



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

ALTERNATIVA DE INTRODUCCIÓN DE
Ambystoma mexicanum (Shaw and Nodder, 1798)
(AMPHIBIA: CAUDATA) EN EL VALLE DE
MÉXICO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

Montes Ruíz Marlen

ASESOR

M. en C. Arias Balderas Sandra Fabiola



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México; agosto 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

❖ Resumen.....	1
❖ Introducción.....	2
➤ Criterios para realizar la introducción de una especie.....	3
❖ Biología de <i>A. mexicanum</i>	6
❖ Distribución y hábitat	11
❖ El ajolote mexicano	
➤ Históricamente.....	15
➤ Culturalmente.....	16
➤ Científicamente.....	17
❖ Conservación.....	19
❖ Antecedentes.....	22
❖ Objetivos.....	24
❖ Materiales y método.....	25
❖ Resultados.....	28
❖ Análisis y conclusiones.....	50
❖ Literatura citada.....	54
❖ Anexos.....	60

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por haberme formado profesionalmente a través de sus excelentes docentes, y darme la oportunidad de transcurrir en sus instalaciones maravillosos momentos que recordaré por siempre.

Agradezco a mi asesora Sandra Fabiola Arias Balderas por su paciencia, comprensión y acompañamiento en esta aventura emprendida, si ella no hubiera confiado y creído en lo que buscaba con éste trabajo simplemente no estarían todas las páginas siguientes.

Mi más sincero agradecimiento también a mis sinodales Verónica Farías González, Felipe Correa Sánchez, Eduardo Cid Méndez y Raúl Rivera Velázquez, por el tiempo dedicado a éste trabajo y por sus valiosos aportes, tanto al escrito como a mi vida profesional y personal.

Agradezco a todas aquellas personas que directa o indirectamente participaron en el desarrollo del proyecto, brindándome apoyo, ideas y los espacios necesarios para llevarlo a cabo.

DEDICATORIA

Quiero dedicar éste trabajo a mis padres, pues sin su apoyo incondicional y amor no sería la persona en la que me convertí. Agradezco a mi padre Nicolás Montes León todas las veces que me acompañó hasta el fin del mundo si era necesario, para apoyar éste sueño; sé que fueron trayectos largos y jornadas de trabajo cansadas, pero su mano nunca me soltó, sus palabras de aliento nunca me faltaron y sus sabios consejos me impulsaron. También estoy muy agradecida con mi madre María de Jesús Ruíz Valdéz por todos sus regaños, sus desvelos, sus palabras para ponerme los pies en la tierra y por representar para mí una figura de fortaleza.

Dedico el presente trabajo a mi familia, aquella que he formado y que es mi razón para existir, son mi alegría más grande y la fuerza que necesito cada día; a quienes reduje horas de compañía y de juegos, y me permitieron alcanzar uno de tantos sueños con éste sacrificio.

Dedico unas palabras a mi amado esposo Armando Molina Leyva, quien me acompañó en éste sendero tomando mi mano, dándome su amor, su apoyo y su hombro cuando lo llegué a necesitar, siempre fue un parteaguas en mis decisiones y caminos seguidos; la calidez y paciencia que me tiene me dan el impulso necesario para continuar con una sonrisa y seguir fortaleciendo la familia que hemos formado.

Dedico todos mis logros a mis hijos, su comprensión es invaluable, a pesar de todas las horas que no estuve a su lado y de todos los momentos en que su mamá estuvo ocupada. Hija Cyntia Mariela Molina Montes agradezco tu dulce mirada, todas tus palabras de amor, todas las palabras de preocupación, tus suaves besos en el momento adecuado y los instantes en que tu pequeña mano ha tomado la mía y ha mejorado cualquier día por muy pésimo que fuera, fuiste la primera que me enseñó lo qué es el amor verdadero y por ello lucho cada día para que te sientas orgullosa de mamá. Hijo Armando Said Molina Montes, llegaste a mi vida cuando pensé erróneamente que no podía ser más feliz, gracias por todas tus sonrisas con hoyuelos que iluminan mi día, por todos tus mimos y cuidados y todas las veces que te has acurrucado en mis brazos y que me han permitido escuchar tu palpitar, tu amor me impulsa a ser mejor persona y a hacer que te sientas orgulloso de mí.

Resumen

La introducción de especies es un proceso en el que se liberan individuos en una área de la que no son nativas, para ello es necesario tomar muchos criterios para no afectar a las especies del lugar ni a la especie misma. México posee el 10% de las especies de anfibios presentes en el mundo, éste grupo resulta de interés por su biología y vulnerabilidad ante la degradación de sus hábitats. El *Ambystoma mexicanum* es un anfibio urodelo, que presenta neotenia, y que por su explotación irracional se encuentra al borde de la extinción. Es por ello que el objetivo de este proyecto fue determinar las condiciones ambientales idóneas para una supervivencia saludable, establecimiento y reproducción en medio silvestre; y comparar estas condiciones con las presentes en cuerpos de agua que se encuentran en el Valle de México (Sierra Hermosa, Técamac y Tepotzotlán), dando alternativas para introducir una población fuera de Xochimilco. Se realizaron estudios en las localidades, siendo en Sierra Hermosa donde se tuvieron mayores resultados pero poco apoyo administrativo. Aunado, el proyecto piloto presentó una fuente de información muy importante del comportamiento y desarrollo de los organismos en estado semi-silvestre; mostraron buena adaptación en la búsqueda y obtención de su alimento. Al introducir alevines, se pudo constatar la diferencia de desarrollo/crecimiento en comparación con organismos en cautiverio de la misma edad. Estableciendo las bases para poder continuar con la búsqueda de cuerpos de agua y cumplir con los objetivos a largo plazo. Este tipo de proyectos presentan diversos obstáculos, pero resultan viables si se tiene un desarrollo adecuado y el apoyo social, institucional y gubernamental.

Palabras clave: *Ambystoma mexicanum*, introducción, Xochimilco.

Summary

The headstarting of species is a process where individuals are released in an area of non-native distribution; this requires taking many criteria to avoid affecting the species of that place or the species itself. Mexico has 10% of the amphibian species present in the world, amphibians as a group results interesting because of their biology and vulnerability to habitat degradation. *Ambystoma mexicanum* is an urodele amphibian, featuring neoteny, and it's irrational exploitation put the species on the brink of extinction. That is why the main goal of this project was to determine the environmental conditions for healthy survival, establishment and reproduction in the wild, and compare these conditions with those present in lakes of the Valley of Mexico (Sierra Hermosa, Técamac and Tepotzotlán), providing alternatives to introduce populations outside Xochimilco. Studies were conducted in the towns, being in Sierra Hermosa where they had better results but little administrative support. In addition, the pilot project provided an important data source on the behavior and development of organisms in semi-wild; they conditions showed good adaptation in seeking and obtaining their food. To introducing young axolotls, it was found the difference in development / growth compared to organisms in captivity of the same age. This project provided the essentials in the introduction of *A. mexicanum* in order to make further experimentation to meet long term goals. Such projects face several obstacles, but are feasible if you have a proper development and social, institutional and government support.

Keywords: *Ambystoma mexicanum*, headstarting, Xochimilco.

Introducción

Los anfibios representan un grupo de interés, no solo por sus particularidades biológicas y ecológicas, sino también por su marcada vulnerabilidad ante la transformación y degradación de los ecosistemas que habitan. El papel de los anfibios como especies bioindicadoras, cuyo estado de sus poblaciones puede indicar el estado de conservación del medio donde viven con bastante precisión, ha sido señalado desde hace años (Blaustein, 1994; Blaustein & Wake, 1995 *In* Bosch, 2003). Por desgracia, el que los anfibios sean excelentes especies bioindicadoras implica que sus poblaciones pueden sufrir graves deterioros si se producen problemas ambientales, aunque estos sean poco importantes (Bosch, 2003).

