



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO(A) EN BIOLOGÍA

**Monitoreo de la calidad del agua y mantenimiento del ajolote
Ambystoma mexicanum (Shaw y Nodder, 1798) en cultivo
semi-intensivo en estanques de geomembrana.**

QUE PRESENTA EL ALUMNO (A)

Zaira Yael Cortés Alquicira

Matrícula

2133025539

ASESORES:

Dr. José Antonio Ocampo Cervantes

No. Económico 36587

M. en C. María Guadalupe Figueroa Torres

No. Económico 14403

México, D.F.

Mayo 2018

Resumen

El ajolote (*Ambystoma mexicanum*) es un anfibio perteneciente a la familia de las salamandras, reportado como endémico del sistema lagunar que existía en el Valle de México. Actualmente a consecuencia de diversos factores como la destrucción del hábitat, la contaminación del agua, y la introducción de especies exóticas, la densidad poblacional del ajolote ha descendido drásticamente hasta llegar al punto de estar clasificada dentro de la lista roja de la IUCN como especie críticamente en peligro, registrada en el apéndice II de la CITES y catalogada en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010. El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC), el cual se dedica a la producción y manejo de ajolotes con el fin de conservar la especie, aquí se realizaron actividades para apoyar en el manejo de *A. mexicanum*, entre éstas se realizó la evaluación de parámetros físico-químicos del agua, mantenimiento de estanques y biometrías de los organismos. Los resultados obtenidos sirvieron para tener información acerca de la calidad del agua con la que se trabaja en el CIBAC, mejorar las condiciones de los estanques, así como también tener datos sobre el estado actual de la población de ajolotes en las instalaciones del CIBAC.

Palabras clave: *Ambystoma mexicanum*, biometrías, calidad del agua, manejo.

Índice

Marco institucional.....	4
Introducción.....	4
Antecedentes.....	6
Ubicación geográfica.....	7
Objetivos.....	7
Especificación y fundamento de las actividades.....	8
Resultados.....	12
Discusión.....	25
Impacto de las actividades.....	28
Aprendizaje y habilidades obtenidas.....	29
Referencias.....	30

Marco institucional

El Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) es un proyecto que pertenece a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) unidad Xochimilco. La UAM es una institución educativa que se fundó ante la necesidad de contar con un Centro de educación superior, que cubriera las demandas educativas de la época, pues se presentaban problemas de sobre población de estudiantes de nivel superior (UAM-X, 2017).

La UAM busca redefinir el sistema de enseñanza para que en este se impliquen problemáticas reales de la sociedad, con el fin de lograr un mejor dominio de las prácticas profesionales y comprender que no se aprende completamente mediante una visión unidisciplinaria, es por eso que la misión de ésta institución es formar profesionales con capacidad de identificar y resolver problemas socialmente relevantes, mediante el trabajo y desarrollo de investigaciones en equipos interdisciplinarios; así como brindar servicio a partir de un modelo que integre la docencia, investigación, preservación y difusión de la cultura (UAM-X, 2017).

Introducción

México es el quinto país en riqueza de anfibios después de Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, con una diversidad total de 376 especies (Parra-Olea, et al. 2014), sin embargo, la diversidad de anfibios ha ido disminuyendo por factores como la destrucción del hábitat, explotación, introducción de especies exóticas y aparición de enfermedades infecciosas emergentes como ranavirus y quitridiomycosis (Gascon, et al. 2007). Actualmente en México 164 especies están catalogadas como amenazadas o críticamente amenazadas, lo cual equivale al 43% de la diversidad total (Parra-Olea, et al. 2014). Dentro de estas especies amenazadas se encuentra el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*), que es anfibio perteneciente a la familia de las salamandras, reportado como endémico del sistema lagunar que existía en el Valle de México, compuesto por los lagos de Texcoco, Xochimilco, Tláhuac, Chalco, parte del lago de Zumpango y Xaltocán (CONABIO, 2011).

En la actualidad su distribución en estado silvestre se encuentra restringida a los remanentes de la zona lacustre de Xochimilco, Chalco y Tláhuac (Molina, 2010).

Una de las principales características que presenta esta especie es que no realiza metamorfosis, aún llegada la madurez sexual mantiene sus características larvales, a esta capacidad se le conoce como neotenia, razón por la cual es estrictamente acuático (Molina, 2010). Además, posee la capacidad de regenerar extremidades, branquias, lentes oculares y partes del corazón dañados (Kochegarov et al. 2015). Durante los últimos años la densidad poblacional del ajolote ha descendido drásticamente, hasta a llegar a 0.001 organismos por metro cuadrado (Zambrano et al. 2007; Robles, 2009) dentro de las principales causas que han provocado la disminución poblacional de esta especie se encuentran la destrucción de su hábitat como consecuencia del cambio de uso de suelo de la zona, la contaminación por actividades agrícolas, el turismo y el uso de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento, principalmente de la planta del Cerro de la Estrella y en menor proporción de San Luis Tlaxiátemalco para mantener el nivel de agua de los canales (López, 2006; Contreras, 2009).

Otro factor que ha influido en la pérdida de esta especie es la introducción de especies exóticas como carpas (*Cyprinus carpio*) y tilapias (*Oreochromis niloticus*), debido a que estas especies se comen a las crías de ajolote y compiten con él por alimentos (CONABIO, 2011). Debido al deterioro de su hábitat y la disminución de su población, *A. mexicanum* se encuentra clasificada dentro de la lista roja de la IUCN, como especie críticamente en peligro, registrada en el apéndice II de la CITES y declarada como especie en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Molina, 2010; CONABIO, 2011), la cual tiene como objeto identificar especies de flora y fauna silvestres en riesgo dentro de la República Mexicana. La categoría de especies en peligro de extinción, incluye especies cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente, poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros (DOF, 2010).

Existen diversos motivos para conservar al ajolote, entre estos destaca su capacidad de regenerar tejidos, razón por la cual ha sido ampliamente estudiada en el ámbito de la medicina, para implementar esta característica en tratamientos en el ser humano, además del gran valor cultural y biológico que representa (Molina, 2010).

Antecedentes

La delegación Xochimilco y la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (UAM-X), firmaron un convenio en 1994 para la creación del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC); posteriormente en 1999 las autoridades del Distrito Federal, donaron a la UAM-X las instalaciones y el predio con una superficie de 1.2 hectáreas, tras esta donación y con el enfoque que tiene la UAM de involucrar y dar solución a problemáticas reales de la sociedad, el CIBAC se comprometió a dirigir sus actividades a la resolución de la problemática ecológica y social de la Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX), (UAM-X, 2018). Por lo tanto el objetivo principal del CIBAC es apoyar a la conservación de la Cuenca de Xochimilco y su Patrimonio Natural y Cultural mediante el trabajo interdisciplinario y preservación de la cultura, realizando énfasis en la conservación y aprovechamiento sustentable de especies endémicas, en riesgo o en peligro de extinción y su hábitat en beneficio de la comunidad (UAM-X, 2018).

El CIBAC fue registrado como Unidad de Manejo Ambiental (UMA) con el objetivo de que las actividades que allí se realizan, cumplieran con los aspectos legales necesarios para el manejo de especies amenazadas, adquiriendo así la capacidad para realizar manejo y producción de especies endémicas de la zona lacustre de Xochimilco entre las que se encuentra *A. mexicanum* (UAM-X, 2018)

Ubicación geográfica

El CIBAC se encuentra ubicado en la Delegación Xochimilco de la Ciudad de México (Semanaario de la UAM, 2016), en el Barrio de Cuemanco al costado oriente de la pista Olímpica de Remo y Canotaje “Virgilio Uribe” (Sánchez, 2014), dentro del Área

Natural Protegida de los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, entre los 19°16'54'' N y 99°06'11'' O.

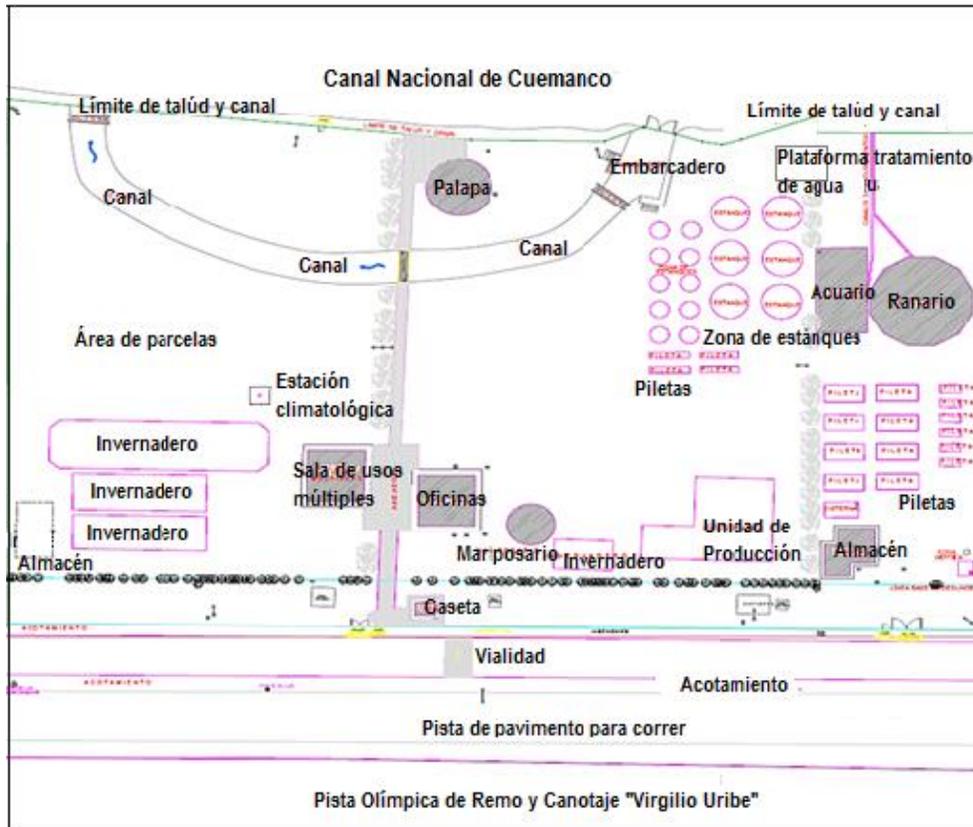


Figura 1. Plano de ubicación de las instalaciones del CIBAC.

