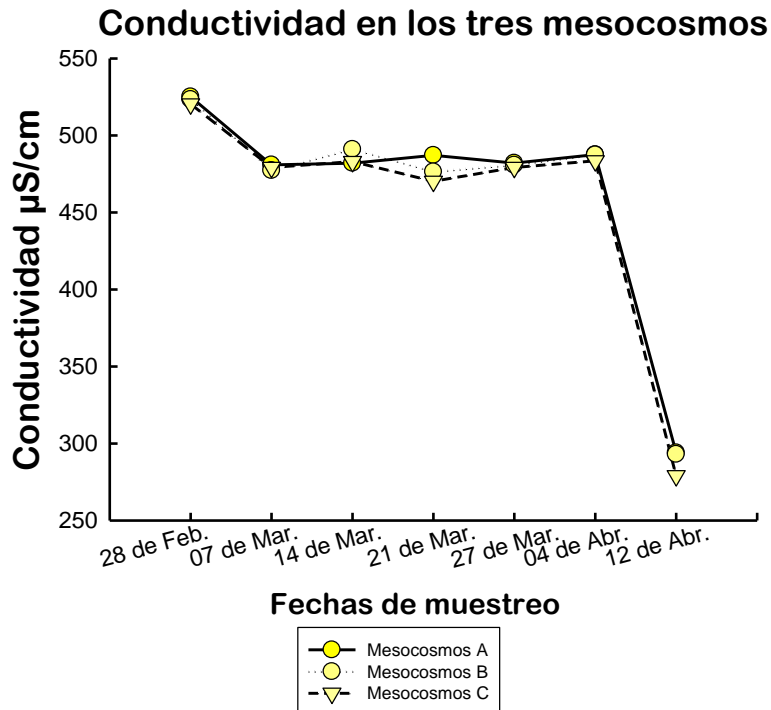


Figura 12. Valores de conductividad en los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo



9. 10 CLOROFILA A

Las concentraciones de clorofila a en los tres mesocosmos difirieron en la primer semana, en el A se tuvo una concentración de 245.16 $\mu\text{g/L}$, en el B 286 $\mu\text{g/L}$ y en el C de 243.89 $\mu\text{g/L}$, posteriormente entre la segunda y tercer semana se tienen valores similares que van de los 250.04 $\mu\text{g/L}$ a los 270.86 $\mu\text{g/L}$, en la semana 4 las concentraciones de los tres puntos vuelven a variar, siendo el mesocosmos C el que tuvo una mayor concentración (213.46 $\mu\text{g/L}$), en la semana 5 los mesocosmos A y B tienen concentraciones similares (aproximadamente 174 $\mu\text{g/L}$) mientras que el mesocosmos C posee el valor más alto de 351.41 $\mu\text{g/L}$. Durante las últimas dos semanas, las concentraciones en los tres mesocosmos vuelven a ser similares (191 $\mu\text{g/L}$ a 205 $\mu\text{g/L}$) (Figura 13).

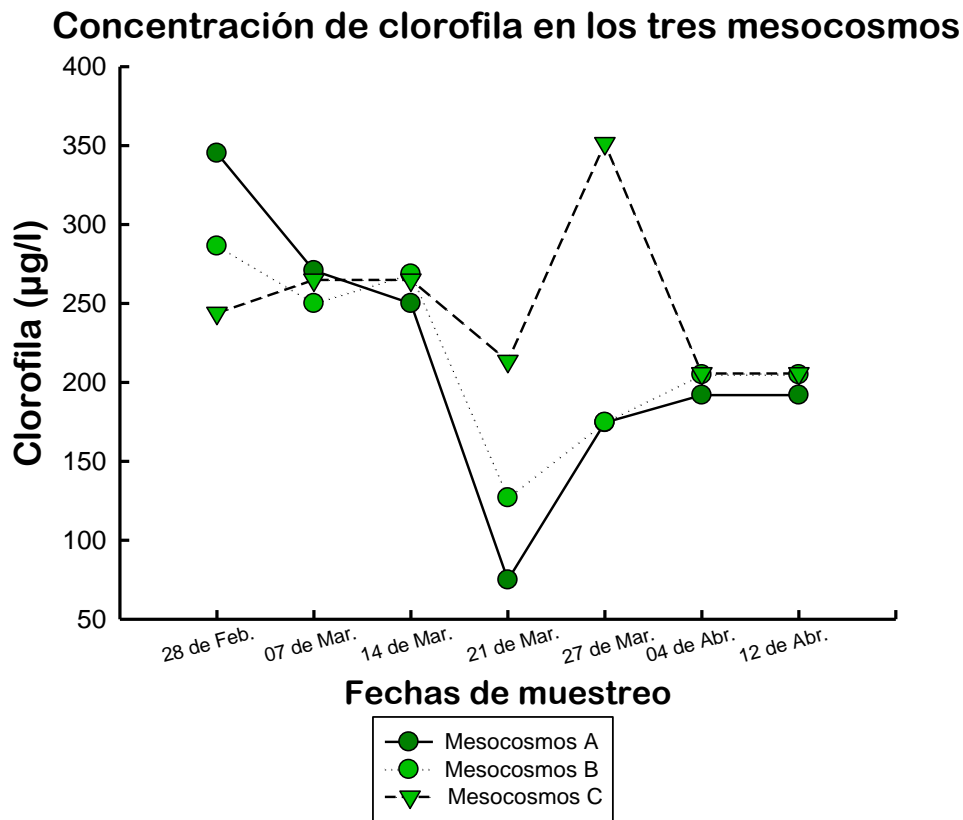


Figura 13. Concentraciones de clorofila en los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo.



9. 11 PH

Los valores de pH fueron similares en los tres mesocosmos durante todas las semanas de estudio, entre la primer y tercer semana hay un incremento de 9.1 a 9.8, a partir de esta última semana el pH disminuye constantemente hasta la penúltima semana donde se obtiene un valor ácido de aproximadamente 5.7, asimismo en la última semana el pH aumenta drásticamente a un valor de 9 (Figura 14).

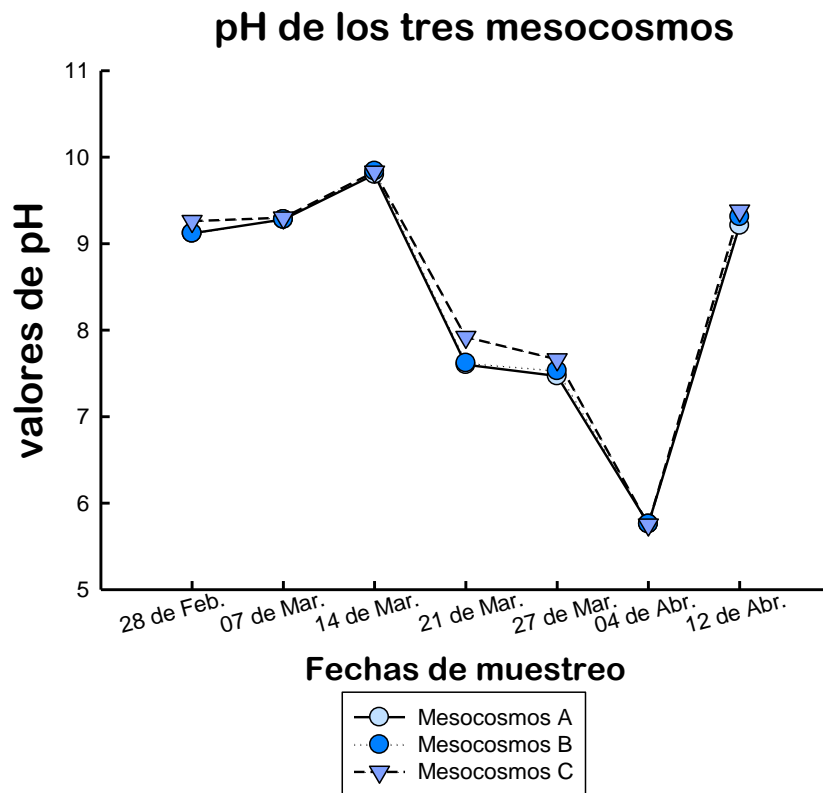


Figura 14. Valores de pH de los tres mesocosmos durante el periodo de muestreo.



9. 12 COLIFORMES TOTALES Y FECALES.