El ajolote (*Ambystoma mexicanum*) es un anfibio urodelo, que presenta neotenia, es decir, que alcanza su madurez sexual sin cambiar su morfología larvaria. Desde la época prehispánica el *Axolotl* (Monstruo del Agua), era apreciado como un alimento nutritivo y de buen sabor, era utilizado como terapéutico en enfermedades respiratorias como el asma y la bronquitis; realizaban su captura por tradición, y en la actualidad se demanda en los acuarios comerciales como especie “rara” (Otto, 1999; Negrete & Romero, 1999; Ortega, 2000). Tantas bondades le han atraído una explotación irracional, acompañada de la inseparable inconsciencia sobre su repoblación y la degradación de su ambiente lacustre natural, que lo han puesto al borde de la extinción (Stephan & Ensástigue, 2001).

A. mexicanum es endémico de Xochimilco se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de riesgo “En peligro de extinción” (P) y es una especie prioritaria. Sus poblaciones han sido mermadas por diversos factores que afectan su sobrevivencia, pudiendo ser los siguientes (CONABIO, 2011):

- a) agregación
- b) requerimientos especiales de nicho (en particular necesidad de plantas sumergidas)
- c) fragmentación del hábitat
- d) amenazas de enfermedad

- e) amenazas de especies introducidas
- f) amenazas de un cambio ambiental rápido (en particular del régimen hídrico)
- g) selectividad de pesca (en particular sobre los menores de un año).

La posición del ajolote en la red trófica es la de depredadores activos. Esta posición lo hace vulnerable puesto que son de los primeros en sufrir cualquier cambio en el sistema acuático como la introducción de una especie o la desaparición de algún eslabón en la red trófica por contaminación, depredación o excesiva explotación humana. De hecho, su escasez y la recién revaloración del ajolote por parte de la sociedad ha generado un fenómeno social muy interesante dentro de los pobladores de Xochimilco. El ajolote se ha vuelto así un organismo muypreciado que sólo unos cuantos pescadores saben coleccionar y del cual están reticentes a hablar sobre la forma de colecta o su biología (Zambrano *et al.*, 2004).

El interés por *A. mexicanum* ha generado la aparición de diferentes granjas de reproducción a nivel internacional. Hasta 1989 se contabilizaban 24 en los siguientes países: Canadá, Holanda, Japón, Corea del Sur, Francia, Unión Soviética, Suiza, Estados Unidos, Suecia, e Inglaterra (Malacinski y Able, 1989 *in* Zambrano *et al.*, 2004). En la Ciudad de México, existen cuando menos tres granjas de reproducción de esta especie, ubicadas en la Facultad de Ciencias y en la FES Iztacala de la UNAM y en la UAM Xochimilco. Éstas y otras granjas son las proveedoras de parte del mercado nacional e internacional. Sin embargo, una de las ventajas que tienen los organismos colectados contra los de granja es precisamente ese *status* de haber nacido en la naturaleza (Zambrano *et al.*, 2004). Desafortunadamente y a pesar de que estos animales son un regalo de la naturaleza, poco o nada se está haciendo por salvarlos de su precario estado de conservación (Casas *et al.*, 2004).

❖ **Criterios para realizar la introducción de una especie**

La principal meta de cualquier reintroducción/introducción debe ser establecer una población viable. Los objetivos de una reintroducción/introducción pueden incluir: aumentar las probabilidades de supervivencia de una especie a largo plazo;

restablecer/establecer una especie clave (en el sentido ecológico o cultural) en un ecosistema; mantener y/o restaurar la biodiversidad natural; promover la toma de conciencia de la conservación; o alguna combinación de ellos (Aprile & Bertonatti, 1996).

Según la UICN (UICN/SSC, 1995) los criterios a seguir en la reintroducción/introducción de una especie son:

- Han debido ser eliminadas las causas originales que provocaron su extinción.
- El hábitat debe ser el adecuado para satisfacer los requerimientos de la especie.
- El sitio de estudio debe estar comprendido dentro de una zona cercana o dentro de la distribución natural e histórica de la especie.
- Hacer un estudio de biodiversidad minucioso, a fin de proveer la certeza total de que no se encuentren organismos pertenecientes al mismo género taxonómico, dentro de la zona y en un radio amplio. Con el objetivo de disminuir completamente las posibilidades de hibridación, transmisión de enfermedades y competencia entre especies.
- Aprobación de las agencias de gobierno competentes y los propietarios de tierras, así como coordinación con organizaciones conservacionistas nacionales o internacionales.
- Estructuración de un equipo multidisciplinario con acceso al asesoramiento técnico de expertos para todas las fases del programa.
- Identificación de indicadores de éxito a corto plazo y predicción de la duración del programa, en el contexto de las metas y objetivos acordados.
- Asegurar el financiamiento adecuado para todas las fases del programa.
- Diseño de programas de control pre y post-liberación, de manera que cada reintroducción/introducción constituya un experimento cuidadosamente diseñado, con la capacidad de poner a prueba la metodología con datos científicamente recogidos.
- Es importante tanto la vigilancia sanitaria de los individuos como su supervivencia.
- Una selección adecuada de la salud y de la condición genética de los ejemplares liberados.
- Si los ejemplares liberados son capturados en estado silvestre, deben tomarse las previsiones necesarias para asegurar que: a) los ejemplares están libres de patógenos o parásitos infecciosos o contagiosos antes del embarque, y b) los

ejemplares no estén expuestos a vectores de agentes de enfermedades que puedan estar presentes en el sitio de liberación (y ausente en el sitio de origen) y para las cuales no tengan inmunidad adquirida.

- Elección de la estrategia de liberación (aclimatación de la población a liberar en el área en la que será liberada; entrenamiento etológico incluyendo la alimentación; composición grupal, número, técnicas y patrones de liberación; sincronización).
- Desarrollo de educación conservacionista para apoyo a largo plazo; entrenamiento profesional de los individuos involucrados en el programa a largo plazo; relaciones públicas a través de medios de comunicación y con la comunidad local.

Biología de *A. mexicanum*

El hábitat de *A. mexicanum* es acuático, vive en lagos, pozas y canales. Requiere condiciones particulares de turbidez, niveles de oxigenación disueltos en el agua, y condiciones estables de las corrientes. La temperatura ideal del agua es fría, de 16 a 18° C y no debe de exceder los 20 a 22° C (Zambrano *et al.*, 2004; Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Su apariencia básica es la de un renacuajo gigante, con patas y cola. Su piel es lisa en casi todo el cuerpo, aunque puede ser ligeramente rugosa y con pequeños poros que solo se aprecian de cerca. Su cabeza es robusta, ancha y plana, contrastando con el resto del cuerpo que es más alargado y aplastado por los lados. Sus ojos son pequeños y sin párpados. El cuerpo tiene 12 pliegues de cada lado. Una característica distintiva son los tres pares de branquias externas y ramificadas que salen hacia atrás de la base de la cabeza. A la altura de sus branquias, en el dorso, tiene una membrana rígida que se prolonga toda la cola formando una aleta. Las patas tienen dedos finos y puntiagudos que no desarrollan uñas, cuatro dedos en las patas anteriores y cinco en las posteriores (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Mide en promedio 25.7 cm de largo de la cabeza hasta la cola, e individuos mayores a los 30 cm son raros. Su cabeza más ancha que larga, mide de 3.3 a 3.7 cm. Pesan de 60 a 110 g, y en promedio 85 g. Su boca es grande y tiene alrededor de 126 pequeños dientes maxilares y premaxilares, y de 18 a 20 dientes vomero-palatinos que están ubicados adentro de la cavidad de la boca. Su lengua es retráctil (CONABIO, 2011). Su esqueleto difiere del de muchos vertebrados por el hecho de que aún en la etapa reproductiva no está completamente osificado (Fig. 1), esto se presenta principalmente en la zona de las branquias que están compuestas por cartílago (Scott, 1995).