Objetivo del CIBAC

El objetivo de la UMA CIBAC es la producción de crías, juveniles y adultos de ajolote (*A. mexicanum*) con fines de conservación. (Semnario de la UAM, 2016).

Objetivo general y particulares del proyecto

- Evaluar los parámetros físico - químicos del agua con la que se trabaja en CIBAC y de los estanques en los cuales se mantiene a los ajolotes.
- Realizar limpieza y mantenimiento de los estanques y sus cubiertas.
- Alimentar los ejemplares de *A. mexicanum*.
- Realizar censos y biometrías de los ajolotes mantenidos en el CIBAC.

Especificación y fundamento de las actividades desarrolladas

Evaluación de los parámetros físico-químicos

El agua con la que se trabaja en las instalaciones del CIBAC, proviene del canal de Cuemanco y es tratada mediante un humedal artificial, el cual es un sistema capaz de biodegradar materia orgánica y eliminar materiales disueltos y suspendidos en el agua (Luna-Pabello & Aburto-Castañeda, 2014), posteriormente esta agua es utilizada para llenar los estanques en los que se mantiene a los ajolotes. Cada 15 días se colectaron muestras de estos tres tipos de agua, la colecta de muestras se llevó a cabo una vez al día alrededor de las 12:00 pm, posteriormente se les realizó la evaluación de los parámetros físico-químicos. Con el multiparamétrico Hanna 83200 se evaluó la concentración de nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^{3-}), mientras que el pH, salinidad y temperatura, se midieron con el potenciómetro Hanna.

El monitoreo de los parámetros físico-químicos de los estanques funciona como base de datos para determinar en qué estanques se necesitaba hacer cambios de agua y que porcentaje era necesario cambiar, además proporcionó información sobre la calidad del agua con la que se trabaja en las instalaciones del CIBAC y a su vez esta base de datos estará disponible y servirá a otros proyectos que requieran esta información.

Mantenimiento de estanques

El mantenimiento y producción de ajolotes en la UMA CIBAC se llevó a cabo en 16 estanques de geomembrana a cielo abierto, seis con un diámetro de tres metros y diez de tres metros (UAM-X, 2018); es importante destacar que cuando se tienen organismos en condiciones de cautiverio, la salud de éstos depende de factores como la calidad del agua, la alimentación y la densidad, por ello es necesario monitorear y mantener estos factores en condiciones óptimas y así los organismos se encuentren en un medio favorable que permitan un adecuado desarrollo, crecimiento y reproducción (Robles *et al.* 2009).

Cada semana se revisaron las condiciones de los estanques y sus coberturas, en el caso de las cubiertas de redes se revisó que no presentaran agujeros, esto con

la finalidad de evitar la depredación de los organismos por parte de las aves, realizar la reparación de las cubiertas de redes disminuyó la depredación lo cual se comprobó mediante observación, ya que se redujo la presencia de aves depredadoras en el área de los estanques. De los estanques se revisó que no presentaran fugas y cuando se encontraron fugas reparables se colocaron parches de geomembrana; también se llevó a cabo la extracción manual de algas filamentosas y plantas acuáticas que crecían dentro de los estanques, ya que propician la descomposición de materia orgánica y provocan cambios en la calidad del agua (Mena & Servín, 2014), para mantener el agua de los estanques en condiciones adecuadas fue necesario realizar recambios parciales, los cuales se hicieron cada 15 días. Si la calidad del agua no mejoraba entonces se hizo recambio total de agua y se lavó completamente el estanque, debido a que si la calidad del agua no es adecuada puede propiciar el surgimiento de enfermedades en los ajolotes (Mena & Servín, 2014).



Figura 2.- Extracción manual de alga filamentososa.

Alimentación:

Otra de las actividades que se realizaron es la alimentación, la frecuencia de alimentación y elección de alimento para una especie, depende de su modo de alimentación y sus necesidades nutricionales, la frecuencia de alimentación se determina con base en los requerimientos nutricionales de la especie, su actividad y ciclo de reproducción (Browne, 2009). Algunas salamandras del género *A.* son poco activas, por lo que las tasas de alimentación deben ajustarse y así mantener un equilibrio entre el consumo y las tasas metabólicas que influyen en el crecimiento y desarrollo de estos anfibios (Browne, 2009). Las salamandras son generalmente carnívoras (Solé & Rödder, 2010) y *A. mexicanum* no es la excepción, sin embargo el tipo de alimento y la frecuencia de alimentación del ajolote depende de su etapa de desarrollo; durante los primeros días de vida se alimentan del saco vitelino, una vez eclosionadas las crías se alimentan de microalgas y aproximadamente a los 11 días las larvas pueden alimentarse de pequeñas presas vivas (3 mm), por ejemplo pequeños crustáceos como pulga de agua, nauplios de artemia salina y larvas de insectos entre otros, los organismos mantenidos en cautiverio pueden ser alimentados una vez al día (Mena & Servín, 2014). Por otra parte, la dieta de los organismos juveniles y adultos es similar, estos se pueden alimentar con artemia salina, tubifex, lombrices de tierra, peces pequeños, acociles, y trozos de carne de res o pollo, pellets comerciales, entre otros, estos pueden ser suministrados cada tercer día y en algunos casos ofrecer una cantidad que dure más tiempo y suspender el suministro por algunos días (Mena & Servín, 2014). Es importante mencionar que la mala alimentación puede tener efectos negativos en la salud de los organismos y afectar actividades como la reproducción entre otras (Browne, 2009).

Para alimentar a las larvas del CIBAC se colecto pulga de agua (*Daphnia sp.*) y se proporcionaba una cantidad abundante dos veces por semana. Por otra parte, la dieta de los organismos juveniles y adultos consiste en lombrices de fango o *tubifex*, el cual se lavaba para quitar las lombrices muertas, sedimentos y basuras, posteriormente se repartían 2 kilos a cada estanque cada 15 días.

Censos y biometrías

Se realizaron censos y biometrías de los organismos en las cuales se determinaron los siguientes datos: edad, clasificándose en larvas después de la eclosión hasta los 5 cm, juveniles de los 5 cm a los 19 cm de talla (Mena & Servín, 2014) y adultos a partir de los 20 cm. Las diferencias sexuales de los ajolotes son difíciles de identificar y se vuelven notorias hasta la etapa adulta (Biasutti, 2006), por lo que el sexo se determinó únicamente en los organismos adultos mediante la observación de la cloaca, la cual en los machos se encuentra abultada, mientras que esta diferencia no es notoria en las hembras, además de que estas son de mayor tamaño y más robustas que los machos (Biasutti, 2006). De igual manera se evaluó el peso de los organismos adultos con una balanza de precisión y la talla mediante una cinta métrica o regla, es importante mencionar que para medir la talla es necesario colocar al que el organismo sobre una superficie anti derrapante para evitar que se resbale, que este quede completamente derecho para así evitar errores en la medición, mantener al organismo hidratado y tomar el dato lo más rápido posible para evitar causar estrés en el ejemplar.



Figura 3.- Realización de las biometrías.

Resultados

Las siguientes gráficas muestran los datos obtenidos de la evaluación de los parámetros físico-químicos pH, temperatura, nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), fosfatos (PO_4^{3-}) y salinidad (UPS) del agua proveniente del canal de Cuemanco (AC) y los del agua tratada mediante un humedal artificial (AH).

La figura 4 muestra que el pH del agua proveniente del canal (AC) fue mayor durante los meses de enero (8.2) y abril (7.6) en comparación con el agua de humedal (AH); contrario a lo que se observa para los meses de febrero (8.1) y marzo (7.8) en los cuales el pH del agua del humedal fue mayor.