En el primer mes de evaluación, se encontró que tanto el mesocosmos B y C contenían valores similares de coliformes totales (11 NMP/100mL), el mesocosmos A tuvo la concentración más alta (23NMP/100mL), estos valores aumentaron en el segundo mes donde en el mesocosmos A tuvo un número de 40 NMP/100mL, el B de 17 NMP/100mL y el C de 15 NMP/100mL. En ninguno de los dos meses se detectó la presencia de Coliformes Fecales (Tabla 2).

Tabla 2. Concentración de Coliformes totales y fecales en los meses de febrero y marzo, evaluado en los tres mesocosmos.

Primer Mes			
	Mesocosmos A	Mesocosmos B	Mesocosmos C
Coliformes Totales	23 NMP/100 mL	11 NMP/100 mL	11 NMP/100 mL
Coliformes Fecales	ND	ND	ND
Segundo Mes			
	Mesocosmos A	Mesocosmos B	Mesocosmos C
Coliformes Totales	40 NMP/100mL	17 NMP/100 mL	15 NMP/100mL
Coliformes Fecales	<2 NMP/100mL	ND	ND



9. 13 *CRECIMIENTO*

El crecimiento de los organismos que fueron sometidos al tratamiento experimental, tuvieron medidas de 7.50 cm y 6.05 cm en los organismos de 2 meses y un día de edad respectivamente, mientras que del tratamiento control tuvieron medidas de 2.70 cm (2 meses) y 2.4 (1 día), siendo mayor en aquellos individuos sometidos al tratamiento experimental. (Figura 15)

Se pudo observar que en la primera semana del experimento las extremidades anteriores y posteriores de los individuos sometidos a los tratamientos experimentales ya habían comenzado a desarrollarse mientras (esto fue más evidente en los organismos de un día) que en el tratamiento control ambas extremidades se desarrollaron hasta el mes y medio (Figura 16); asimismo los individuos pertenecientes al tratamiento experimental, al concluir el estudio ya poseían las características de un organismo adulto, por otro lado, los del tratamiento control permanecieron casi de la misma forma que cuando inició el estudio (Figura 17).



Crecimiento de Organismos (Control y Experimental)

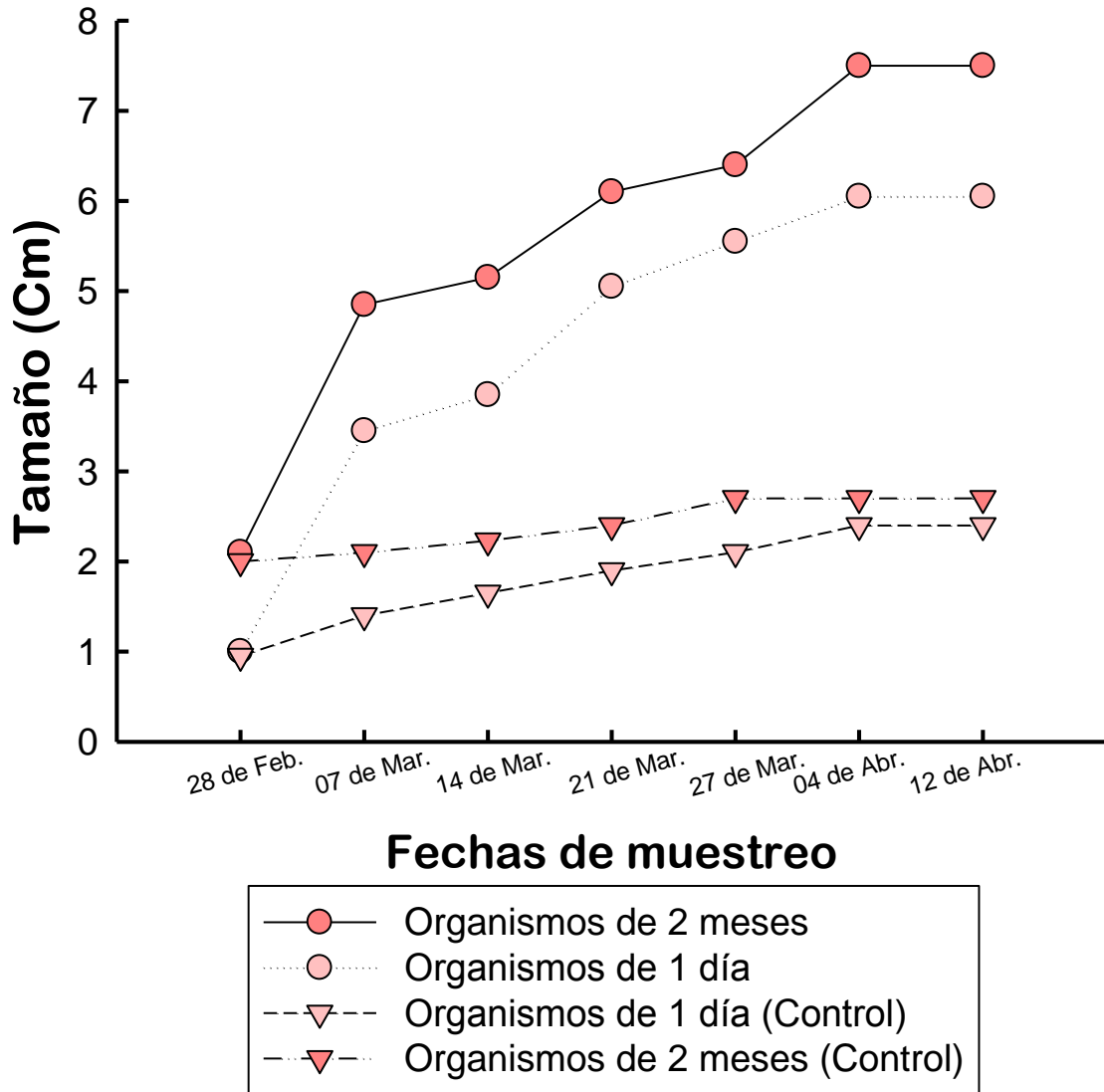


Figura 15. Crecimiento de los organismos del tratamiento experimental y los del tratamiento control durante el periodo de muestreo.