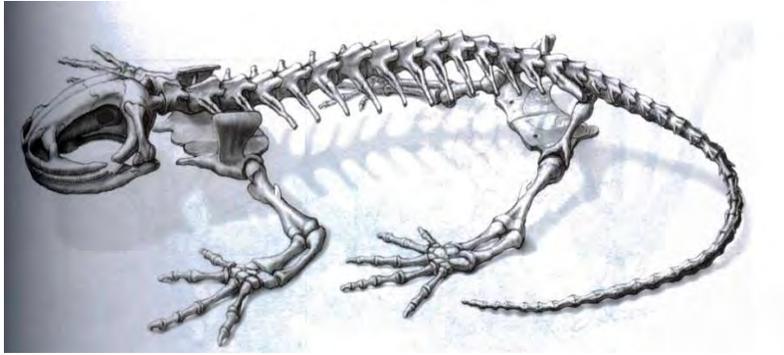


Figura 1: Esqueleto de *Ambystoma*.

Fuente: Wright, 2001.

Su dieta es amplia, come pequeños peces, renacuajos, insectos acuáticos, lombrices, crustáceos y moluscos de agua dulce. Cuando son larvas pequeñas se alimentan de zooplancton, formado por crustáceos microscópicos como copépodos, cladóceros; y rotíferos. En cautiverio pueden comer una gran variedad de cosas, incluyendo croquetas especiales para tortugas, grillos, tubifex, artemias, tenebrios (larvas de escarabajo) y hasta pollo. Su forma de atrapar el alimento es por medio de succión repentina, utiliza sus pequeños dientes para retener a su presa, la cual traga completa. Este movimiento repentino empuja al ajolote hacia atrás y arriba, para luego posarse en el fondo de nuevo. Son caníbales. A veces incluso traga grava pequeña u otras partículas que luego expulsa. Pueden pasar varias semanas en ayuno (Zambrano *et al.*, 2004; CONABIO, 2011; Servín, 2011).

La respiración la realiza por medio de las ramas branquiales en un proceso de intercambio de gases a favor del gradiente: el oxígeno del agua pasa a los capilares y a la sangre y el dióxido de carbono al agua. También tienen sacos pulmonares parcialmente desarrollados, por lo que ocasionalmente sube a la superficie a tomar bocanadas de aire (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Su coloración puede ser muy variable. En estado silvestre, en la mayoría domina el color café oscuro a negro en el dorso, con tonos más claros en las partes ventrales. Pueden tener manchas oscuras en el dorso y lados, evidentes solo de cerca. Debido a la expresión de diferentes genes, el patrón de coloración también puede tener varios tonos, especialmente en cautiverio: de gris, de café, de verde pardo, anaranjado, blanco con

ojos negros, albino dorado, albino blanco, o casi negro (melanoide). La mayoría de estas variaciones son colores raros que se presentan en colores sólidos, aunque también hay individuos jaspeados, incluso con más de un color (CONABIO, 2011).

Es solitario, escurridizo y aún no se conoce ningún tipo de interacción entre individuos, excepto en el apareamiento, cuando se encuentran por medios visuales y químicos. Con actividad todo el día. En cautiverio viven hasta 30 años, mientras que en vida silvestre solo tres, a veces hasta seis años. Se cree que actualmente, la diferencia se debe a la contaminación (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Se reproduce en los meses de diciembre, enero y febrero, una sola vez al año. Los machos se pueden distinguir por su cloaca (orificio reproductivo y excretorio) más alargada que la de la hembra. El apareo se realiza después de un breve comportamiento de cortejo, en el que al principio, juntan la región de las cloacas, para después realizar una especie de baile lento, moviéndose en círculos. El macho se aparta mientras mueve de forma ondulada la parte posterior de su cuerpo y cola, mientras la hembra lo sigue. Posteriormente, el macho agita vigorosamente la cola por aproximadamente medio minuto, al hacer esto libera una masa gelatinosa con una cubierta de esperma en forma de cono, llamada espermatóforo y continúa moviéndose hacia adelante; la hembra se desliza sobre el espermatóforo recogiéndolo con la cloaca. Aproximadamente 24 horas después de la fecundación, la hembra libera entre 600 y 1,500 huevos fecundados, los cuales deposita paulatinamente, tardando a veces, hasta tres días. No construye madrigueras, pero tiene tendencia a poner huevos prefiriendo vegetación con raíces esponjosas y densas donde están más protegidos. Eclosionan después de 11 a 15 días, y las larvas pueden madurar sexualmente al cumplir el año, aunque esto varía según el individuo (Zambrano *et al.*, 2004; Servín, 2011; CONABIO, 2011). (Para más información de la morfofisiología de *A. mexicanum* ver Anexo I).

Ciclo de vida

En la mayoría de los anfibios el ciclo de vida incluye una etapa acuática y una terrestre, entre ellas se realiza un proceso de metamorfosis, en donde el organismo se adecúa de una etapa acuática a una terrestre. Sin embargo, el *A. mexicanum* es una excepción a

esta regla, ya que es un individuo neoténico, es decir, es un organismo que alcanza la madurez sexual manteniendo caracteres larvarios, y por lo general no realiza metamorfosis, manteniendo su ciclo de vida completo dentro de un ambiente acuático. No obstante, en ocasiones lleva a cabo esta metamorfosis, en general se presenta por inducción química en el laboratorio, de manera natural por hibridismo o condiciones ambientales adversas; aunque con algunas excepciones, se puede presentar sin alguna de las condiciones antes mencionadas, se dice que uno de cada 1000 ajolotes de Xochimilco puros, llevan a cabo la metamorfosis a fase terrestre de manera natural (Servín, 2011; Molina, 2010).

El ciclo empieza con el embrión que se desarrolla dentro de un huevo transparente formado por 3 capas, por lo que es posible observar el desarrollo embrionario (Fig. 2). , una vez eclosionado, la cría sólo posee cabeza, cuerpo y branquias, posteriormente se desarrollan los miembros, tanto anteriores como posteriores (Fig. 3). Se le puede considerar cría desde su eclosión hasta cumplir los 4 meses de edad. De los 4 meses a los 12 meses se le considera joven y de los 13 meses en adelante es la etapa en donde se inicia la madurez sexual y por lo tanto es capaz de reproducirse, cerrando así el ciclo de vida (Servín, 2011; Wiener, 2007).



Figura 2: Desarrollo embrionario

Fuente: Wiener, 2007.

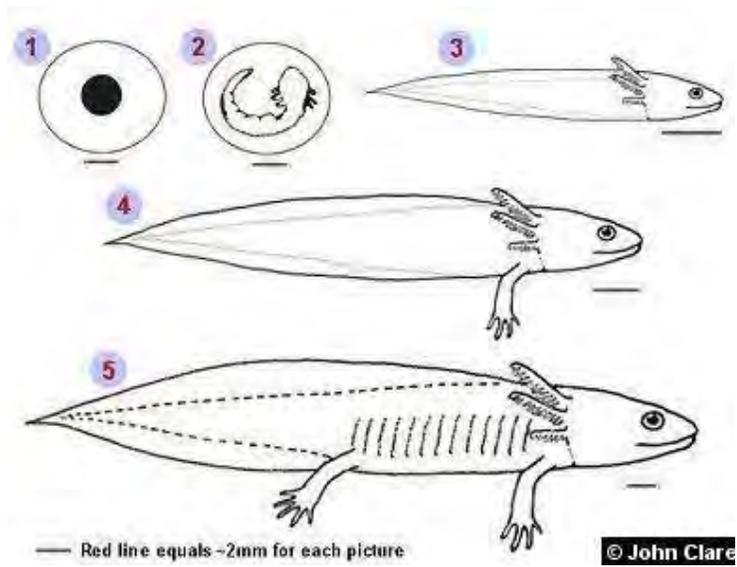


Figura 3: Desarrollo del ajolote

Fuente: Clare, s.a.