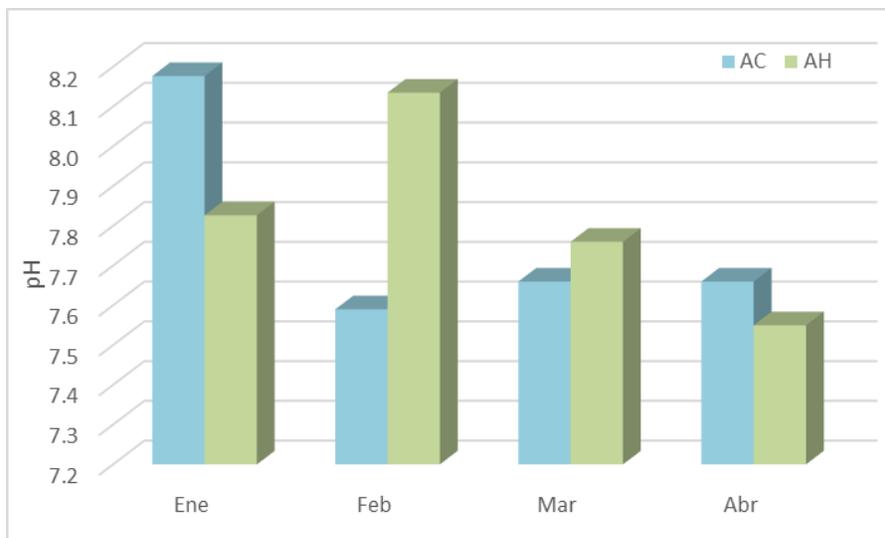


Figura 4.- pH promedio de agua del canal (AC) y de humedal (AH).

En la figura 5 se observan los promedios de la temperatura de ambos tipos de agua (AC y AH), se muestra que el agua de canal tuvo mayor temperatura en el mes de marzo (19.65) con respecto a la de humedal que presentó una temperatura de 18.35°C.



Figura 5.- Temperatura (°C) promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

En la figura 6 se presentan los valores promedio obtenidos para nitritos (NO_2^-) los cuales son mayores en el agua proveniente del canal y menores una vez que fueron tratados mediante el humedal artificial, esto se observó durante todos los muestreos.

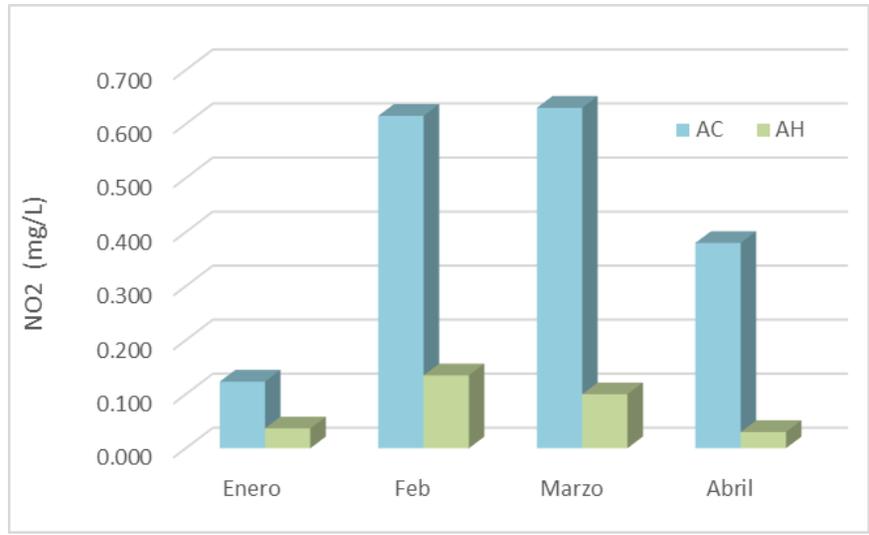


Figura 6.- Nitritos (NO_2^-) promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

Por otra parte, la figura 7 muestra los valores promedio de los nitratos (NO_3^-) los cuales son mayores en el agua de canal en comparación con el agua de humedal a excepción del mes de enero, en el cual el agua de humedal presentó un valor de 0.13 mg/L, mientras que el agua del canal 0.033 mg/L.

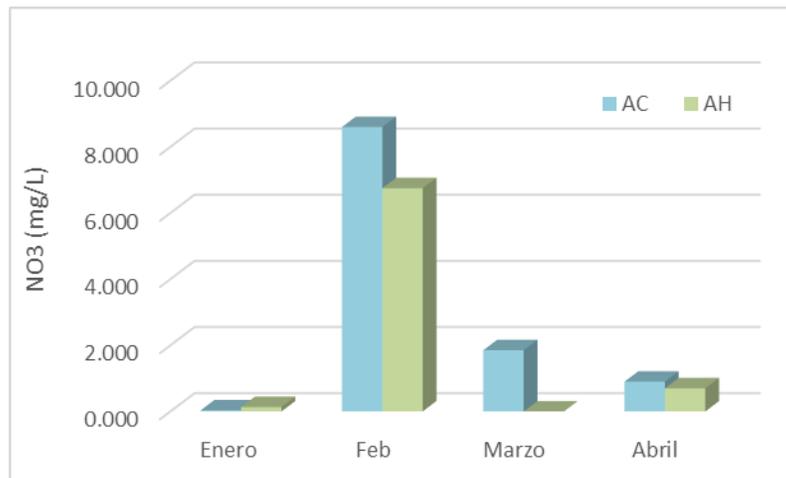


Figura 7.- Nitratos (NO_3^-) promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

La figura 8 expresa la concentración promedio de amonio (NH_4^+), se observó que durante todos los muestreos ésta fue mayor en el agua de canal en comparación con el agua resultante del humedal. Asimismo, se observó que la mayor concentración de amonio para el agua del canal se obtuvo en el mes de febrero con 2 mg/L y la menor en enero con 0.56 mg/L, mientras que para el agua de humedal la menor concentración de amonio se obtuvo en enero con 0.56 mg/L y el mayor abril con 0.59 mg/L.

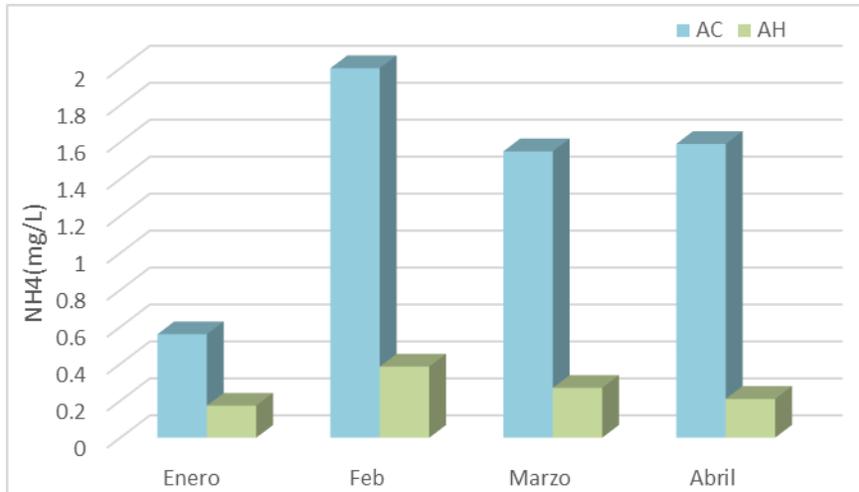


Figura 8.- Amonio (NH_4^+) promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

La figura 9 expresa la concentración de fosfatos, los cuales son mayores en el agua de humedal durante enero, febrero y marzo; mientras que en abril estos son menores (8.7 mg/L) que en el agua de canal (10.1 mg/L).

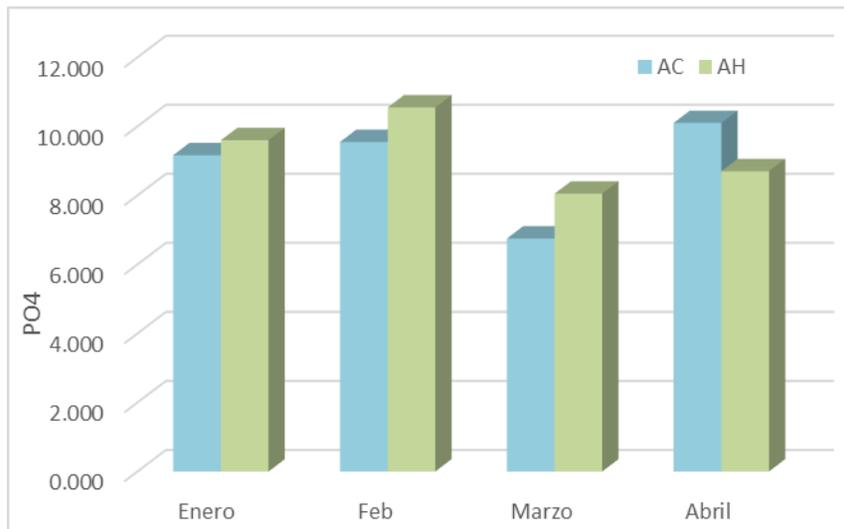


Figura 9.- Fosfatos (PO_4^{3-}) promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

La figura 10 presenta los valores promedio obtenidos con respecto a la salinidad (UPS), se observó que durante febrero y abril esta fue mayor en el agua de canal y menor en el agua resultante del humedal; sin embargo, en enero y marzo fue mayor en el agua de humedal y menor en el agua del canal.