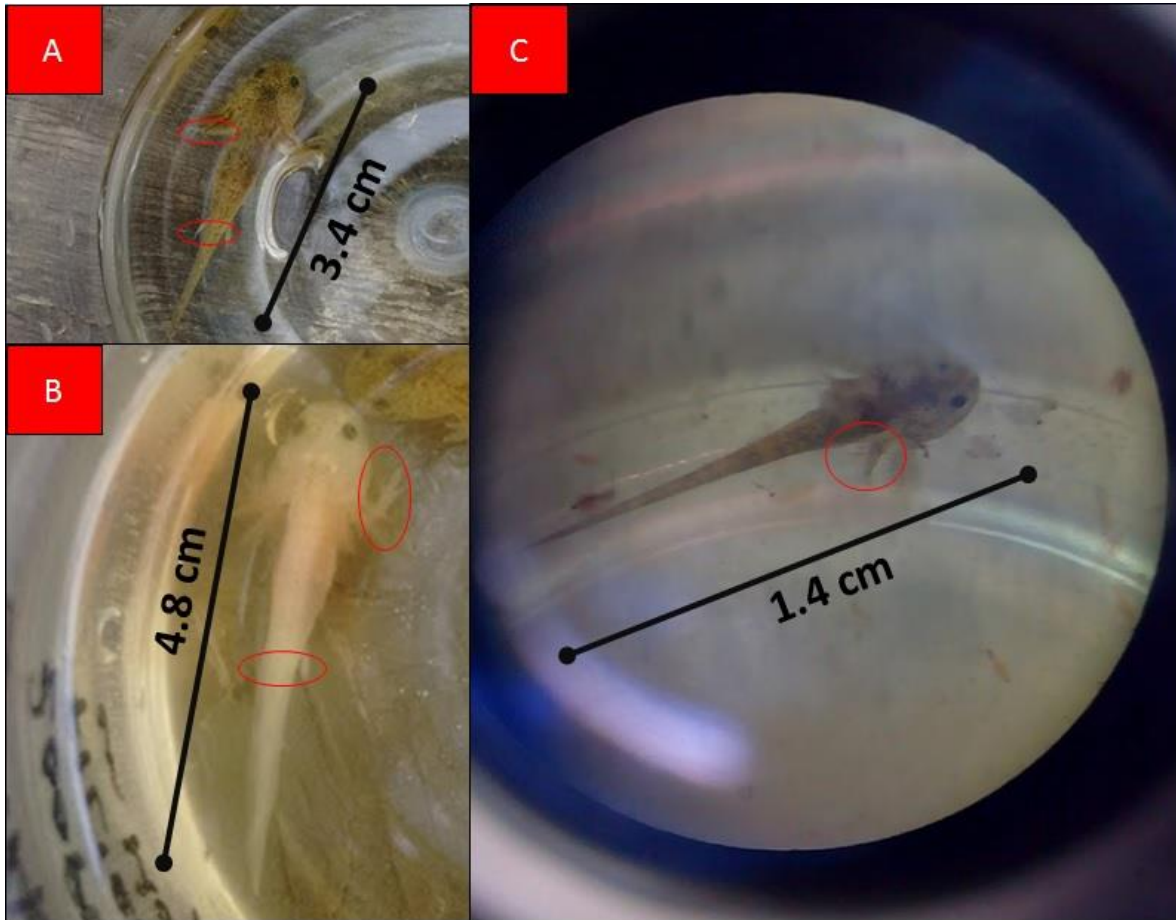


Figura 16. Desarrollo larval de extremidades (encerrados en rojo) en organismos de *A. mexicanum* presentes en los mesocosmos y en el tratamiento control. A: Organismo de 1 día de edad; B: Organismos de 2 meses; C: Organismo control.

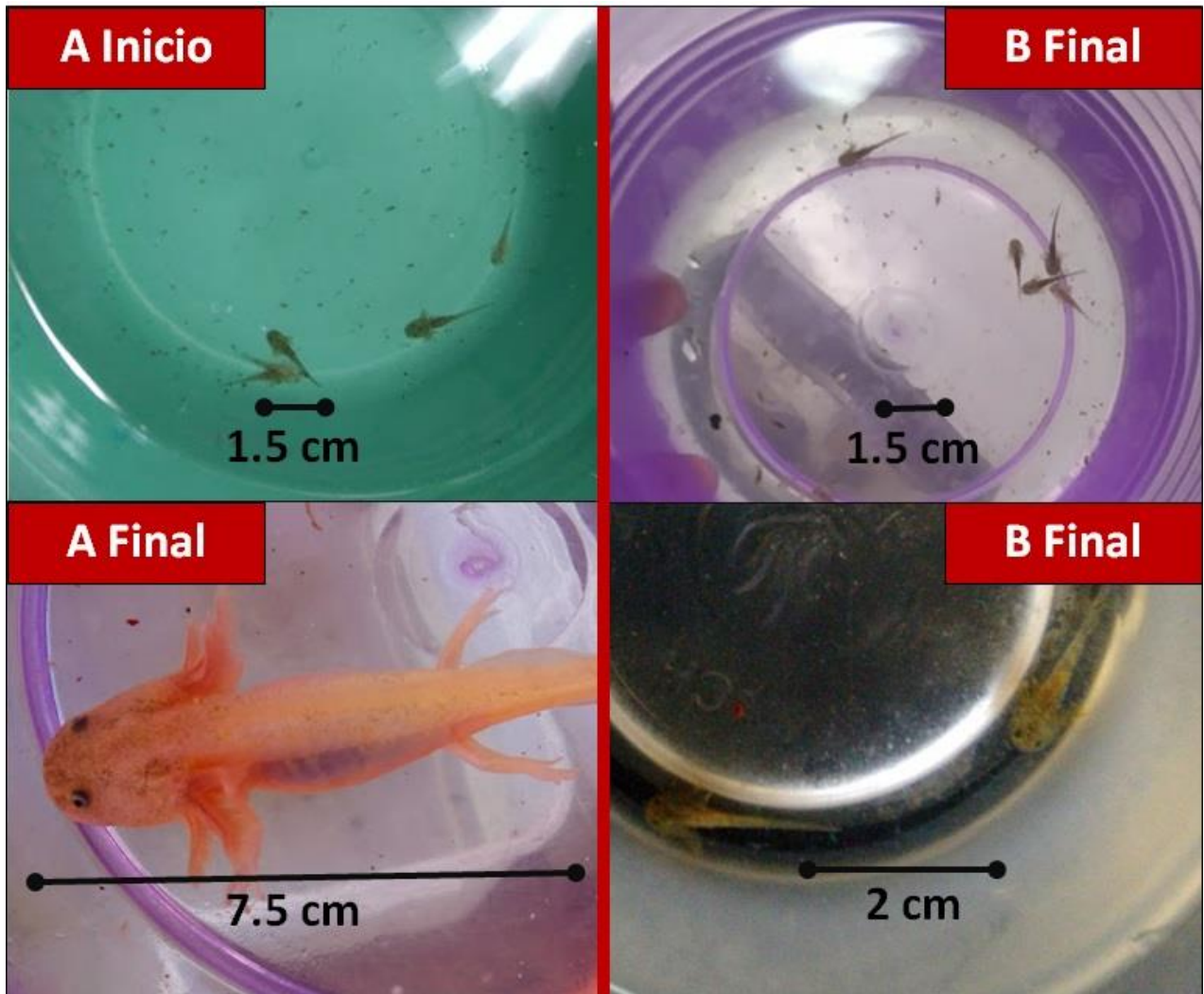


Figura 17. Desarrollo larval de *A. mexicanum* al inicio y final del experimento. A: Organismo presente en los mesocosmos; B: Organismo control.

9. 14 ANÁLISIS DE ZOOPLANCTON.

Al evaluar el zooplancton presente en el lago, se observó que este sólo estuvo presente en el mesocosmos B y C, se encontraron tres tipos de organismos distintos: Rotífera los cuales fueron los que estuvieron más presentes en ambos mesocosmos (460.50 org/mL y 875.00 org/mL) seguido de Copépoda (148.33 org/mL y 300.00 org/mL) y Ostrácoda (77.00 org/mL y 100 org/mL) en los mesocosmos B y C respectivamente, el número de organismos de los tres tipos fue mayor en el C (Figura 19)

Cabe señalar que también se detectó la presencia de organismos pertenecientes a *Cambarellus sp.*, sin embargo, presentaban un tamaño mayor con respecto a las larvas de *A. mexicanum*, por ello es muy poco probable que las larvas los utilizaran como alimento.

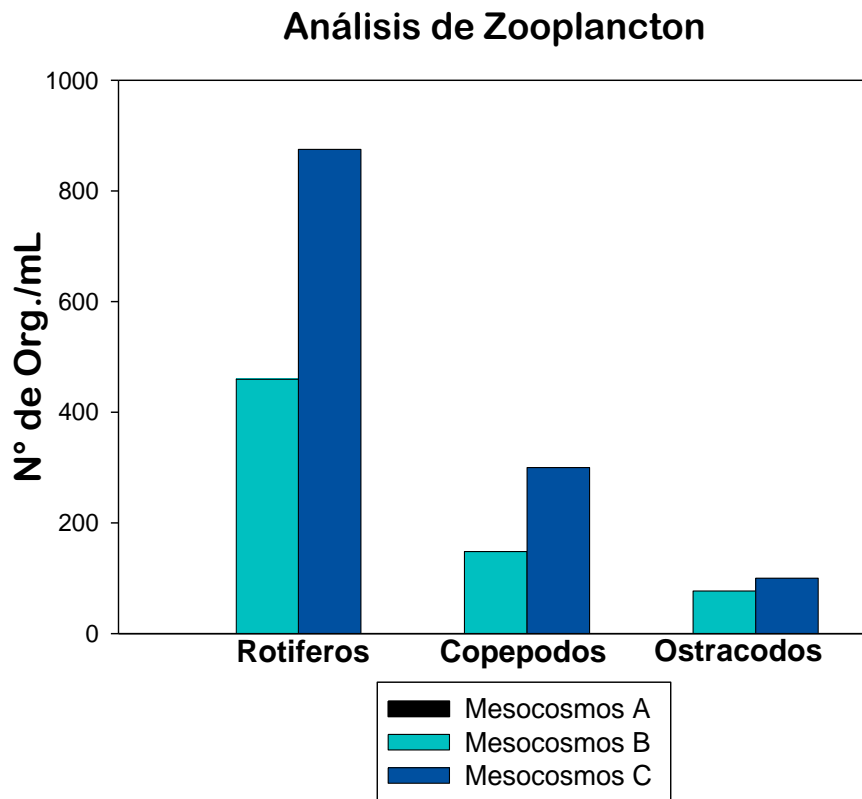


Figura 19. Análisis de Zooplancton, se muestra la cantidad de organismos por mililitro presentes en los Mesocosmos.