Distribución y hábitat

Es endémico del Lago de Xochimilco (Fig. 4) e históricamente vivía en todo el complejo 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 Xaltocán (Fig. 5). Actualmente, en vida libre solo se encuentra en el sistema de canales de Xochimilco en la Ciudad de México (Zambrano *et al.*, 2004; Servín, 2011; Zambrano *et al.*, 2012).



Figura 4: Ubicación de Xochimilco

(19°16'04.4"N 99°04'12.8"W)

Fuente: Musacchio, 2000

El clima donde vive varía por su altura y su geografía, pudiendo ser de templado a frío-húmedo. En la región de los canales de Xochimilco, el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano (Cw). La altitud promedio de la región es de 2,250 msnm. Las lluvias son de mayo a octubre, con una precipitación anual de 600 mm (Merlín, 2009; Servín, 2011; Garzón, 2002).

La vegetación que solía rodear en abundancia su hábitat eran gramíneas y plantas herbáceas suculentas (plantas con tejidos que almacenan agua) de suelos salinos, alcalinos y mal drenados; así como algunos tipos de pastos, como *Schoenoplectus acutus*, *Scirpus acutus*, *Schoenoplectus lacustris*, *Scirpus lacustris* subsp. *acutus* y

Schoenoplectus americanus. La vegetación acuática es escasa, compuesta de especies de *Berula*, *Sagittaria*, *Ludwigia*, y algunas otras. La vegetación flotante que más a menudo se observa, consiste de capas delgadas, pero a veces muy espesas de *Lemna spp.*, que en ocasiones cubren por completo los canales. En algunos años *Eichhornia crassipes* se propaga de manera formidable y llega también a cubrir totalmente los espejos de canales y de otros depósitos de agua. Su cantidad y volumen es tal que llegan a imposibilitar la navegación y la pesca.

También se encontraba el bosque de pino-encino; ecosistema que ahora está fragmentado y del que queda poco. Actualmente hay extensas zonas de cultivo de maíz, flores y diferentes tipos de vegetales, como la lechuga. La altitud promedio donde vive es de 2,274 msnm (Merlín, 2009; Servín, 2011; Aranda, 2004).

En diez años la densidad descendió de alrededor de seis mil individuos por km² en 1998, a solo un mil en 2004 y sólo 100 o tal vez menos, para 2008. Para ese mismo año, los estudios sugerían que la población total en vida silvestre pudiese ser de entre 700 a 1200 individuos. Sin embargo, se considera que debido a lo agresivo de los factores que amenazan su ecosistema, sobreviven menos de lo esperado, y para 2009 se piensa apenas quedaban 20 individuos (CONABIO, 2011).

Modificación del hábitat del ajolote mexicano a lo largo de la historia

En la época prehispánica, las porciones bajas de la cuenca estaban ocupadas por un sistema de cinco lagos: Chalco y Xochimilco en el Sur, y Zumpango y Xaltocan en el norte que fluían hacia Texcoco, el lago más bajo y ubicado en el centro de la cuenca (Fig. 5). Debido a que Texcoco no poseía otro afluente, la única salida de agua era la evaporación, por lo que era muy salino (Servín, 2011).

Los lagos de Chalco y Xochimilco estaban situados al sur de la cuenca, a una altitud de tres metros por encima del lago de Texcoco y separados entre sí por la Sierra de Santa Catalina. Eran alimentados por manantiales localizados al sur de Xochimilco. A pesar de

que tradicionalmente eran considerados como dos lagos diferentes, en realidad eran un cuerpo continuo de lagunas (Garzón, 2002).



Figura 5: Distribución histórica de la zona lacustre del Valle de México.

Fuente:

https://commons.wikimedia.org/wiki/Atlas_of_the_early_American_societies?uselang=es#/media/File:Lake_Texcoco_c_1519.png, 2001

Se han encontrado restos de *Ambystoma* recuperados de excavaciones arqueológicas en la región de Chalco-Xochimilco los cuales muestran que los ajolotes ya eran parte de este hábitat lacustre desde por lo menos 6000 a. C. Compartían el hábitat con otros anfibios como *Rana tlaloci* y *Rana montezumae*; reptiles como el cincuate (*Pituophis deppei*) y la víbora de cascabel (*Crotalus polystictus*); así como aves, entre las que destacan varias que son acuáticas y migratorias, como la cerceta ala azul (*Anas discors*), la jacana norteña (*Jacana spinosa*), la garza morena (*Ardea herodias*), la garza blanca (*Ardea alba*) y la gallareta americana (*Fulica americana*); peces de los géneros *Chiostoma*, *Goodeido* y *Cyprinidos*; y crustáceos: acociles (*Cambarellus montezumae*) (Armstrong et al., 1989; Servín, 2011).

La cuenca de México, es considerada uno de los primeros ambientes naturales modificados por el hombre en el continente, con la construcción de islas, y las chinampas. Con la conquista y el creciente desarrollo urbano de la zona, fue modificándose aún más la zona lacustre de México, construyendo calzadas y acueductos. Esto ha continuado a lo largo de los años, quedando gran parte de la zona lacustre bajo la Ciudad de México (Garzón, 2002).

En el siglo XX, especialmente los lagos de Xochimilco y Chalco se redujeron a un área de 120 Hectáreas. De hecho estos canales siguen existiendo porque se recargan con un afluente de agua tratada. Actualmente existen 176 km de canales, de los cuales 14 de ellos son turísticos (Servín, 2011).

Por lo descrito anteriormente se puede observar que el hábitat y por tanto la distribución del ajolote mexicano ha sido modificada al paso del tiempo, encontrándose únicamente en los canales de Xochimilco (Servín, 2011).

El ajolote mexicano:

❖ **Históricamente**

En la mitología náhuatl, es la advocación acuática del dios Xólotl, hermano mellizo de Quetzalcóatl, monstruoso a causa del nacimiento gemelar. Xólotl se encuentra asociado a la idea del movimiento y de la vida, de acuerdo con la leyenda del quinto sol. La dualidad se manifiesta en las transformaciones a las que recurre para evitar el sacrificio. Bernardino de Sahagún cuenta que Xólotl rehusaba la muerte, huyendo cuando vio llegar al verdugo, y ocultándose entre las milpas, se convirtió en una planta de maíz de dos cañas; al ser descubierto echó a correr otra vez y se escondió en un magueyal, donde tomó la forma de una penca doble. Una vez más lo halló el verdugo y escapó de nuevo introduciéndose al agua, donde se transformó en un animal llamado *axolotl*. Esta es su última metamorfosis. Finalmente, el verdugo lo atrapó, y le dio muerte (Ortega, 2000).

Los ajolotes llamaron poderosamente la atención de los antiguos en el Valle de México y los representaron en diferentes códices, como el Florentino, el Borgia y el Vaticano B (Martin del Campo, 1936; Smith & Smith, 1971 *In Casas et al.*, 2004; Johansson, 2012).

La primera referencia científica aparece en un libro de historia natural de Francisco Ximénez en 1615, y después aparecen citas en Nieremberg (1635) y en Jonstonus (1649), aunque estas citas están basadas en la obra de Francisco Hernández, cuyos manuscritos fueron publicados en 1648 (Smith & Smith, 1971 *In Casas et al.*, 2004). Después de éstas citas no parece haber registro sobre estos animales por más de un siglo, hasta que José Antonio Alzate (1790), en su *Gaceta de México* da una breve descripción y hace algunas notas sobre sus propiedades medicinales (Casas *et al.*, 2004).

Los extraños animales impresionaron hondamente a Humboldt, quien de México se llevó dos ajolotes a París y se los entregó al naturalista Georges Cuvier para que los estudiase. Éste describió con sorpresa la presencia y la persistencia de las branquias externas a los lados de la cabeza, y destacó su parecido anatómico con la salamandra.