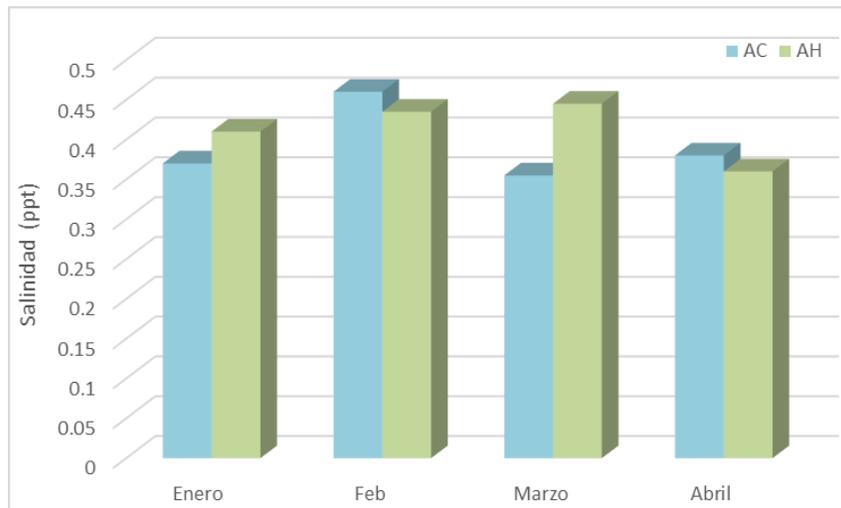


Figura 10.- Salinidad promedio del agua proveniente del canal (AC) y agua del humedal artificial (AH).

A continuación, se muestran los datos de los parámetros físico-químicos obtenidos de los estanques grandes, los cuales se representan con la letra C y los estanques pequeños representados con la letra D.

La figura 11 muestra los datos promedio obtenidos con respecto al pH de los estanques grandes, en ella se observó que el pH mayor (9.91) fue registrado durante enero en el estanque C2 y de igual manera este estanque es el que presenta el menor pH (8.49) en el mes de abril; se observó también que el pH del estanque C4 fue disminuyendo de 9.21 a 8.64 durante los muestreos, mientras que la figura 12 expresa el pH de los estanques chicos y se observó que durante todos los muestreos el pH mayor se registró en el estanque D8 con un valor máximo de 9.68 en el mes de marzo, seguido por el estanque D10 el cual presenta un valor máximo de 9.49 registrado en febrero, mientras que el menor pH se obtuvo en los estanques D9 con un valor promedio de 8.14 durante enero y D5 con un valor de

8.18 en marzo. En ambas figuras se indica con una línea el valor máximo soportados por *A. mexicanum*.

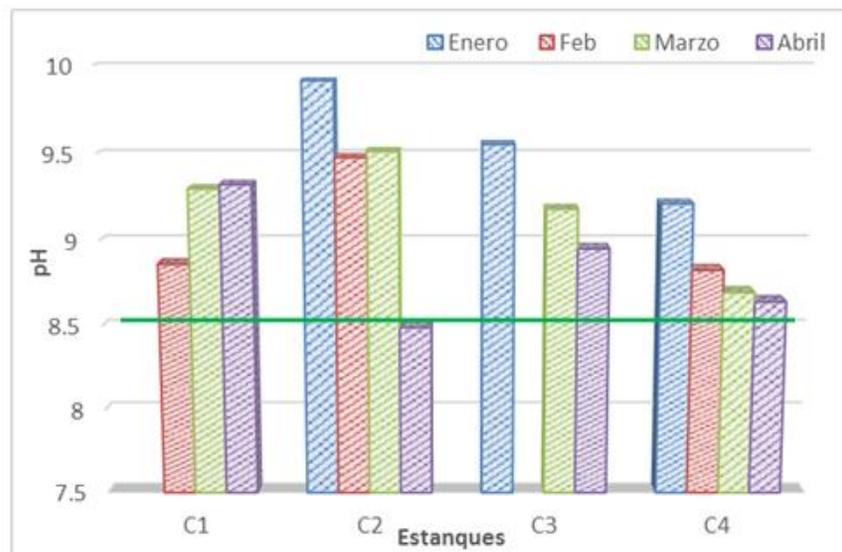


Figura 11.- pH promedio de los estanques grandes. Se señala línea del valor óptimo recomendado.

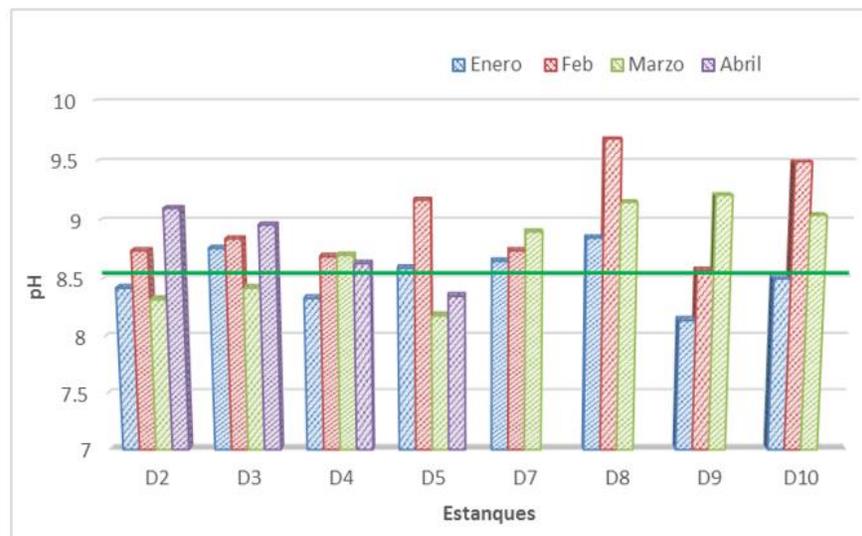


Figura 12.- pH promedio de los estanques chicos. Se señala línea del valor óptimo recomendado.

La figura 13 expresa la temperatura (°C) promedio del agua de los estanques, la cual no presenta diferencias significativas durante todos los muestreos. Sin embargo, en el estanque C4 es donde se registraron la mayor y menor temperatura, la menor se registró en enero con 11.4°C y la mayor en abril con 21.6°C. En la figura

14 se expresa la temperatura (°C) promedio de los estanques chicos (D) la cual tampoco presenta diferencias significativas entre ellos, no obstante, la temperatura mayor se registró en el estanque D7 con un valor de 21.2 °C durante marzo, mientras que la menor se obtuvo en abril en el estanque D4 con 11.9 °C.

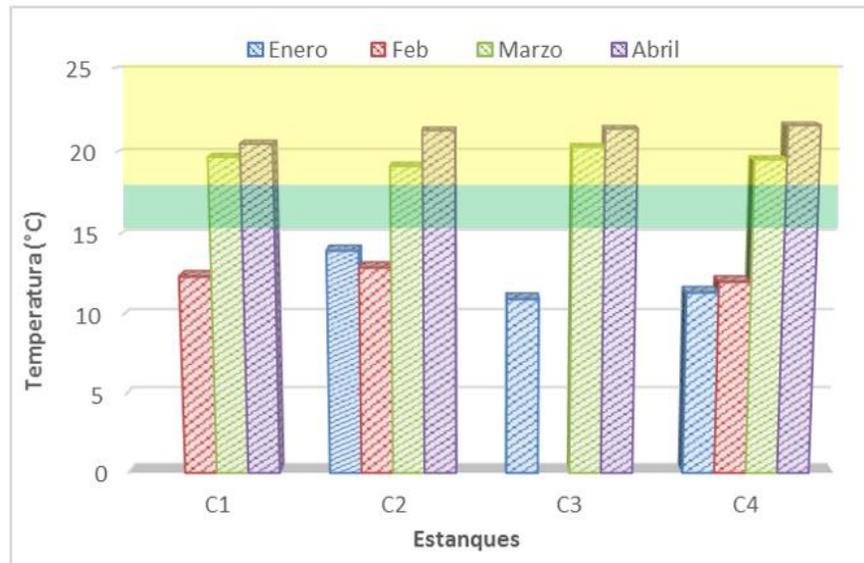


Figura 15.- Temperatura (°C) promedio de los estanques grandes. La franja verde indica el rango óptimo y la franja amarilla el rango de tolerancia.

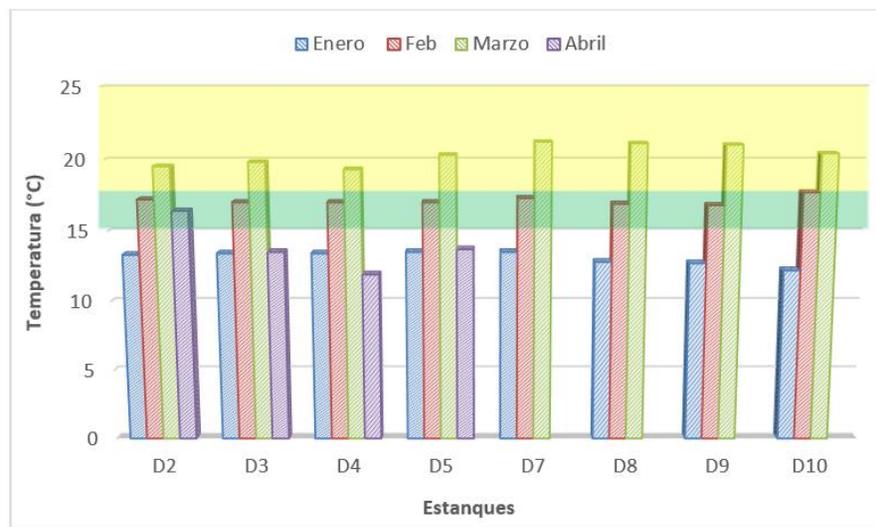


Figura 16.- Temperatura (°C) promedio de los estanques chicos. La franja verde indica el rango óptimo y la franja amarilla el rango de tolerancia.