9. 15 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).

El análisis de Varianza no encontró diferencias significativas en los tratamientos con cada parámetro, por lo que se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para observar las variables que se relacionaban entre sí y cómo actuaban en cada mesocosmos.

9. 16 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP).

En los mesocosmos A y B, el ACP se agrupó las variables en tres componentes, en ambos casos, el primer componente estuvo constituido por: Oxígeno Disuelto (OD), Saturación de OD, Temperatura y Turbidez, el segundo: Nutrientes (Nitritos, Fosfatos y Amonio) y el tercero: Conductividad. En el mesocosmos A el porcentaje de varianza para el primer, segundo y tercer componente fue de: 45.2%, 37.1% y 13.2% respectivamente mientras que en el mesocosmos B fue de: 44.5%, 38.1% y 13.0%.

El mesocosmos C mostró una tendencia diferente con respecto a los otros dos, el ACP agrupó las variables en cuatro componentes, siendo el primer componente formado por: Nutrientes y pH, el segundo: OD, Porcentaje de saturación de OD y Temperatura, el tercero: Conductividad y el cuarto: Clorofila. Cada componente mostró un porcentaje de varianza de: 42.404, 26.523, 14.800 y 10.811 respectivamente (Figura 20) De acuerdo a esto, cada uno de los componentes interactúan entre sí e influyen la supervivencia de *A. mexicanum* en cada mesocosmos, siendo los primeros dos componentes los que mayor influencia tienen sobre las larvas en el caso de los mesocosmos A y B donde el primer y segundo componente poseen porcentajes similares, 45.2370% y 37.1980% en el A y 44.5350% y 38.1210% en el B.



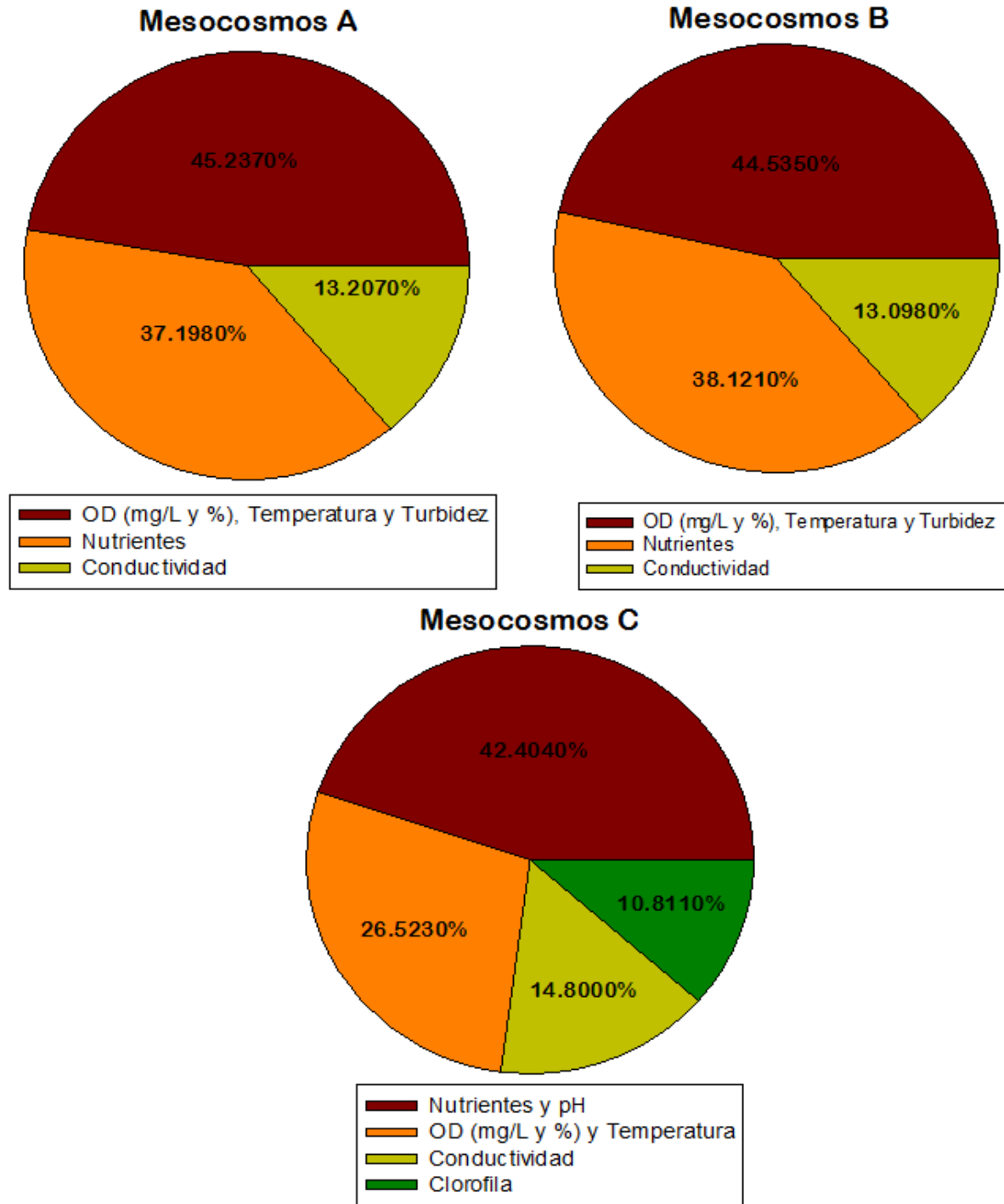


Figura 20. Resultados del ACP, se muestran las variables agrupadas en cada componente de cada mesocosmos, así como sus porcentajes de varianza.

10. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la supervivencia de las larvas de *A. mexicanum* y determinar si estas eran aptas para una posterior introducción en el lago artificial del Bosque de Chapultepec, a pesar de que al término del estudio pocos individuos fueron los que sobrevivieron (3 organismos de 2 meses y 4 de un día) una introducción a futuro podría darse de manera exitosa con la replicación de trabajos como el presentado aquí ya que se pudo constatar un aumento en el desarrollo de los organismos sometidos al tratamiento experimental debido principalmente a la disponibilidad de alimento; asimismo se observó que la interacción de esta especie con una o más variables dificultan su supervivencia, por lo que es de vital importancia determinar qué parámetros son los que mayor peso tienen sobre las poblaciones ya que a partir de esto, se puede tomar en cuenta qué parámetros evaluar antes de una futura introducción.

Se ha observado que a concentraciones mayores a 2 mg/L de amonio, los ajolotes son más susceptibles a enfermedades ocasionadas por bacterias y hongos, así como algunas infecciones tanto internas como externas, por tanto, para que las concentraciones de amonio no afecten la salud de *A. mexicanum*, no deben exceder los 0.1 mg/L (Servín, 2011), posteriormente Mena & Servín (2014) indican que no debe haber concentración alguna de amonio dentro del agua, en el primer mes estas concentraciones no afectan a los organismos, debido a que los valores varían de los 0.03 mg/L a los 0.08 mg/L. A pesar de esto, se observó una muerte inmediata de los organismos encontrados en el mesocosmos A en un lapso de 2 a 3 semanas, mientras que en el mesocosmos B ocurre una disminución del 50% de organismos de 2 meses (los cuales se mantuvieron así hasta el final del estudio) y una muerte total de organismos de 1 día en la segunda semana.

El mesocosmos C es el que me muestra un comportamiento diferente durante este primer mes debido a que ninguno de los organismos muere hasta la cuarta semana, donde se realizó la segunda evaluación de nutrientes y se obtuvieron concentraciones por encima de los 0.2 mg/L, aquí el número de individuos de ambas etapas disminuye un 50%. Estos resultados se pueden extrapolar con el Análisis de Componentes Principales realizado, donde en el mesocosmos C, los nutrientes



tienen un mayor efecto en la supervivencia de estos organismos que en los otros dos, por lo que la muerte de los individuos de los mesocosmos A y B puede deberse a otros factores analizados o a la interacción de estos mismos.

Por otro lado, la ausencia de nitratos durante el primer mes nos podría estar indicando un problema en la catabolización de amonio, al haber un error durante este proceso debido a la ausencia de microorganismos especializados (Porter,2000), es por esto que probablemente las concentraciones de amonio aumentan encima del 50% durante el segundo mes donde además de nuevo no hubo una presencia de nitratos y una disminución de nitritos de entre 0.38 mg/L y 0.67 mg/L.