Cuvier, fiel a la lógica de la anatomía comparada, concluyó que no era más que la larva de una gran salamandra. No obstante, años después, en su célebre clasificación del reino animal se vio obligado a clasificarlo como un perennibranchio (Ortega, 2000).

En 1863 llegaron al Museo de Historia Natural de París 34 ejemplares vivos, enviados desde México por el general Elie Frédéric Forey, militar francés, desconociéndose los motivos de este envío. A partir de ese momento, se inició una serie de importantes publicaciones en Europa acerca de estos animales (Casas *et al.*, 2004). El zoólogo Duméril (1870), del Museo de Historia Natural de París, quien recibió los ajolotes, señaló que el arribo fue en 1863 y que de los 34 ejemplares 33 eran negros y uno era blanco, los cuales se reprodujeron por miles, distribuyéndose en buena cantidad al resto de Europa. El mismo Duméril documentó haber enviado ajolotes vivos a Inglaterra, Italia, Irlanda, Holanda, Bélgica, Suiza, Bavaria, Prusia, Rusia y Suecia. Es bien conocido que subsecuentemente se enviaron a otros países como Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Polonia y con toda seguridad a muchos otros países y lugares. En la actualidad, se encuentran como animales de acuario en muchos países, dada su facilidad para mantenerlos en cautiverio (Casas *et al.*, 2004).

❖ Culturalmente

Dentro de la literatura ha inspirado no pocas obras literarias. Ha servido de musa a autores como Julio Cortázar, escritor argentino que en 1952 publicó el cuento “Axolotl”, donde narra, de alguna forma, la transmutación del hombre, él mismo, en un Ajolote. Roger Bartra, antropólogo y escritor mexicano quien en 1996, publicó la obra *La jaula de la melancolía*, inspirada en el anfibio y en donde metafóricamente compara la idiosincrasia del mexicano con el Ajolote. En 2000, el escritor y reportero Armando Ramírez publica “La casa de los ajolotes”, novela que retrata la metáfora entre la identidad del mexicano y su deseo de no salir del estado larvario. El escritor mexicano Salvador Elizondo además de quien se dice cría Ajolotes como mascotas, escribió un cuento sobre la dualidad Ajolote Salamandra, entre otras notas literarias. La lista parece interminable, sobre todo si también tomamos en cuenta a artistas plásticos que han

plasmado al Ajolote y su permanente estado larvario en diversas obras pictóricas y escultóricas (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Dentro de la cultura culinaria, y desde tiempos prehispánicos ha sido utilizado como alimento en una variedad de platillos, incluyendo tamales y caldos. Hace unos años todavía se conseguía con facilidad en los mercados de Xochimilco, Toluca, Pátzcuaro y Zumpango (Zambrano *et al.*, 2004).

Tal vez en parte por su extraña forma y características, a las que los antiguos pobladores del Valle de México pudieron atribuirle propiedades místicas, ha sido utilizado con fines medicinales en el tratamiento del asma y la bronquitis. Desde su importancia en usos y costumbres, hasta fuente de proteínas, y hasta nuestros días, sigue siendo motivo de estudio e inspiración. La fama de sus propiedades curativas aún perdura hasta nuestros días, ya que se le solía conseguir con facilidad en el mercado de Sonora en la Ciudad de México y aún se encuentran ungüentos y tónicos en los que el ingrediente principal es el Ajolote mexicano (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Un elemento cultural adicional a su importancia en México, es su valor como especie rara para acuario, por lo que se comercializa, siendo los más valiosos las variedades de color albino, que es sumamente raro, el dorado, una variedad melánica casi negra, y el leucístico (CONABIO, 2011).

En México su relevancia como especie es considerable, por sus usos y costumbres culturales, como fuente de inspiración, y porque es una de las especies de anfibios más estudiadas en el mundo, a nivel fisiológico, genético, y como modelo en el estudio de la biología del desarrollo (CONABIO, 2011).

❖ Científicamente

En varios países se han realizado estudios genéticos del ajolote, la mayoría enfocados a sus características neoténicas y su inusual capacidad de regeneración. Por ejemplo, desde principios de 2009, el Departamento de Defensa de Estados Unidos financia con

6.25 millones de dólares a un grupo de científicos especializados en regeneración celular de miembros, de la Universidad de Tulane, de New Orleans, para estudiar al Ajolote Mexicano, que tiene la capacidad de regenerar sus extremidades, cola, mandíbula, piel, órganos, e incluso partes de su cerebro (Zambrano *et al.*, 2004).

En México se realizan estudios genéticos enfocados principalmente a la taxonomía y sistemática. Entre los aspectos que se están estudiando, por medio de técnicas genéticas, son la endogamia, pérdida de la diversidad genética, fragmentación de la población y adaptación genética al cautiverio. Sin embargo, también se realizan otros esfuerzos para entender el proceso celular que lleva al Ajolote mexicano a la ya mencionada capacidad regenerativa (Servín, 2011).

Conservación

Actualmente, en los canales de Xochimilco, más del 85% del hábitat original ha sido drenado y rellenado por el crecimiento urbano, el 15% restante del agua enfrenta serios problemas de contaminación debido a las descargas de drenaje de miles de casas, el agua tratada proveniente del Cerro de la Estrella, los fertilizantes agrícolas de las zonas de cultivo, y el turismo que masivamente visita los canales en las tradicionales chinampas o trajineras (Zambrano *et al.*, 2004).

Con la finalidad de generar una actividad de acuacultura para la gente local, en la década de 1980, el gobierno introdujo en Xochimilco especies de peces exóticas incluyendo carpas (*Cyprinus carpio*), tilapia (*Oreochromis niloticus*), lobina negra (*Micropterus salmoides*), entre otras. Estas especies se comen a las crías de Ajolote y compiten con él por otros alimentos (Zambrano *et al.*, 2004). Adicionalmente, los Ajolotes sufren de *chytridiomycosis*, una enfermedad en la piel asociada a los anfibios y producida por un hongo que es difícil de erradicar, y que ha infectado incluso poblaciones de laboratorio y acuario (CONABIO, 2011).

Desde 1975 fue incluido en el Apéndice II de CITES, para regular su comercio internacional. Actualmente se está estudiando su cambio al Apéndice I. En México se incluyó en la NOM- 059-ECOL-1994. Y se refrendó su estatus bajo “protección especial” en la NOM-059-ECOL-2001 y en la NOM-059-ECOL-2010 cambió de categoría a “en peligro de extinción”. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), lo clasifica en el libro rojo como en PELIGRO CRÍTICO, debido a que su área de distribución es menor a los 10 Km², su hábitat se encuentra severamente fragmentado y se ha observado un continuo decline en la extensión y calidad de su hábitat, así como también la disminución del número de individuos maduros (CONABIO, 2011).

Las razones para conservar ésta especie son muchas, entre ellas destacan:

a) médicas: diversos estudios han determinado que esta salamandra posee la capacidad de regenerar cualquier tipo de tejido, incluyendo el cardíaco y el neuronal,

característica que ya se investiga para que se implemente paulatinamente en tratamientos en el ser humano;

b) biológicas: aunque poco conocido por la sociedad en general, el ajolote de Xochimilco es una de las especies más representativas de México, y ningún país debe permitirse perder parte de su biodiversidad, ya que cada una de las especies que la conforman constituye un patrimonio biológico invaluable para sus ciudadanos;

c) culturales: al perder esta especie también perderíamos un representante vivo de nuestras raíces prehispánicas, que son parte de nuestra identidad como mexicanos (Molina, 2010).