La figura 17 exhibe los valores promedio de nitritos (NO_2^-), se observó que la concentración de nitritos fue mayor en el estanque C1 (0.15 mg/L) durante febrero, sin embargo, para abril la mayor concentración la presenta el estanque C4 (0.12 mg/l). En la figura 18 se muestra la concentración de nitritos (NO_2^-), la mayor cantidad de nitritos se registró en el estanque D8 con un valor de 0.93 mg/L para enero, seguido por el estanque D4 con un valor de 0.86 mg/L en abril, mientras que el valor menor se obtuvo en abril en el estanque D3 con 0.05 mg/L.

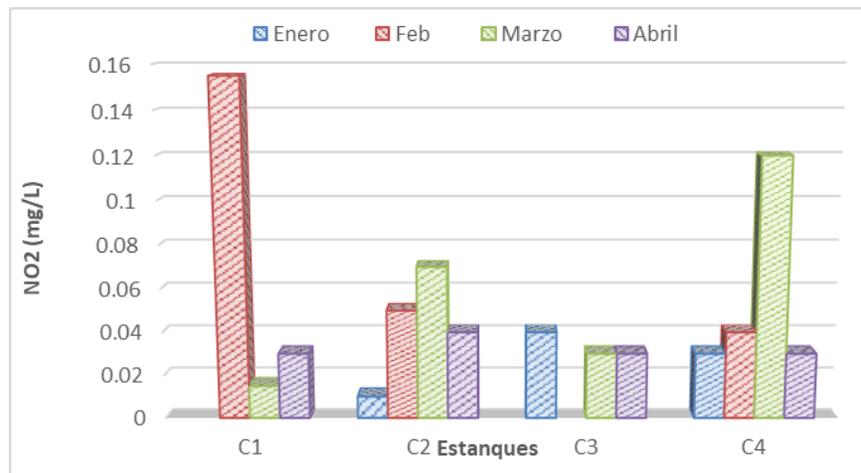


Figura 17.- Nitritos (NO_2^-) promedio de los estanques grandes.

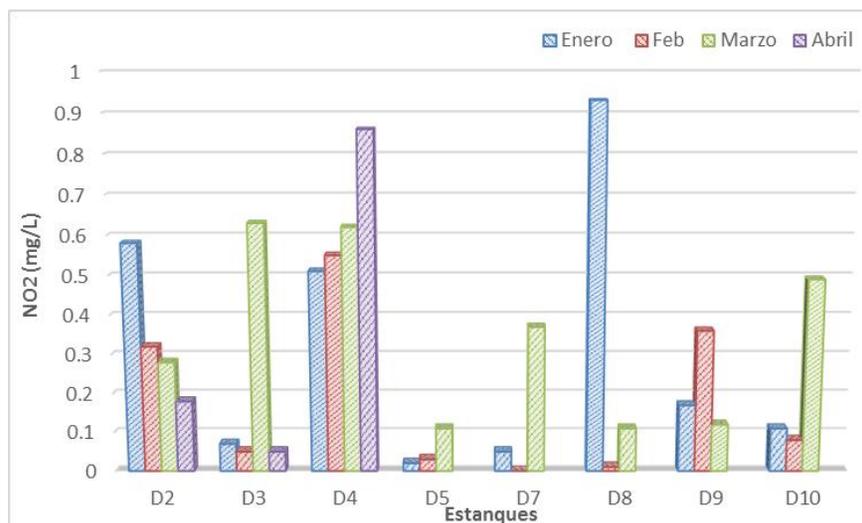


Figura 18.-Nitritos (NO_2^-) promedio de los estanques chicos.

Por otra parte, la figura 19 muestra los valores promedio de nitratos (NO_3^-), para los estanques grandes, en ésta se observó que el estanque C4 es el que presenta mayor concentración de nitratos durante febrero y marzo ambos con 17.8 mg/L, mientras que el estanque C2 es el que muestra la menor concentración a lo largo de todos los muestreos.

La figura 20 expresa la concentración de nitratos (NO_3^-) del agua de los estanques chicos, en esta se observó que los valores más elevados de nitratos se registraron en el estanque D7 con un valor máximo de 68.8 mg/L durante el mes de febrero, le siguen los estanques D8 y D9 ambos con 24.3 mg/L para el mes de enero, mientras que la menor concentración durante todos los muestreos se registró en el estanque D10 el cual presentó valores de 0 a 1.3 mg/L.

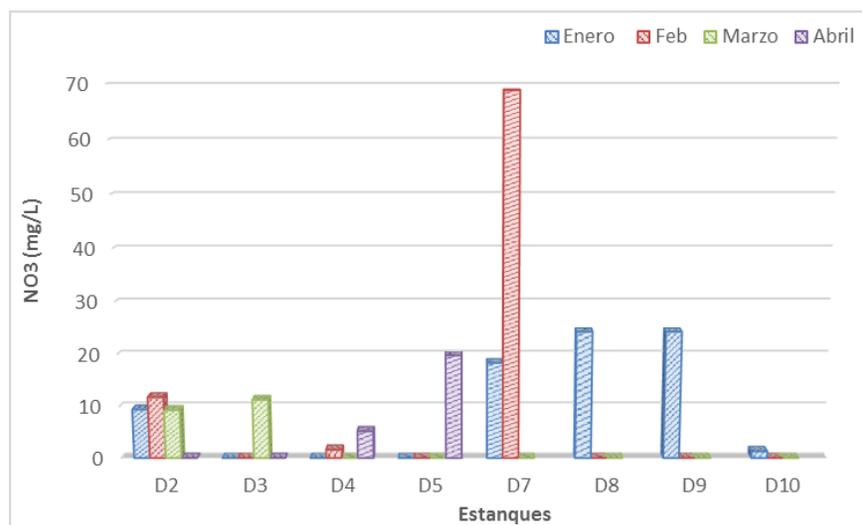


Figura 19.- Nitratos (NO_3^-) promedio de los estanques grandes.

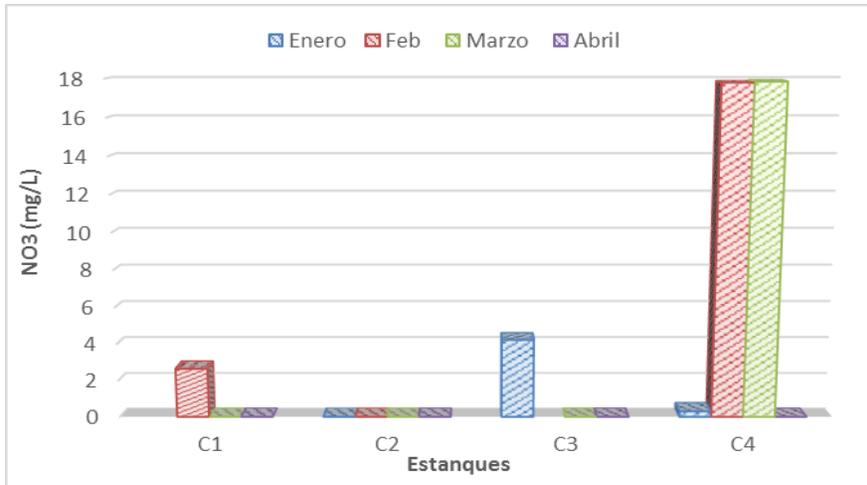


Figura 20.- Nitratos (NO₃⁻) promedio de los estanques chicos.

En la figura 21 se indica la cantidad de amonio (NH₄⁺) presente en los estanques grandes, en ella se observó que la mayor concentración de amonio se registró en febrero el estanque C1 (1.11 mg/L) mientras que la menor se obtuvo durante marzo (0.18 mg/L) y abril (0.17 mg/L) en el estanque C3; por otra parte los resultados obtenidos con respecto a la concentración de amonio en los estanques chicos se muestran en la figura 22, en ella se observó que la mayor cantidad de amonio (NH₄⁺) se registró en el estanque D5 en el mes de marzo con un valor de 3.38 mg/L, seguido por el estanque D4 con 2.2 mg/L en enero y D3 con un valor de 1.56 y en marzo. Con relación a la concentración mínima de amonio estos se registraron en los estanques D7 y D9 con valores de 0.06 y 0.07 mg/L durante el mes de febrero.

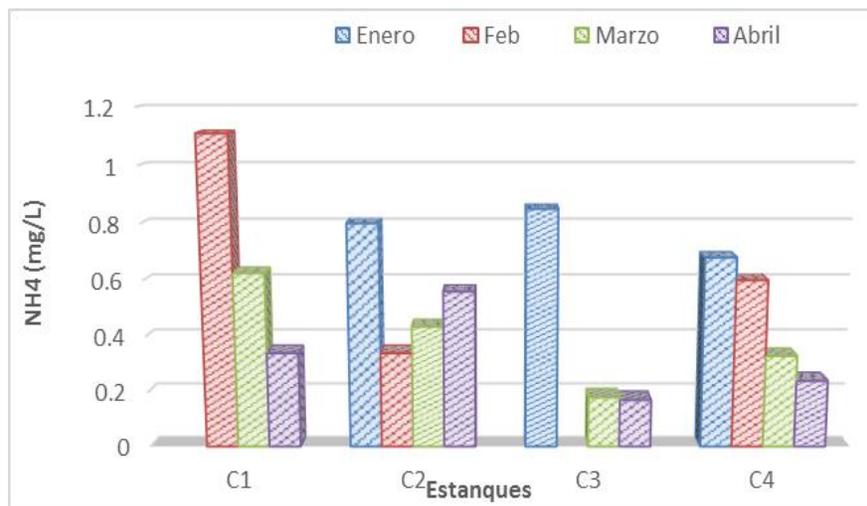


Figura 21.- Amonio (NH_4^+) promedio de los estanques grandes.