Se observó que las concentraciones de nitritos no fueron las idóneas para las larvas de *A. mexicanum* durante el primer mes debido a que estaban en el mayor límite posible sugerido por Scherff-Norris *et al* (2002), los cuales establecen que particularmente para los anfibios, el agua no debe de contener una concentración de nitritos mayor a 1 mg/L, durante el primer mes se obtuvieron concentraciones de entre 1 mg/L a 1.15 mg/L en los tres mesocosmos, lo que pudo comprometer la salud de *A. mexicanum* en cada uno, con excepción del C, el cual se encontraba a 2 m del mesocosmos B(Figura 2) donde la disminución de los organismos se da en el momento en que las concentraciones de amonio aumentan por encima del límite (0.1 mg/L).

Se han encontrado especies en las que los individuos muestran una tolerancia similar en cuanto a las concentraciones de un contaminante, cuando se sobrepasa este umbral de concentración, todos los individuos mueren, sin embargo hay especies que muestran una variabilidad entre individuos, de forma que algunos pueden morir al ser sometidos a concentraciones bajas mientras que otros individuos son muy resistentes a concentraciones más altas o a exposiciones más prolongadas, por ejemplo, la salamandra noroccidental (*Ambystoma gracile*), la cual muestra una alta variabilidad entre individuos en la sensibilidad a nitritos (Marco, 2002). Servín (2011) menciona que las altas concentraciones tienen un efecto en la



hemoglobina por lo que el oxígeno no puede ser transportado a través de la sangre mientras que en otros anfibios hay una inhibición en el consumo de alimento.

Al comparar los resultados de fosfatos durante la primer evaluación con la CE-CCA-001/89 la cual establece los criterios ecológicos de calidad del agua se observa que las concentraciones de fosfatos están muy por arriba del límite máximo permisible (0.05 mg/L), en los mesocosmos se encontraron cantidades de entre 1 mg/L a 1.15 mg/L durante la primer evaluación de este parámetro, las altas concentraciones de fosfatos puede ocasionar en los anfibios problemas tanto a nivel osteológico como neurológico (Schad, 2008), igualmente Ronzano & Dapena (1995) mencionan que durante el tratamiento de aguas residuales, el fosforo debe de ser completamente eliminado debido a que el fosforo a niveles altos de concentración puede beneficiar la eutrofización ya que las algas consumen este nutriente, por consiguiente, durante la segunda evaluación, se pudo observar algunas capas densas de cianotoxinas en algunas partes del lago, así como una disminución del fosforo debido a que las algas habían consumido casi en su totalidad este nutriente.

La alta concentración y porcentaje de saturación de OD en el lago se debe principalmente al estado eutrófico del lago (ocasionado por la gran abundancia del fitoplancton), según lo reportado por Peraza (2017) y Peña *et al.* (2005), un aumento excesivo en el fitoplancton provoca un incremento en la concentración de Oxígeno Disuelto, ya que se está produciendo mayor oxígeno del que se está consumiendo, a su vez, el aumento en la abundancia del fitoplancton se debe a factores como los nutrientes, salinidad y temperatura como lo reportado por Trombetta *et al.* (2019).

Las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD) a lo largo de todo el estudio estuvo por arriba de los 6 mg/L, lo cual, según Kramer (1987), es favorable para los organismos presentes en el sistema debido a que el oxígeno se encuentra disponible para todos ellos. Por otro lado, durante todo el estudio, se detectó una saturación por encima del 100%, hasta hoy no se han encontrado datos que demuestren que altas concentraciones de %OD provoque algún efecto nocivo en los anfibios en general, de hecho, algunos autores (Schad, 2008; Mena & Servín, 2014) sugieren un porcentaje de saturación por arriba del 80%, además se



ha encontrado que estas altas concentraciones tienen algunas ventajas para fines terapéuticos en *A. mexicanum* (tratamiento de heridas). Sin embargo, Servín (2011) menciona que puede llegar a afectar de manera moderada la piel y branquias provocando lesiones, como fue observado en un organismo, el cual a partir de la tercera semana del estudio presentó una bifurcación en la aleta caudal, aunque esto no se puede atribuir directamente al OD debido a que ningún otro de los organismos presentó alguna anomalía en piel o branquias. A pesar de lo antes mencionado, al comparar la sobresaturación con otros anfibios, Schad (2008) menciona que una sobresaturación de OD puede conllevar a la aparición de la “enfermedad de las burbujas” la cual puede provocar eritemas, hemorragias y muerte. En un estudio de peces, se encontró que una saturación de OD por encima del 140% provoca émbolos gaseosos en los vasos sanguíneos de las branquias e hígado (Domitrovic *et al.*, 1994).

La temperatura juega un rol importante en todas las especies pertenecientes al género *Ambystoma*, el rango de temperatura ideal para organismos de más de un año de edad va desde los 15 a los 18°C y se recomienda que no pase los 22°C ya que puede presentar problemas como anorexia, problemas de flotación, inmunodepresión, esto evidentemente los hace más susceptibles a otras enfermedades y por lo tanto los organismos mueren (Armstrong y Malacinski, 1989; Nugas, 1996), esto muestra un panorama desalentador para los organismos sometidos al tratamiento experimental ya que en la mayoría de todas las semanas se obtuvieron temperaturas por arriba de los 18°C.

A pesar de esto se ha mostrado que las larvas aceleran su crecimiento al estar sometidas a temperaturas máximas de 25°C sin presentar algún problema (Duhon, 1992), lo cual pudo ser comprobado por Servín (2011) donde menciona que en una colonia del Zoológico de Chapultepec obtuvieron un crecimiento acelerado en larvas a temperaturas de entre 22 y 24°C. comparando con nuestros resultados, lo anterior mencionado nos podría dar una respuesta del por qué un acelerado crecimiento se presentó en las larvas de ambas etapas dentro del lago de Chapultepec ya que estuvieron sometidas a temperaturas altas durante gran parte del estudio, siendo



24°C la más alta registrada, sin embargo, los cambios bruscos de temperatura que se obtuvieron a lo largo del estudio pudieron comprometer la salud de los ajolotes, ya que al comparar la temperatura con el número de organismos, en el mesocosmos A se nota una disminución total de los organismos entre la segunda y tercer semana del estudio, esto ocurre mientras la temperatura va en aumento, por otro lado, en el mesocosmos B, la muerte de los organismos de un día de edad se da en la segunda semana junto con una disminución del 50% en los organismos de dos meses, de acuerdo al ACP esta variable en conjugación con la turbidez y OD, afectaron de mayor manera la supervivencia de estos individuos.

Finalmente, en el mesocosmos C, se detectó que en las primeras semanas, a pesar de que la temperatura iba en aumento, el número de organismos de ambas etapas se mantuvo, entre la tercer y cuarta semana ocurre una disminución de aproximadamente la mitad en ambas etapas, posterior a esto, el número de organismos se mantiene hasta la penúltima y última semana donde hay otra disminución de organismos de un día y dos meses (debido al aumento de amonio), que es lo que nos dice el ACP ya que según este análisis, la temperatura afecta en menor medida a los organismos pertenecientes a este mesocosmos.

La disminución de la temperatura a partir de la cuarta semana del estudio se debió a que durante esos días se registraron lluvias en la Ciudad de México, con base en lo anteriormente mencionado por Peraza (2017) y Trombetta *et al.* (2019) la disminución de la temperatura puede provocar una disminución en la abundancia del fitoplancton, lo que por consiguiente puede causar un decremento en la concentración y saturación de OD. Goyenola (2007) reporta que a temperaturas más altas la calidad del OD disminuye, esto nos puede explicar la relación que hay entre la temperatura y la concentración y saturación de OD al compararlos en los resultados.