Se han implementado planes y programas para su conservación, por ejemplo, en 1993 se decretó el Parque Ecológico de Xochimilco, que incluye en su plan de manejo un proyecto para la conservación del Ajolote. En 1999, el Comité Técnico Consultivo Nacional para la Recuperación de Especies Prioritarias (CTCNREP), crea un Subcomité para la Recuperación de Especies Prioritarias de México dedicado al Ajolote mexicano. Actualmente es una de las 51 especies prioritarias del Programa de Conservación de Especies Prioritarias (PROCER) (Servín, 2011; CONABIO, 2011).

Algunos pobladores de Xochimilco fundaron en 1995 una asociación civil llamada “Estación Biológica Umbral Axochiatl” para trabajar en el rescate del ajolote. Mediante la observación de las características reproductivas del ajolote, la adquisición del conocimiento empírico y la supervisión del Instituto de Biología de la UNAM, lograron obtener 17 líneas genéticas de las cuales ya se han aislado ocho ejemplares con las mejores características para cruzarlos y así regresar a los ajolotes a los canales de Xochimilco (Servín, 2011).

En 2006 se publicó el programa de manejo del área natural protegida con carácter de zona de conservación ecológica “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” donde es obligatoria la conservación y manejo del Ajolote mexicano (CONABIO, 2011).

Hay iniciativas para su cultivo con fines de reintroducción, como el proyecto “Conservación del ajolote (*Ambystoma mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco” desarrollado por el Patronato del Parque Ecológico de

Xochimilco. Es ésta la única región prioritaria que queda para su conservación en estado silvestre (Otto, 1999).

Por otro lado, en un intento de evitar su extinción, la UNAM y productores locales, están llevando a cabo un proyecto para generar refugios, que consisten en canales o zanjas aisladas de las especies exóticas de peces, con filtros para el agua naturales, como grava de silicio y tezontle de diferente grosor, y utilizando vegetación acuática y flotante. La intención es crear áreas de crecimiento de huevos y larvas de ajolote. Con ésta estrategia se piensa evitar la reintroducción de organismos de laboratorio, que podrían causar un cuello de botella genético, transmisión de enfermedades, y desplazamiento de individuos nativos (CONABIO, 2011).

Así mismo, se han establecido diversas PIMVS, en México y otros países, con fines de reproducción, investigación y venta. Tal es el caso del Ajolotario ubicado en FES Iztacala, fundado desde 1996, donde el principal objetivo ha sido la investigación, divulgación y apoyo a la docencia, principalmente llevada a cabo por los alumnos de los primeros semestres de la Carrera de Biología; a su vez también abre sus puertas para que allí se realice servicio social y voluntariado. Las investigaciones que aquí se realizan son, principalmente, en el campo de la Embriología; así como, la realización de proyectos sobre los cuidados, manejo y alimentación en cautiverio de la especie (Correa com. pers; Servín, 2011).

Antecedentes

Proyectos para la conservación de anfibios

En 2008, Griffiths y Pavajeau, realizaron una revisión y análisis de la efectividad de programas de reproducción en cautiverio y reintroducción de anfibios; que se han concentrado en especies amenazadas y se han llevado a cabo en diversos países. Encontraron que, de las especies que han estado en estos programas, 18 de 58 especies reintroducidas se han reproducido con éxito en el medio silvestre y 13 de éstas han establecido poblaciones autosustentables (Griffiths & Pavajeau, 2008).

En 2009, Aguilar y colaboradores realizaron el “Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México”, para identificar las regiones de mayor importancia para su estudio y conservación; obteniendo que el estado de México presenta tres zonas de mayor valor para la conservación y se ubican en el centro-sur, suroeste y oriente, por su mayor número de criterios de conservación (Aguilar *et al.*, 2009).

Proyectos de reintroducción de especies en México

En México se llevó a cabo el proyecto “El retorno del berrendo. Programa para la reintroducción del berrendo *Antilocapra mexicana* a la República Mexicana”, en donde se liberó una manada de 65 individuos de ésta especie en Coahuila, en 1998, y su posterior monitoreo mostró un descenso en la población debido a la dispersión de la manada y a la depredación de crías por coyotes; sin embargo, los monitoreos aéreos realizados entre 2003 y 2005 muestran que la población mínima se ha logrado estabilizar y se encontraba entre los 43 y 50 animales (Manterola, 1998).

Cruz y Peters (2007) realizaron la “Reintroducción del Cóndor de California en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California”, en donde se ha logrado la supervivencia saludable de 24 cóndores de California, y cuando menos una pareja inició la reproducción en vida silvestre.

Proyectos de reintroducción y conservación de *A. mexicanum*

Otto, en 1999, llevó a cabo el proyecto “Conservación del ajolote (*Ambystoma mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco”, en donde se diseñó y construyó un módulo para la producción de ajolotes, con condiciones muy similares a su medio natural, también se llevó a cabo la reproducción de ajolotes en estanques de tipo intensivo, y se elaboraron tablas de vida y fecundidad para las primeras etapas de crecimiento. Aunque la finalidad era reintroducirlos, no se obtuvo el número de organismos esperado, pero las investigaciones realizadas dieron a conocer los requerimientos de la especie, lo que haría más factible la siembra en dicho cuerpo de agua.

Zambrano y colaboradores, en 2004, realizaron el estudio de “Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco”. Obteniendo que en Xochimilco la densidad es cinco veces menor a densidades obtenidas cinco años atrás, por lo mismo ahora son mucho más difíciles de colectar de lo que eran hace algunos años. La estructura poblacional sugiere que los estadios más susceptibles son cuando el ajolote no ha cumplido todavía el año. Pero los pocos organismos que llegan a la fase adulta son presa fácil de la colecta furtiva. Por su parte en Chalco aún existen ajolotes dentro de una región del cuerpo de agua y la facilidad con la que se colectaron los organismos en este sitio hace suponer que existen mayores densidades en este lugar.

Objetivos

General: Establecer una alternativa de introducción de *A. mexicanum* en un cuerpo de agua artificial del Valle de México.

Particulares:

- Determinar bibliográficamente el ambiente idóneo para el desarrollo óptimo de *A. mexicanum*.
- Recopilar información bibliográfica de las características fisicoquímicas del agua de Xochimilco.
- Investigar y analizar posibles cuerpos de agua idóneos para la introducción de un *stock* de *A. mexicanum*.
- Realizar una prueba piloto a pequeña escala en un cuerpo de agua con características óptimas para el desarrollo de *A. mexicanum*.

A mediano y largo plazo:

- Liberar y monitorear un *stock* de *A. mexicanum* en el cuerpo de agua seleccionado del Valle de México.

Materiales y Método

Se determinaron bibliográficamente las condiciones óptimas para el desarrollo y reproducción de *A. mexicanum* (Amstrong *et al.*, 1989: *In* Zambrano, 2004). Esta caracterización fue utilizada para comparar los parámetros encontrados en un cuerpo de agua del Valle de México, sentando las bases para continuar con las investigaciones pertinentes y que cubran con los criterios para realizar la introducción de una especie (Soriguer *et al.*, 1998).

Se realizó una investigación bibliográfica para establecer la evolución ambiental del Lago de Xochimilco, para compararlos con los parámetros necesarios para la sobrevivencia de *A. mexicanum* (Mogollón *et al.*, 1993).

Se buscaron cuerpos de agua artificiales con las características necesarias para la sobrevivencia de la especie, tales como los parámetros fisicoquímicos del agua idóneos, vegetación acuática que brinde protección, existencia y disponibilidad de alimento, inexistencia de especies del mismo género taxonómico, y dimensiones que permitan un correcto monitoreo y espacio suficiente para el *stock* de *A. mexicanum*. Teniendo como alternativas el “Parque Estatal Sierra Hermosa”, *jagüeyes* ubicados en Tecámac, en Tepotzotlán, Estado de México, y “Xochitla Parque Ecológico”. En cada sitio se realizaron visitas de reconocimiento, se tomaron muestras de agua en aquellos que parecieron viables y se realizaron las investigaciones necesarias para un proyecto de introducción de una especie, pues resulta ineludible comprender todos los aspectos biológicos, ambientales y geográficos para asegurar el éxito del proyecto y así mismo, evitar consecuencias para la biodiversidad y equilibrio del ecosistema del área circundante.