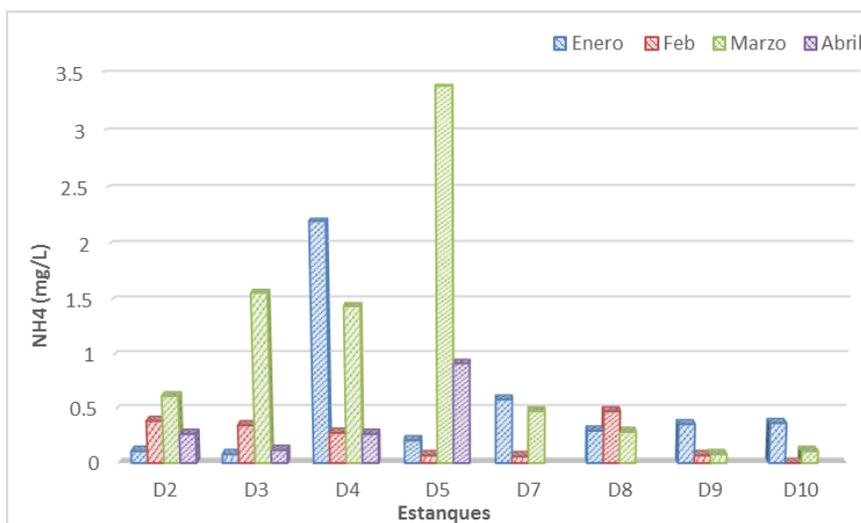


Figura 22.- Amonio (NH_4^+) promedio de los estanques chicos.

La figura 23 presenta la concentración de fosfatos (PO_4^{3-}) y mostró que ésta fue mayor en enero en el estanque C3 con 8.9 mg/L y la menor se registró en el estanque C2 durante febrero; sin embargo, los fosfatos se encontraron más elevados en el estanque C4 durante todos los muestreos en comparación con los demás estanques. En la figura 24 se muestra la concentración de fosfatos PO_4^{3-} del agua de los estanques, la mayor cantidad de fosfatos se observó en el estanque D7 con una concentración de 12.2 mg/L en el mes de enero, seguido por el D2 que mostró un valor de 10.3 mg/L en marzo, mientras que la menor concentración se obtuvo durante todos los muestreos en el estanque D9 con un valor de 1.3 mg/L en febrero, y 2.2 mg/L en enero.

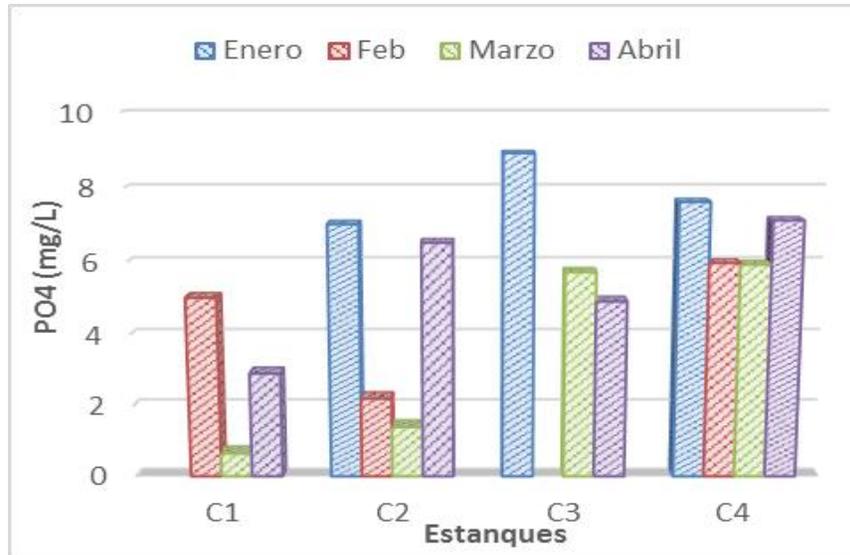


Figura 23.- Fosfatos (PO₄³) promedio de los estanques grandes.

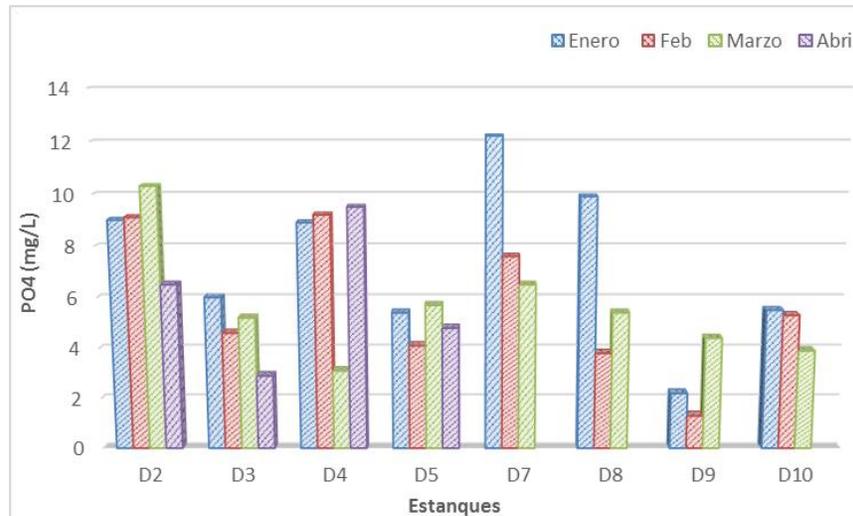


Figura 24.- Fosfatos (PO₄³) promedio de los estanques grandes.

Por otra parte la figura 25 indica la salinidad (UPS) de los estanques grandes, ésta señala que el estanque C4 es el que presentó mayor salinidad durante todos los muestreos, la mayor se registró en enero con un valor de 0.68 (UPS) y fue disminuyendo hasta de 0.42 (UPS) para abril; los datos obtenidos para la salinidad de los estanques se presentan en la figura 26, la cual muestra que los datos más elevados se registraron en el estanque D7 con un valor de 0.53 (UPS) en febrero y 0.51 UPS en enero, mientras que los mínimos se obtuvieron en los estanques D8 y D10 con valores de 0.16 y 0.21 (UPS) respectivamente durante enero.

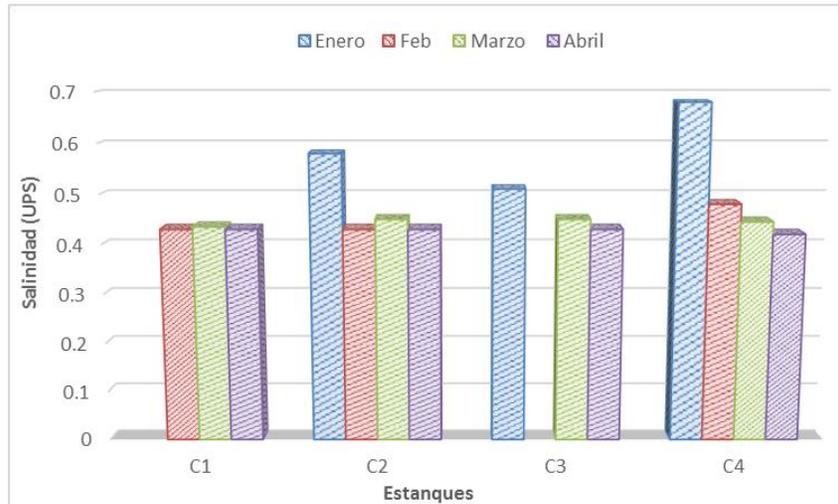


Figura 25.- Salinidad (UPS) promedio de los estanques grandes.

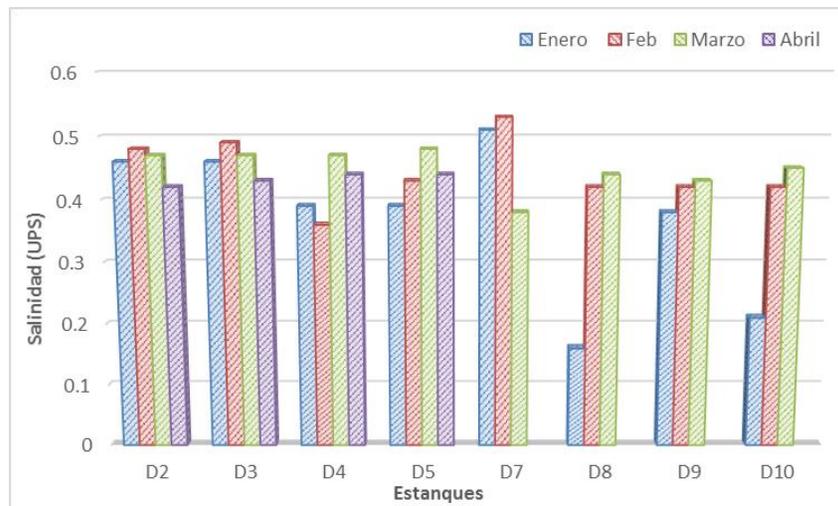


Figura 24.- Salinidad (UPS) promedio de los estanques chicos.