En los trabajos realizados por Navarrete *et al.* (2004), Espinosa (2009) y Huerto (2014) se ha reportado la presencia de peces invasores como lo es la carpa asiática (*Cyprinus carpio*) y la tilapia africana (*Oreochromis niloticus*) dentro de los tres lagos de Chapultepec; las cuales debido a sus hábitos alimenticios, remueven el sustrato, succionan lodo y lo expulsan selectivamente provocando así un aumento en la



turbidez (Velarde, 2012; Aguilar y Aguilar, 2019) lo que en combinación con otros factores como las partículas del fondo suspendidas en el agua, sedimentos depositados en el fondo y fitoplancton, provocan un aumento en la temperatura (González, 2011). Lo anterior fue observado a lo largo de todo el estudio donde se encontró una relación directamente proporcional entre estas dos variables. Chaparro-Herrera (2014) en su trabajo menciona que con el aumento de la turbidez, la alimentación de *A. mexicanum* disminuye, asimismo, en otros trabajos se han encontrado que este parámetro disminuye la capacidad natatoria de los anfibios y de igual forma reduce la población de estos organismos (Knutson *et al.*, 2004; Schmutzer *et al.*, 2008), asimismo, la turbidez afecta otras variables como la temperatura, y esta a su vez afecta de manera significativa la supervivencia de las larvas de *A. mexicanum* tal y como sucedió con los organismos pertenecientes a los Mesocosmos A y B, los cuales murieron en su mayoría entre la segunda y tercer semana del estudio.

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y es transportada por los iones en solución (Delgadillo *et al.*, 2010), por lo que esta se mantuvo constante en todo lo largo del estudio (por encima de los 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$), esto podría reflejar la alta tasa de productividad que tienen las algas (Almanza-Marroquín *et al.*, 2016).

Los valores normales de conductividad de un cuerpo de agua va de los 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a los 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y a medida que estos valores van en aumento, se favorece una elevada producción materia orgánica (Margalef, 1995), el Lago Viejo (menor) se encuentra dentro de los valores normales a lo largo de todo el estudio (exceptuando la primer semana), asimismo, se pudo observar una disminución considerable en la conductividad de los días 4 al 11 de abril de 2018, debido a precipitaciones pluviales moderadas de entre 60 mm y 100 mm (CONAGUA, 2018), lo cual disminuye la conductividad, como lo reportado por Elías-Fernández (2006).

La clorofila-a es un indicador indirecto de la biomasa algal y nos indica el estado trófico del cuerpo de agua (Chapman, 1996), en la mayoría de este estudio se encontraron concentraciones de clorofila por encima de los 150 $\mu\text{g}/\text{L}$, lo que lo



clasifica como un lago hipertrófico según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1982), debido a esto, se puede explicar la gran turbidez presentada en el lago a lo largo del estudio. La eutrofización de los lagos se origina debido a los florecimientos algales, principalmente cianobacterias pertenecientes a los géneros *Anabaena* y *Microcystis*, las cuales producen varias toxinas (Chorus y Bartram, 1999), tales como las neurotoxinas, citotoxinas las cuales tienen efectos significativos sobre muchas formas de vida acuáticas, entre ellas los anfibios (Baganz *et al.*, 1998), ya sea por exposición directa de las cianotoxinas o de manera indirecta, a través del zooplancton (Crettaz-Minaglia *et al.*, 2017).

Los valores de pH están relacionado con la presencia de fitoplancton debido a que al elevarse estos valores, hay un aumento en las cianobacterias (Mur *et al.*, 1999; Komárek, 2003), con el aumento del pH, la forma de carbono inorgánico más abundante es el agua es el bicarbonato (HCO_3), las cianobacterias recurren a este como una fuente alternativa de carbono (UNESCO, 2009), debido a esto, es que con la llegada de las lluvias, hay una acidificación del pH y por tanto un decremento en la clorofila debido a que las cianobacterias requieren un pH neutro o levemente alcalino para poder crecer (Campos *et al.*, 2005).

En este estudio el pH estuvo fuera del rango (6.5-8) propuesto por Servín(2011), sin embargo en el trabajo hecho por Cervantes (2017) se menciona que esta especie pudo soportar valores de pH de hasta un 8.9, en la mayoría del estudio se obtuvieron pH de valores alcalinos (9.1 – 9.8), excepto en la penúltima semana donde se obtuvo el valor más bajo (aproximadamente 5.7), de acuerdo con el ACP, este parámetro afectó en mayor medida a los organismos del mesocosmos C, ya que estos disminuyen un 50% a medida que el pH tiende a ser más ácido entre la tercer y penúltima semana (a causa de las lluvias), esto después de haberse mantenido en valores similares en las primeras tres semanas (9.2).

De acuerdo a la NOM-003-ECOL-1997, la cual establece los límites máximos permisibles para las aguas tratadas, tanto los valores de coliformes totales, así como los de coliformes fecales no se encuentran fuera del límite máximo permisible,



lo cual no podría afectar a la vida acuática incluyendo a *A. mexicanum* por bacterias patógenas, procedentes de los desechos, asimismo, la escasa cantidad de coliformes se puede deber principalmente a otros organismos los cuales habitan en el lago (peces, aves y tortugas).

Anteriormente se mencionaba el efecto de la temperatura en el crecimiento de las larvas de *A. mexicanum* (Servín, 2011), lo que nos podría explicar el acelerado crecimiento que tuvieron los organismos del tratamiento experimental (6 cm a 7.5 cm) en comparación con los organismos control (2.4 cm a 2.7 cm), sin embargo, si extrapolamos estos resultados con los obtenidos en el trabajo hecho por Montes (2018), podemos encontrar datos similares, en dicho trabajo, al introducir dos organismos en un estanque artificial con las características adecuadas para *A. mexicanum* en comparación con un organismo aislado, encontraron que aquellos 2 organismos sometidos al estanque artificial tenían una talla superior en comparación con el organismo aislado, en algunos otros trabajos hechos, se ha encontrado que el factor determinante para esta variable son la disponibilidad de alimento, así como el espacio y volumen de agua, en esta forma (Zambrano *et al.*, 2003; CONABIO, 2011; Servín, 2011), los organismos que se encontraban dentro del lago contaban con un mayor espacio y disponibilidad de alimento (Rotífera, Copépoda y Ostrácoda) mientras que aquellos que estaban en el control estaban en un lugar más reducido y solamente eran alimentado con Daphnias.

Por otro lado, el desarrollo de las extremidades de los organismos de 1 día de edad se observa que en tan solo una semana las extremidades anteriores se desarrollaron perfectamente y ya se podían observar los brotes de las posteriores, al comparar esto con el trabajo hecho por Cervantes (2017), se observa que el crecimiento de las extremidades fue acelerado ya que en este último trabajo los brotes de las extremidades anteriores aparecieron aproximadamente 22 días después de la eclosión, si comparamos esto con los organismos de dos meses de edad, esto resulta ser más impactante debido a que al momento de ser introducidos, los individuos de dos meses ya poseían los brotes de las extremidades anteriores, y el crecimiento de estas, se dio al mismo tiempo que con los organismos de 1 día.



A. mexicanum, al igual que todos los anfibios, es considerado un carnívoro estricto (Servín, 2011), en algunos análisis de contenido estomacal se han encontrado: pequeños crustáceos, larvas de peces copépodos y microorganismos, larvas de insectos y oligoquetos, dando a entender que su dieta en vida es muy variada, asimismo Zambrano *et al.* (2003) menciona que como tal, no hay una preferencia marcada hacia algún alimento en particular, sino que consumen cualquier alimento que esté disponible.

Con base en esto, se puede inferir que de entre los grupos alimenticios disponibles en el lago, Rotífera es el que fue mayormente consumido por las larvas de *A. mexicanum* debido a que fue el que estuvo en mayor cantidad (460 org/mL - 875 org/mL) en comparación con los Copépodos (148 org/mL – 300 org/mL) y los Ostrácodos (77 org/mL – 100 org/mL), sin embargo, Chaparro-Herrera *et al.* (2011) menciona que tanto en vida silvestre como el laboratorio, *A. mexicanum* muestra una preferencia por encima de otros grupos alimenticios que por los Rotíferos, esto se debe principalmente a que *A. mexicanum* se inclina por alimentos que proporcionen una mayor cantidad de energía, aplicando poca energía para su captura, los Rotíferos son organismos rápidos que se mueven alrededor de toda la columna de agua (de Paggi, 2004) lo que implica un alto gasto energético para su captura.

A pesar de esto, se observó que los organismos de ambas etapas nadaban insistentemente de manera rápida alrededor de todo el encierro, esto es un comportamiento poco usual, ya que la bibliografía menciona que estos organismos pasan la mayor parte del tiempo en el fondo de la columna de agua y son de poca actividad (Servín, 2011; Mena & Servín, 2014), lo que nos podría sugerir un cambio en la conducta para obtener el recurso alimenticio, sin embargo no se descarta la idea de que pudiesen haberse estado alimentando de los otros dos grupos encontrados.