La mayoría de las especies dependen para su supervivencia de manera importante de la experiencia individual y del aprendizaje en etapas tempranas; se les debería dar la oportunidad de adquirir la información necesaria para posibilitar la supervivencia en el medio silvestre a través de un entrenamiento en el medio ambiente en cautiverio; la probabilidad de sobrevivir de un individuo criado en cautiverio debería ser similar a la de

la contraparte silvestre (UICN/SSC, 1995). Para cumplir con este requerimiento de adaptación se realizó un proyecto piloto en un estanque controlado en Tepetzotlán, Estado de México; en donde se realizaron los análisis fisicoquímicos del agua pertinentes. Se introdujeron 10 organismos en etapa joven (con una longitud de 15-25 cm), que previamente fueron medidos, pesados e identificados mediante fotografías. Los organismos fueron monitoreados durante veinte meses (una vez al mes); con ayuda de una red se extrajeron organismos para su identificación, se pesaron y midieron para evaluar su evolución en estado semi-silvestre y se realizaron observaciones de su estado de salud y comportamiento. Los parámetros fisicoquímicos fueron monitoreados dos veces al mes.

En la estación invernal 2012-2013 se introdujo una hembra silvestre y dos machos en edad reproductiva, en un estanque aislado donde se puso vegetación artificial sumergida, para observar resultados con respecto a la reproducción en estado semi-silvestre. No se realizó su revisión hasta pasada su época reproductiva, pero se revisaba periódicamente el estanque y la vegetación artificial para encontrar los posibles desoves.

Con el fin de obtener más datos importantes, se introdujeron tres alevines para observar su desarrollo y adaptación, en un estanque aislado, que previamente se limpió exhaustivamente para extraer la mayor cantidad posible de insectos que pudieran lastimarlos, como distícidos o náyades de odonatos.

Aunado a esto, se realizó un estudio social en las localidades cercanas al proyecto piloto, principalmente en escuelas, para determinar la aceptación hacia estos organismos y su conservación.

Mediano y largo plazo

Con los datos obtenidos en el proyecto piloto y las investigaciones para encontrar cuerpos de agua idóneos se podrá llevar a cabo su introducción en el área, por lo que será necesario revisar los listados faunísticos de la zona para determinar posibles competidores o depredadores; así mismo, para evitar que su introducción sea una

amenaza para la fauna autóctona y derive en una alteración en el ecosistema que conlleve consecuencias adversas, y sobre todo, que no represente una posibilidad de hibridación con otras especies de *Ambystoma* y su inminente pérdida de identidad genética (Elton, 1958; Dodd & Seigel, 1991; Butterfield *et al.*, 1997; Arano *et al.*, 1995; Manchester & Bullock, 2000: *In* Pleguezuelos, 2002).

Si la zona resulta viable para su introducción, se procederá a obtener el pie de cría de la Estación Biológica "Umbral Axochiatl". Se seleccionarán los reproductores tomando en cuenta características cualitativas, como son las morfológicas, piel, ausencia de enfermedades visibles, vigor y coloración (Otto, 1999). Los ejemplares serán sexados y separados, se realizará la toma de datos merísticos (longitud total, longitud hocico-cloaca, peso y en las hembras, además, anchura ventral), con ayuda de vernier y regla. La longitud total será tomada desde el extremo de la cola hasta el extremo de la cabeza, la longitud patrón desde el extremo de la cabeza hasta la cloaca y la anchura ventral en las hembras en la parte media del abdomen (Otto, 1999). A la par, todo éste procedimiento se realizará con ejemplares de PIMVS autorizadas, como el de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

Resultados

Determinación bibliográfica el ambiente idóneo para el desarrollo óptimo de *A. mexicanum*.

Se encontró bibliográficamente una compilación referente a los parámetros físico-químicos ideales que debe poseer el cuerpo de agua para *A. mexicanum* de edad joven y reproductiva en cautiverio, mismos que a continuación se resumen (Tabla 1), con lo cual cabe destacar que la calidad del agua es muy importante, y las variaciones de estos niveles pueden ocasionar problemas en su salud y desarrollo:

Tabla 1: Parámetros físicoquímicos del agua ideales para el ajolote mexicano

PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS	
pH:	6.5 - 8
Cloro	0 mg/l
Dureza general (GH)	6 – 16 °dh
Nitritos (NO ₂ -)	> 3 mg/l
Amoníaco	0% ó 0 mg/l
Densidad	1
Concentración CO ₂	< 5 mg/l
O ₂ disuelto	6-8 ppm
Temperatura	15 -18 °C

Fuente: Servín, 2011

Recopilación de información bibliográfica de las características fisicoquímicas del agua de Xochimilco.

Se revisaron los trabajos realizados en el Lago de Xochimilco, como el estudio realizado por Álvarez y Rangel (2001): “Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en Xochimilco”; el estudio de “Productividad Primaria y Diversidad Microbiana Fotolitoautotrófica en los Canales de Xochimilco”, por Pedroza (2007), y el “Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre Xochimilco y del Ajolote” llevado a cabo por Zambrano y colaboradores (2012), entre otros; y se realizó el siguiente concentrado de datos de años recientes (Tabla 2), observando notables variaciones en una década:

Tabla 2: Parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua de Xochimilco

PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS			Año
pH	Oxígeno disuelto (mg/l)	Temperatura (°C)	
7.65-8.84	4.98- 8.76	17.96 - 19.82	2002
7.9	5.6	18.6	2007
7.7	6.8	15.7 – 20	2008
8.3	2.1	19.6	2009
8.7	5.37	15.38	2012

Fuente: Arcos *et al.*, 2002; Álvarez & Rangel, 2007; Nacif, *et al.*, 2007; Pedroza, 2007; Quiroz-Flores *et al.*, 2008; Merlín, 2009; Ramírez-Carrillo *et al.*, 2009; Zambrano, *et al.*, 2012.

Tomando en cuenta las tablas anteriores se realizó el siguiente gráfico comparativo de algunos de los parámetros óptimos y los encontrados en Xochimilco en 2012 (Fig. 6), donde se observa que en los valores de oxígeno disuelto es menor a lo requerido, y en caso contrario el valor de pH es mayor que lo requerido por la especie, pues aunque muestran resistencia a una variación de estos valores, son más susceptibles a enfermar.

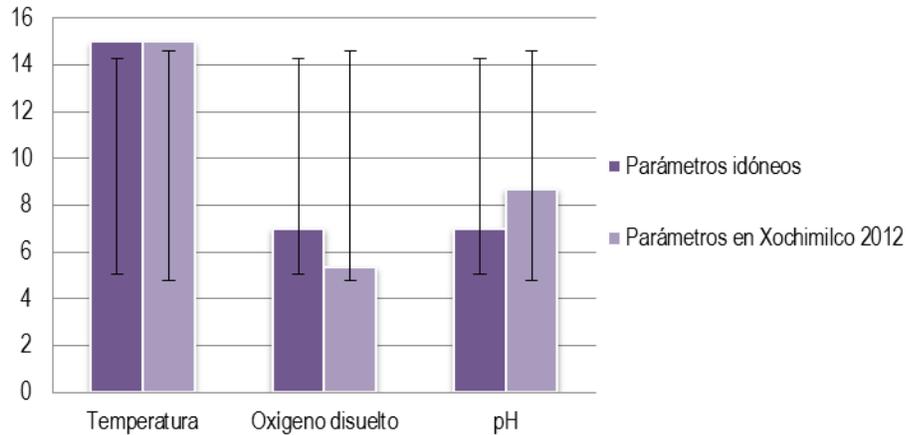


Fig. 6: Gráfico comparativo de parámetros fisicoquímicos del agua, con barras de error con desviación estándar

Investigación y análisis de posibles cuerpos de agua idóneos para la introducción de un stock de *A. mexicanum*.