Otra de las actividades llevadas a cabo fue la realización de biometrías, a partir de las cuales se obtuvieron datos que permitieron conocer el estado actual de la población del ajolote en las instalaciones del CIBAC, lo cual sirve para tener un control del número de organismos, el estado de salud, las edades, y la proporción de sexos. Cabe mencionar que al realizar las biometrías se separaron los organismos que presentaban señales de enfermedad, como lesiones en la piel, ojos, o branquias y fueron tratados por la veterinaria encargada del área, posteriormente si presentaban mejoría estos se reingresaban a su estanque correspondiente.

De igual forma se separaron los individuos de menor tamaño y se ingresaban en estanques con organismos entre los cuales no había diferencia significativa en las tallas, con lo cual se evitaba que hubiera depredación por parte de los organismos de mayor tamaño, además se separaron hembras y machos para evitar que hubiera reproducción excesiva, los datos obtenidos se muestran las siguientes gráficas.

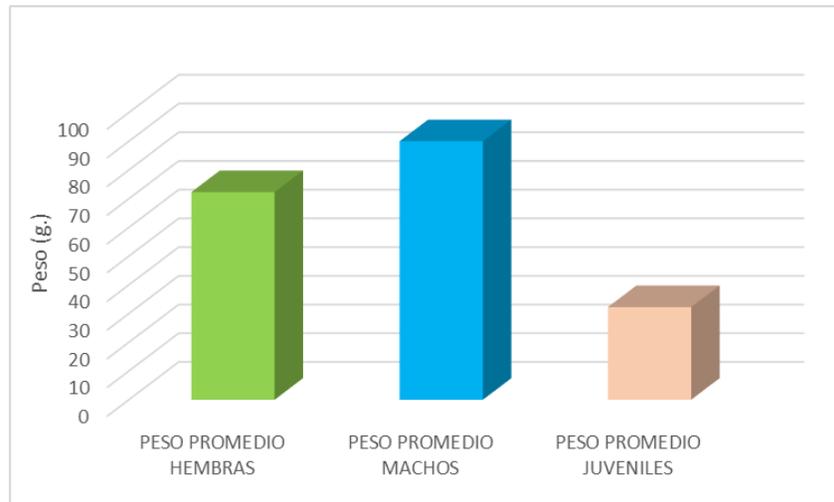


Figura 25.-Peso promedio (g) de los organismos separados por sexos.

La figura 25 muestra el peso (g) promedio de los organismos a los que se les realizaron biometrías, se observó que los machos presentaron mayor peso (90.017 g.) que las hembras, las cuales muestran un peso promedio de 72.29 g. Mientras la figura 26 exhibe los datos obtenidos con respecto a la talla, en esta se observó que los machos presentan mayor longitud, con un valor promedio de 21.39 cm, mientras que las hembras presentan una longitud promedio de 18.95 cm, contrario a la literatura que indica que las hembras son de mayor tamaño y longitud que los machos; así mismo esta figura indica que los organismos juveniles presentan una longitud promedio de 15.10 cm.

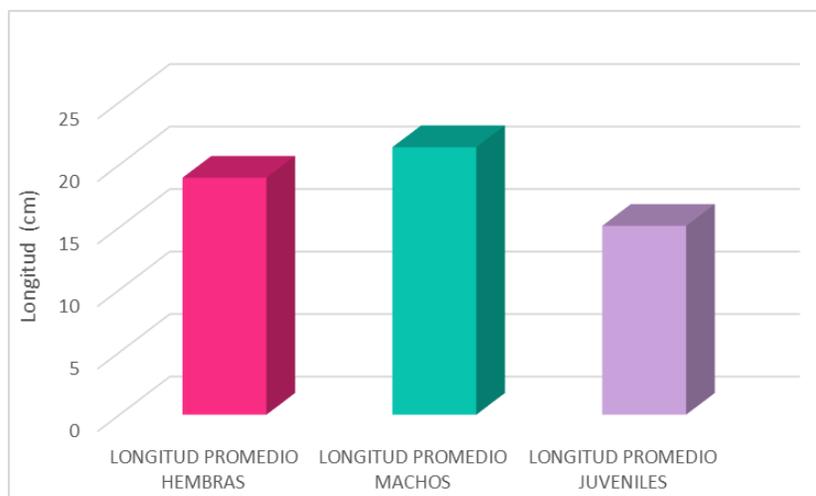


Figura 26.- Longitud promedio (cm) de los organismos separados por sexos.

Discusión

Con respecto a la evaluación de los parámetros físico-químicos del agua proveniente del canal y el agua tratada mediante el humedal artificial, se encontró que el pH del agua del canal fue mayor durante los muestreos de enero y abril, lo cual coincide con Ramos-Espinoza *et al.* (2007), quienes reportan que el agua que entra al humedal presenta mayor pH que el agua de salida. Londoño & Marín (2009) y Malaver (2013) mencionan que esta disminución del pH del agua del humedal es debido a las reacciones de mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, esta información no coincide con los resultados de febrero y marzo en la cual el pH del agua proveniente del humedal fue mayor.

Se observó que el agua del canal presentó mayor cantidad de nitritos (NO_2^-), lo cual coincide con Ramírez-Carrillo *et al.* (2009), quienes señalan que el agua tratada por el humedal artificial presentó una reducción aproximada del 60% de NO_2^- ; esta reducción es atribuida al cambio de estos a nitratos (NO_3^-) como consecuencia de la acción de bacterias nitrificantes. Los nitratos (NO_3^-) también presentaron menor concentración en el agua de salida del humedal, de acuerdo con Llagas & Gómez (2006) esto se debe a que son removidos por las plantas que los utilizan como nutrientes y por la acción de bacterias especializadas (*Pseudomonas sp.*) que

transforman metabólicamente el nitrato en gas nitrógeno (N₂), mediante el proceso conocido como desnitrificación.

Con respecto al amonio (NH₄⁺) este fue menor en el agua resultante del humedal durante todos los muestreos, lo cual coincide con Llagas & Gómez (2006) quienes señalan que el metabolismo microbiano produce la remoción de amonio.

Con respecto a la concentración de fosfatos Romero-Aguilar *et al.* (2009) reportan una disminución de fosfatos en el agua después de ser tratada mediante el humedal artificial, debido a que el fósforo puede ser absorbido por las plantas, los microorganismos o fijado en el sustrato que constituyen el humedal. Los resultados obtenidos no coinciden con esta afirmación pues la concentración de fosfatos fue mayor en el agua de humedal durante enero, febrero y marzo, sin embargo este aumento podría atribuirse a que durante estos meses se realizó mantenimiento del humedal, por lo que los microorganismos encargados de remover este nutriente, probablemente no eran suficientes o no estaban preparados para asimilarlo, ya que en abril la concentración de fosfatos del agua proveniente del humedal, si disminuyó en comparación con la del canal coincidiendo así con lo reportado por Romero-Aguilar *et al.* (2009).

Con relación a la calidad del agua de los estanques, el pH mostró valores superiores a 8 en todos los estanques, con un máximo registrado de hasta 9.91 en febrero. Mena & Servín, (2014) mencionan que el rango de pH adecuado para los ajolotes oscila entre 6.5 y 8 como máximo, por lo tanto, los valores obtenidos en los muestreos indican que están fuera del rango óptimo para el buen mantenimiento de *A. mexicanum* en cautiverio. Sin embargo, pese a estos valores extremos de pH, los ejemplares no presentaron signos de enfermedad, a pesar de que hasta ahora no se han observado problemas de salud en los ajolotes, es importante prestar atención a esta variable ya que Henao & Bernal (2011) mencionan que las variaciones en el pH pueden tener efectos negativos sobre algunos anfibios,

ocasionando problemas en su desarrollo embrionario, crecimiento y supervivencia causando altas tasas de mortalidad.

Con relación a la temperatura del agua de los estanques esta presentó valores mínimos de 13°C durante enero y febrero y máximas de 20 a 21°C durante marzo y abril, por lo que se encuentran dentro del rango adecuado mencionado por Servín (2011), quien reporta que la temperatura adecuada oscila entre 15 y 18°C tolerando una temperatura máxima de 22 a 25°C y mínima 10°C; es importante mencionar que la medición de la temperatura se realizó únicamente de manera superficial alrededor del mediodía, por lo que la temperatura de la columna de agua puede presentar variaciones con relación a la profundidad y durante el transcurso del día.

De acuerdo con Mena & Servín (2014), la concentración de nitritos (NO_2^-) adecuada para *A. mexicanum* puede ser mayor a 3 mg/L, los resultados obtenidos en todos los estanques durante el periodo de muestreo, presentaron valores menores a 1mg/L, por lo que pese a no ser el rango óptimo se encuentra dentro de los valores tolerables por los ajolotes.

Por otra parte con relación a la concentración de nitratos (NO_3^-) mostró bastante variación a lo largo de los muestreos en todos los estanques grandes y pequeños, aunque de acuerdo con Schad (2007) & Servín (2011) esta variable no es tóxica para los ejemplares de *A. mexicanum*, sin embargo afecta la calidad del hábitat del ajolote debido a que propicia el incremento de micro algas que en exceso enturbian el agua y afectan el proceso de intercambio de oxígeno (Chapa & Guerrero, 2010). La concentración de amonio (NH_4^+) es una variable tóxica para los ajolotes, de acuerdo con Servín (2011), esta puede afectar la piel, las branquias e inhibir el crecimiento; de acuerdo con Schad (2007) algunos signos de daño por exposición a niveles elevados de amonio o amoníaco en el agua se presentan como: cambio de color, incremento en la producción de moco, eritema y letargia. La exposición prolongada a altas concentraciones en estas variables puede afectar la función inmunitaria, resultando en enfermedades.