Asimismo, la presencia de tres grupos alimenticios diferentes hace que *A. mexicanum* pueda elegir entre de qué alimentarse, lo que benefició de manera importante el crecimiento.



Por otro lado, en el mesocosmos A no se detectó la presencia de algún grupo alimentario lo que nos podría explicar la muerte prematura de los organismos de este mesocosmos, sin embargo, en este y en los demás mesocosmos se detectó una gran cantidad de fitoplancton a causa del estado hipertrófico de lago, como se mencionó anteriormente, *A. mexicanum* es una especie estrictamente carnívora (Servín,2011), por lo que no es posible que se estuviesen alimentado de estos organismos, asimismo, hasta al momento no se ha detectado alguna relación simbiótica entre *A. mexicanum* con alguna microalga tal y como sucede con la salamandra moteada (*Ambystoma maculatum*) (Small & Bishop, 2014).



11. CONCLUSIONES

- Los organismos sometidos al tratamiento control presentaron una mayor supervivencia en comparación con los organismos del tratamiento experimental principalmente debido a las condiciones controladas a las que estuvieron sometidos en el laboratorio.
- Por otro lado, los organismos sometidos al tratamiento experimental presentaron un crecimiento y desarrollo mayor a aquellos sometidos al tratamiento control, esto debido a algunos parámetros como la temperatura y a la presencia de tres diferentes tipos de alimento (Rotífera, Copépoda y Ostrácoda).
- En el mesocosmos A no fue posible encontrar zooplancton a lo largo de todo el estudio, esto nos podría explicar la inmediata muerte de los organismos presentes en este mesocosmos. Los organismos encontrados en el mesocosmos C fueron los que presentaron una mayor supervivencia, esto se pudo a que se detectó una mayor presencia de zooplancton en comparación con los mesocosmos A y B.
- A pesar de haber diferencias en las supervivencias, el ANOVA de dos vías no encontró diferencias significativas entre los tres mesocosmos, pero sí hay una diferencia de estos tres en comparación con el tratamiento control.
- La interacción entre todos los factores (producto del efecto cascada) influyeron en la sobrevivencia de *A. mexicanum*, sin embargo, al Análisis de Varianza (ANOVA) no encontró diferencias significativas entre los tres mesocosmos, por otro lado, con el Análisis de Componentes Principales (ACP) se pudieron detectar que parámetros como saturación de OD, OD, Temperatura y Turbidez afectaron en igual manera tanto al mesocosmos A y B, mientras que en el mesocosmos C fueron los nutrientes.
- El posible consumo de rotíferos pudo alterar el comportamiento de *A. mexicanum*, haciendo que los organismos fuesen más activos para así poder capturar el mayor número de presas para compensar el poco contenido energético que estos organismos aportan para *A. mexicanum*.



- Se pudo detectar que *A. mexicanum* muestra una variabilidad en cuanto a la tolerancia de algunos parámetros, esto se observó debido a que algunos organismos pudieron soportar condiciones adversas tales como nutrientes, temperatura y pH.
- Hace falta realizar más estudios como el presentado en este trabajo debido a que hoy en día muy pocos trabajos abordan la problemática de restauración del hábitat, de igual manera estos trabajos nos ayudarían a conocer más sobre el comportamiento de *A. mexicanum* en vida silvestre.



12. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. y Aguilar R. (2019). El mítico monstruo del lago: la conservación del ajolote de Xochimilco. *Revista Digital Universitaria*, 20(1), pp. 1-17.
- Alcocer, J. (1998). *Caracterización Hidrobiológica de los Lagos de Chapultepec, México*. Tesis de Maestría en Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Almanza-Marroquín V., Figueroa R., Parra O., Fernández X., Baeza C., Yáñez J. y Urrutia R. (2016). Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Aquat. Res.*, 44(2), pp. 313-326.
- Álvarez, J.G.; Medellín, R.A., Oliveras de Ita, A., Gómez de Silva H. & Sánchez O. (2008). *Animales exóticos en México: una amenaza para la biodiversidad*. México: CONABIO.
- Armijos, J.D. (2014). *Diseño de una estrategia técnica para la reintroducción de Atelopus sp. (complejo spumarius) a su hábitat natural en cuatro cantones de Morona Santiago, Ecuador*. Tesis de Licenciatura en PUCE, Ecuador.
- Armstrong, E. y Malacinski S. (1989). *Developmental biology of the axolotl*. USA: Oxford University Press.
- Baganz, D., G. Staaks y C. Steinberg. (1998). Impact of the cyanobacteria toxin, microcystin-LR on behaviour of zebrafish, Daniorerio. *Water Research* 32, pp.948-952.
- Campos, V.; Lisperguer, S., Weekesser, J., Vera, A. & Muñoz, D. (2005). Cianobacterias y riesgos potenciales de toxicidad en aguas continentales de Chile. *Boletín micológico*, 20, pp 73 – 81.
- Castañé, P. M., Loez, C. R., Olgún, F., Puig, A., Rovedatti, M. G., Topalián, M. L. & Salibián A. (1998). Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14, pp.69-77.
- Cervantes, V. 2017. *Aspectos reproductivos, producción de crías y crecimiento de A. mexicanum en estanques circulares exteriores* (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.



- Clark, T.W. (1989). High-Performance Teams in Wildlife Conservation: A Species Reintroduction and Recovery Example. *Environmental Management*, 13(6), pp. 663-670.
- Chaparro-Herrera, D.J. 2014. Evaluación del impacto de *Oreochromis niloticus* (Pisces) en la sobrevivencia y comportamiento alimenticio de *Ambystoma mexicanum* (Anfibio) a través de cambios en la estructura de la comunidad zooplanctónica (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Chaparro – Herrera, D.; Zambrano, L., Nandini, S. & Sarma, S.S.S. (2011). Feeding behaviour of larval *Ambystoma mexicanum*. *Amphibia-Reptilia*. 32. 509-517.
- Chapman, D. (1996). Water quality assessments - A use of biota, sediments and water in environmental monitoring. USA: Cambridge.
- Chorus, I. y Bartram, J. (1999). *Toxic cyanobacteria in water: A guide to their health consequences, monitoring and management*. USA: Who.
- CITES. (2017). Apéndices I, II y III. Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres. Recuperado el 10 de junio de 2019, de <https://www.cites.org/esp/app/appendices.php>
- CONABIO. (2011). Axolotl o Ajolote Mexicano. Recuperado el 18 de septiembre de 2010, de https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/especies_priori/fichas/pdf/ajoloteMexicano.pdf
- CONAGUA. 2018. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia, México. CONAGUA. Recuperado el 13 de junio de 2019, de <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Contreras, V., Martínez, E., Valiente E. & Zambrano, L. (2009). Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Biological Conservation*, 142, pp. 2881-2885.



- Crettaz-Minaglia, M., Sedan, D. y Giannuzzi, L. (2017). *Bioacumulación y biomagnificación de cianotóxicas en organismos acuáticos de agua dulce*. En *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud* (pp. 171-186). Argentina: Universidad General de Sarmiento.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: UMSS.
- de Paggi, S.J. (2004). Diversidad de rotíferos monogononta del litoral fluvial argentino. *Miscelánea*, 12, pp. 185-194.
- Domitrovic, H., Bechara, J., Jacobo, W., Flores-Quintana, C. & Roux J. (1994). Mortandad de peces en el río Paraná provocada por sobresaturación de gases: Causas y lesiones. *Revista de Ictiología*, 2/3(1/2), pp. 49-52.
- Duhon, S. (1992). Spawning axolotls at UI: a ten-year history. *Axolotl Newsletter*, 21, pp. 29-36.
- Elías-Fernández G., Navarrete-Salgado N.A., Fernández-Guzmán J.L. y Contreras-Rivero G. (2006). Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el lago urbano del parquet Tezozomoc de la Ciudad de México. *Chapingo*, 12(6), pp. 155-159.
- Espinosa, H. (2009). Los peces y sus hábitats. *Historia Natural y Ecología de Poblaciones*, 1, pp. 357-362.
- Gibbs, J.P., Marquez, C., y Sterling, E.J. (2008). The role of Endangered Species in Ecosystem Restoration: Tortoise – Cactus Interactions on Española Island, Galapagos. *Restoration Ecology*, 1, p. 85.
- Gonzáles, W. A. (2012). *Evaluación del crecimiento y desarrollo larvario de Strombus gigas en Mesocosmos, una alternativa para su cultivo*. Tesis de Maestría en Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México.
- Gonzáles, C. (2011). Monitoreo de la Calidad del Agua. *Extensión Agrícola*, 1, p. 11.
- Goyenola, G. (2007). Guía para la utilización de valijas viajeras- Oxígeno Disuelto. *Red MAPSA*, 1, p. 3.



- Griffiths, R. & Pavajeau, L. (2008). Captive Breeding, Reintroduction, and the Conservation of Amphibians. *Conservation biology*, 22(4), pp. 851-861.
- Huerto, I. (2014). Control de malezas acuáticas y recuperación de especies emblemáticas. *IMTA*, 1, p. 41.
- INEGI, 2012. Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Documento en versión PDF]. Recuperado el 10 de septiembre de 2019, de:
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/09/09016.pdf
- IUCN. (2018). The IUCN red list of threatened species. Gland, Suiza: *International Union for the Conservation of the Nature*. Recuperado el 10 de Junio de 2019, de <https://www.iucnredlist.org/>
- Komárek, J. (2003). Coccoid and colonial cyanobacteria. En: *Freshwater algae of North America. Ecology and Classification*. pp. 59-116.
- Knutson, M.G., Richardson, W.B., Reineke, D.M., Gray, B.R., Parmelee, J.R. y Weick S.E. (2004). Agricultural pond support amphibian populations. *Ecological Applications*, 14(3), pp. 302-306.
- Kramer D.L. (1987). Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes*, 18(2), pp. 81-92.
- Marco, A. (2002). Contaminación global por nitrógeno y declive de anfibios. *Rev. Esp. Herp.*, 1, pp. 97-109.
- Margalef, R. (1995). *Ecología*. (8va ed). Barcelona, España: Omega
- Mena, H., & Servín, E. (2014). Manual básico para el cuidado en cautiverio del ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). *Restauración Ecológica*, 1, p. 34.
- Molina, A. (2010a). El ajolote de Xochimilco. *Redalyc*, 98, pp- 54-59.
- Molina, C. (2010b). ¿Las reintroducciones de anfibios amenazados han sido exitosas como estrategias de conservación?. En *Ciencia y conservación de especies amenazadas en Venezuela: Conservación basada en evidencias e intervenciones estratégicas* (pp. 55-56). Venezuela: Conophillips.



- Montes, M. (2018). *Alternativa de Introducción de Ambystoma mexicanum en el Valle de México*. Tesis de Licenciatura en Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, México.
- Mur, L.R., Skulberg, M.O. y Utkilen, H. (1999) *Cyanobacteria in the environment*. En: *Toxic cyanobacteria in water*. (p.17). London and New York: E y FN Spon.
- Navarrete, N., Contreras, G. & Rojas, L. (2004). Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los Lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. *Revista de Zoología*, 1(15), pp. 1-6.
- Negrete, R.P. & Romero, J.M. (1999). Aislamiento de bacterias asociadas con infecciones en el cultivo de ajolote: *Ambystoma mexicanum*. *Hidrobiológica*, 9(1), pp 9-14.
- Nugas, A. (1996). Axolotl larvae housing methods. *Axolotl Newsletter*, 1, pp 14-17.
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) 1982. *The OCDE Listo Social Indicators*, Paris.
- Orozco, C., Pérez, A., González, M.N., Rodríguez, F. & Alfayate, J. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química.*, tercera edición. España: Thomson Editoriales.
- Parra-Olea, G.; Flores-Villela, y Mendoza-Almeralla. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, pp. 460-466.
- Peraza, R. 2017. *Diversidad y abundancia del fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba)*. Tesis de maestría en Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de la Habana, Cuba.
- Peña, J., Palacios, M. y Opsina-Álvarez, N. (2005). *Algas como indicadores de contaminación*. Colombia: Universidad del Valle.
- Porter, E. (2000). EL nitrógeno en la lluvia amoniaca. *National Atmospheric Deposition Program*, 1, p. 16.
- Prieto, M., Castaño, F., Sierra, J., Logato, P. & Botero J. (2006). Alimento vivo en la larvicultura de peces marinos: copépodos y mesocosmos. *Revista MVZ Córdoba*, 11(1), pp. 30-36.



- Rodríguez, P.; Soberón J. y Arita H.T. (2003). El componente de la biodiversidad de mamíferos en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 89, pp.241-259.
- Roldán, P.G. y Jairo, R. R. J. (2008). *Fundamentos de limnología* 2nda edición. Colombia: Universidad de Antioquía.
- Ronzano, E. y Dapena, J.L. (1995). *Eliminación de fósforo en aguas residuales*. En Tratamiento biológico de las aguas residuales (pp. pp89-172). Madrid: Díaz y Santos.
- Samboni, N.E., Carvajal Y. & Escobar J. (2007). Revisión de Parámetros fisicoquímicos como indicadores de la calidad y contaminación del agua. *Rev. De Ing. Inv*, 27(3), pp. 172-181.
- Santos, T. & Tellería, J.L. (2006). Pérdida y fragmentación el hábitat: efecto sobre la conservación de especies. *Rev.Cient. y Tec. De Ecol y Med. Amb*, 15(2), pp. 3-12.
- Sarrazin, F. & Barbault, R. (1996). Reintroduction: challenges and lessons for basic ecology. *TREE*, 11(11), pp. 241-246.
- Schad, K. (2008). *Guía para el manejo de anfibios en cautiverio*. México: ATAG.
- Scherff-Norris, K., Livo, L.J., Pessier, A., Fetkacich, C., Jones, M., Kombert, M., Goebel, A. y Spencer, B. (2002). *Boreal Toas Husbandry Manual*. Colorado, USA: Colorado Division of Wildlife.
- Schmutzer, A.C., Gray, M.J., Burton, E.C., y Miller, D.L. (2008). Impacts of cattleon amphibian larvae and the aquatic enviroment. *Freshwater Biol*, 53, pp. 2613-2625.
- SEMARNAT. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México deflora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Servín, E. 2011. *Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina aplicada al ajolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum) en el zoológico de*



Chapultepec. Tesis de Licenciatura en Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Small, P.D., & Bishop, C.D. (2014). The roles of oxygen and ammonia in the symbiotic relationship between the spotted salamander *Ambystoma maculatum* and the green alga *Oophila amblystomatis* during embryonic development. *Symbiosis*, 64, pp 1-10.
- Trombetta, T.; Vidussi, F., Mas, S., Parin, D., Simier, M. & Mostajir, B. (2019). Water temperatura drives phytoplankton blooms in coastal waters. *PLOS ONE*. pp 1-26.
- UNESCO (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión*. Montevideo, Uruguay: PHILAC.
- Vargas-González, A.; Prado-Zayago, E., León-Olea, M., Guarner-Lans, V. & Cano-Martínez, A. (2005). Regeneración miocárdica en *Ambystoma mexicanum* después de lesión quirúrgica. *Archivos de Cardiología de México*, 75(3), pp. 21-29.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y Conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), pp. 221-246.
- Velarde, T. (2012). Importancia ecológica y cultural de una especie endémica de ajolote (*Ambystoma Dumerilii*) del lago de Pátzcuaro, Michoacán. *Etnobiología*, 10(2), pp. 40-49.
- Zambrano, L., Contreras, V., Mazari, V., & Zarco, A.E. (2009). Spatial Heterogeneity of Water Quality in a highly Degraded tropical freshwater ecosystem. *Environmental Management*, 43, pp. 249-269.
- Zambrano, L., Reynoso, V. H. & G. Herrera. (2003). Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. *Proyecto ASS04*, 1, p. 35.
- Zapata, M.C. & Solís, L.G. (2003). Axolotl: el auténtico monstruo del Lago de Xochimilco. *Kuxulkab'*, 19(36), pp. 41-48.



12. ANEXO

I. RESULTADOS DEL MÉTODO HOLM-SIDAK

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
Control vs Mes. A	1.550E+001	8.591E+000	<0.001	0.009	Yes
Control vs Mes. B	1.500E+001	8.313E+000	<0.001	0.010	Yes
Control vs Mes. C	1.167E+001	6.466E+000	<0.001	0.013	Yes
Mes. C vs Mes. A	3.833E+000	2.125E+000	0.040	0.017	No
Mes. C vs Mes. B	3.333E+000	1.847E+000	0.072	0.025	No
Mes. B vs Mes. A	5.000E-001	2.771E-001	0.783	0.050	No