Servín (2011), menciona que la concentración máxima de amonio (NH_4^+) recomendada es de 0.1 mg/L. Los resultados obtenidos durante los muestreos presentaron variaciones en todos los estanques grandes y pequeños a lo largo de todas las evaluaciones, en la mayoría se obtuvieron valores superiores al rango óptimo para *A. mexicanum*.

De acuerdo con Schad (2007) la alta concentración de fosfatos es perjudicial para los anfibios debido a que se une al calcio, esta relación fósforo:calcio puede causar problemas neurológicos, osteológicos o la muerte.

Con respecto a la salinidad del agua Muzio (2013) menciona que esta variable constituye una fuente de estrés fisiológico para algunos los anfibios, aunque otros tantos anuros y urodelos toleran un medio moderadamente salino, de acuerdo con Servín (2011) *A. mexicanun* no es tolerante a altas concentraciones de sales, ya que pueden causar la muerte, por lo que recomienda que la concentración de sales sea de 5% como máximo , de los resultados obtenidos en los estanques ninguno es superior a la concentración recomendada para el mantenimiento en cautiverio de los ajolotes.

Impacto de las actividades

A partir de los datos obtenidos en este proyecto se puede realizar un programa de recambios de agua, el cual puede tomar como base las características físicas y químicas del agua, que estén asociadas a la salud de los ajolotes. Realizando recambios de agua es posible mantener la calidad del agua de los estanques en condiciones óptimas bajo las cuales los ajotes pueden tener un desarrollo y crecimiento adecuado evitando enfermedades.

Por otra parte, es importante identificar los signos de enfermedad de los ajolotes para evitar la contaminación de más ejemplares, así como conocer los tratamientos adecuados para estas enfermedades, se puede realizar una investigación más profunda para identificar los hongos o bacterias patógenas que atacan a esta especie.

Otra de las actividades que se llevaron a cabo fue la repartición de alimento en los estanques, la alimentación es importante para mantener los organismos con una buena condición corporal sin embargo es necesario saber si la dieta es adecuada, lo cual se puede saber realizando más investigaciones acerca de los requerimientos nutricionales de *A. mexicanum*, y de igual manera se puede variar la alimentación para que sea una dieta más completa y tal vez económica para CIBAC.

La realización de censos y biometrías de los organismos permite conocer el estado de salud de los ejemplares, además de la proporción por edades y sexos y de esta forma tener un mayor control sobre la densidad de organismos que hay en la UMA.

Aprendizaje y habilidades obtenidas

Durante este proyecto se fortalecieron conocimientos obtenidos durante el módulo IX titulado producción secundaria, al desarrollar e implementar técnicas para el buen manejo y producción de especies como el ajolote y algunos peces. Por otra parte, se obtuvo experiencia para identificar signos de enfermedad y aplicación de tratamientos en *A. mexicanum*, lo cual tiene relación con lo aprendido en el módulo VI plagas y enfermedades.

Además se obtuvo el conocimiento y experiencia para hacer uso adecuado del multiparamétrico Hanna 8320, y a partir de este obtener datos sobre los parámetros químicos del agua, y conocer su relación con la calidad del agua de los estanques que actúan como hábitat de los ajolotes, estos conocimientos tienen relación con los obtenidos en el módulo VII ciclos biogeoquímicos.

Así mismo se relacionan con los módulos XI Análisis de sistemas ecológicos y XII ya que se pueden desarrollar pequeños proyectos, programas o planes de manejo de la especie o para ayudar a rescatar el hábitat, creando campañas que involucren a diversas instituciones y sectores de la sociedad, para preservar áreas y especies de gran importancia biológica y cultural como el ajolote, y su hábitat natural del cual dependen muchos ciudadanos ya que lo utilizan como fuente ingreso mediante el turismo o agricultura.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo y colaboración del equipo a cargo de los ajolotes, agradezco a los Biólogos Arturo Vergara Iglesias y Sergio García Moreno por proporcionar los organismos y su apoyo para llevar a cabo estas actividades, a la Dirección del Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca, por brindarme la oportunidad trabajar en sus instalaciones y proporcionar las herramientas necesarias para la realización de este trabajo.

Referencias

Biasutti Alejandro. 2006. *A. mexicanum* (Shaw, 1789) - Parte I. Sociedad Acuariológica del Plata. 1-6 p.

Browne R. K. 2009. Amphibian diet and nutrition. AArk Science and Research. <http://www.amphibianark.org/pdf/Husbandry/Amphibian%20diet%20nutrition.pdf>

Chapa Balcorta, C. & R. Guerrero Arenas. 2010. Abundancia que mata: la eutrofización. *¿Cómo ves?* (134): 22-25.

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2011. Fichas de especies prioritarias. Ajolote Mexicano (*A. mexicanum*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.

Contreras, V., E. Martínez-Meyer, E. Valiente, & L. Zambrano. 2009. Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*A. mexicanum*). *Biological Conservation*, 142 (12): 2881-2885.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2010. 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. México. 22 p.

Gascon. C., J. P. Collins, R. D. Moore., D. R. Church., J. E. McKay., & J. R. III Mendelson (Eds.). 2007. Amphibian Conservation Action Plan. IUCN/SSC Amphibian Specialist Group. Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 64 p.

Henao Muñoz, L. M. & M. H. Bernal Bautista. 2011. Tolerancia al pH en embriones y renacuajos de cuatro especies de anuros colombianos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 35 (134): 105-110.

Kochegarov, A., A. Moses-Arms, M. C. Hanna & L. F Lemanski. 2015. Identification of Genes Involved in Limb Regeneration in the Axolotl *A. mexicanum*. *JSM Regen Med Bio Eng* 3(1):1014.

Llagas Chafloque, W. A. & G. Gómez Enrique. 2006. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM, *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* 15 (17): 85-96.

Londoño Cardona, L. A. & C. Marín Venegas. 2009. Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal sub superficial alimentados con agua residual sintética. Requisito parcial para optar el título de tecnólogo químico. Facultad de Tecnología. Escuela de Tecnología Química Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. 215 p.

López, M.S. 2006. *Programa de manejo del Área Natural Protegida "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco"*. Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales (DGCORENA). Ciudad de México, México. 71 p.

Luna-Pabello, V. M. & S. Aburto-Castañeda. 2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 17(1):32-55.

Malaver Moreno, A. F. 2013. Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. Facultad de Ingeniería, Universidad Libre. Bogotá D.C 51 p.

Mena González H. & E. Servín Zamora (Eds.). 2014. *Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (A. mexicanum)*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 34 p.

Molina Vázquez, A. 2010. El ajolote de Xochimilco. *Ciencias* (98):54-59.

Muzio, R. N. 2013. Aprendizaje en Anfibios, el eslabón perdido: Un modelo simple cerebral en el estudio de conductas complejas. *Cuadernos de herpetología*, 27(2): 87-100.

Parra-Olea, G., O. Flores-Villela & C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista mexicana de biodiversidad* (85):460-466.

Ramírez-Carrillo, H. F., V. M. Luna-Pabello & J. L. Arredondo-Figueroa. 2009. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 8(1):93-99.

Ramos-Espinosa, M.G., L. M. Rodríguez-Sánchez & P. Martínez-Cruz. 2007. Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica*, 17 (1): 7-15.

Robles Mendoza, C., C. E. García Basilio & R. C. Vanegas Pérez. 2009. Maintenance media for the axolotl *A. mexicanum* juveniles (Amphibia: Caudata). *Hidrobiológica* (19): 205-210.

Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., E. Sánchez-Salinas & Ortiz-Hernández, L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25(3):157-167.

Sánchez Fernández Y. 2014. Actividades de apoyo en los trabajos de investigación del genero *A.* en la Unidad de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC). Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma Metropolitana, México. pp. 10.

Schad, K. 2007. *Amphibian Population Management Guidelines*. Amphibian. 1.1 ed. Ark Amphibian Population Management Workshop. San Diego, CA, USA. 132 p.

Semanario de la UAM. Órgano informativo de la Universidad Autónoma Metropolitana. Vol. XXII. Número 24. febrero 2016. pp. 4-5. Disponible en <http://www.uam.mx/comunicacionsocial/semanario.html>. Última actualización Noviembre 2017.

Servín Zamora Erika. 2011. Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco (*A. mexicanum*) en el zoológico de Chapultepec. Tesis de Licenciatura (Veterinaria). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. México. 205 p.

Solé, M. & D. Rödder. 2010. *Dietary assessments of adult amphibians*. *Amphibian Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. 167-184.

UAM (Universidad Autónoma Metropolitana). 2017. Acerca de la Unidad. Universidad Autónoma Metropolitana. México. Ciudad de México. Disponible en <http://www.xoc.uam.mx/uam-x/acerca/historia/>. Última actualización 4 de Julio 2017.

UAM (Universidad Autónoma Metropolitana). 2018. Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca. México. Ciudad de México. Disponible en: <http://www.xoc.uam.mx/investigacion/cibac/quienes/> Última actualización mayo 2018.

Zambrano, L., E. Vega, L. G. Herrera, E. Prado & V. H. Reynoso. 2007. A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems. *Animal Conservation* (10): 297–303.