El proceso de introducción de una especie es de sumo cuidado y lleva tiempo, y gran parte del éxito se deberá a una buena determinación del nuevo hábitat, en donde no altere las poblaciones existentes y en el cual, en medida de lo posible, se asegure la sobrevivencia de la población introducida. Es por ello, que en este proyecto se planteó encontrar cuerpos de agua artificiales, con el fin de asegurar que no se afectara a alguna especie endémica o de gran importancia para el ecosistema.

El primer acercamiento con un alternativo cuerpo de agua fue en Tecámac, Estado de México; lugar en donde también se localiza la Escuela Preparatoria Oficial (EPO) 216, en la cual alumnos, tutelados por el profesor Braulio Ramírez, han instalado un Ajolotario; en la mencionada localidad hay terrenos de siembra y antiguamente contaban con un suministro de agua a través de diversos *jagüeyes* artificiales. Se realizó la visita a tres de ellos, y se tomaron muestras de agua para su posterior análisis biológico (Tabla

3), encontrándose peces en uno de ellos, y en los otros dos *jagüeyes* insectos acuáticos y algas verdes:

Tabla 3: Análisis biológico de los jagüeyes

JAGÜEY 1			
Clase	Actinopterygii		
Familia	Goodeidae		
JAGÜEY 2			
División	Chlorophyta		
	Género	<i>Anomoeoneis</i>	
		<i>Rhizoclonium</i>	
Clase	Insecta		
	Orden	Hemiptera	
		Familia	Notonectidae
			Corixidae
JAGÜEY PARTICULAR			
Clase	Insecta		
	Orden:	Diptera	
		Suborden	Nematocera

Se plantearon posteriores visitas para realizar más análisis, desafortunadamente no hubo un mayor progreso debido al gran interés de que se realizara el proyecto en apoyo a fines políticos.

Posterior a las iniciativas anteriores, se estableció como una opción para realizar la introducción el cuerpo de agua ubicado en el Parque Estatal “Sierra Hermosa”, Tecámac, Estado de México (PESH); el acercamiento se realizó con el Administrador Responsable, el Ing. Jaime Ramírez. En dicho sitio se tuvo gran avance en la realización de estudios para determinar si era idóneo.

El cuerpo de agua es artificial, y es llenado con agua tratada desde 2008; se ha tenido un continuo control de la calidad del agua por parte de la Universidad Tecnológica de Tecámac (UTTEC), cuya institución mostró gran interés y apoyo para el proyecto;

prestando instalaciones, material y resultados de los análisis de calidad de agua (Tabla 4).Obteniendo resultados dentro de los parámetros permitidos por la NOM 003-SEMARNAT.

Tabla 4: Parámetros encontrados en el cuerpo de agua del PESH, comparados con parámetros estandarizados de calidad del agua

Parámetro	Concentración encontrada en el cuerpo de agua	Límite en la NOM-003-SEMARNAT. Contacto directo con el público	Parámetros para garantizar la preservación de la flora y fauna
Arsénico	0.005	0.2	0.1
Cadmio	<0.05	0.2	0.01
Cobre	0.06	4	0.1
Cromo	<0.05	1	0.01
Mercurio	0.0008	0.01	0.01
Níquel	<0.05	2	0.01
Plomo	<0.1	0.5	0.01
Zinc	0.577	10	0.01
Carbono Orgánico Total	24.9	30	—
Coliformes	167.24	240	—
Huevos de helminto	233.45	<1	—

Fuente: Universidad Tecnológica de Tecámac

El cuerpo de agua cuenta con un diámetro aproximado de 50 m y una profundidad de 3 m, y por sus dimensiones en un principio de estableció realizar una introducción previa en un estanque ornamental a la entrada del PESH, la cual sería también una atracción al público visitante. Al realizar visitas de reconocimiento al lugar, se pudo observar una población considerable de patos migratorios, y otras especies de aves. Se revisó el plan de manejo del PESH, con el fin de conocer el listado faunístico (Tabla 5), y poder establecer posibles depredadores y competidores; encontrándose solo un representante de los anfibios: el sapo excavador; en el grupo de los reptiles hay dos tipos de lagartijas

y una serpiente (cincuate); así como gran diversidad de aves, tales como la garza garrapatera y el halconcillo; dentro de los mamíferos se pueden encontrar tuzas y murciélagos, así como animales ajenos o ferales (gatos y perros). Ver Tabla 5 para conocer el listado faunístico, con nombre común y científico del PESH.

Tabla 5: Listado de fauna silvestre del PESH

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
ANFIBIOS	
<i>Spea multiplicata</i>	Sapo excavador
REPTILES	
<i>Sceloporus grammicus</i>	Lagartija
<i>Sceloporus scalaris</i>	Lagartija
<i>Pituophis deppei</i>	Cincuate
AVES	
<i>Bubulcus ibis</i>	Garza garrapatera
<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla coliroja
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla rojinegra
<i>Cathartes aura</i>	Zopilote
<i>Falco sparverius</i>	Halconcillo o cernícalo
<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota
<i>Columbina inca</i>	Tortolita o coquita
<i>Tyto alba</i>	Lechuza
<i>Tyrannus sp.</i>	Papamoscas
<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Cardenalito
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina
<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuitlacoche o huitlacoche
<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo
<i>Dendroica sp.</i>	Chipe

<i>Agelaius phoeniceus</i>	Tordo sargento
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate
<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo ojo rojo
<i>Guiraca caerulea</i>	Azulejo trigueño
<i>Cardualis psaltria</i>	Dominico
<i>Melospiza fusca</i>	Pájara vieja
<i>Spizella passerina</i>	Gorrion
<i>Passer domesticus</i>	Gorrion
<i>Haemorrhous mexicanus</i>	Gorrion
MAMÍFEROS	
<i>Myotis velifer</i>	Murciélago
<i>Silvilagus floridanus</i>	Conejo castellano
<i>Lepus californicus</i>	Liebre
<i>Pappogeomys tylosrhinus</i>	Tuza
<i>Reithrodontomys fulvescens</i>	Ratón de campo
<i>Peromyscus maniculatus</i>	Ratón de campo
<i>Canis lupus familiaris</i>	Perro (ferales)
<i>Felis catus</i>	Gato (ferales)

Fuente: Plan de manejo del Parque Estatal Sierra Hermosa (Secretaria de Ecología, 2002)

Se vislumbró la posibilidad de realizar un convenio interinstitucional con la UTTEC, FES-Iztacala, la EPO 216 y el PESH, para poder establecer un equipo multidisciplinario. Se realizaron varias reuniones informativas con los interesados, pláticas sobre la biología de la especie con los alumnos de la UTTEC y visitas al Ajolotario de la EPO 216.

Con el objetivo de cubrir el aspecto social, se dio la oportunidad de un acercamiento con personas del pueblo San Pablo Tecalco, ubicado en la localidad; en la feria del pueblo se montó una exposición informativa del proyecto, teniendo gran aceptación e interés entre los pobladores.

Sin embargo, y a pesar de los avances que se habían logrado, no fue posible continuar con el proyecto en dicha zona; desafortunadamente, el cambio de administración del PESH mermó la continuación de análisis e investigaciones que se realizarían.

Pese a los obstáculos encontrados, se siguió en el proceso de búsqueda de cuerpos de agua adecuados, y se vislumbró la posibilidad de realizar el proyecto en un área privada, por lo que se le presentó el proyecto a “Xochitla Parque Ecológico”, pero a pesar de contar con cuerpos de agua y recursos financieros, obtuvimos una negativa, que solo tuvo como explicación que la crianza y mantenimiento de animales no estaban dentro de los objetivos del lugar.

Aunado a esto, se efectuó el contacto con dueños de propiedades en Tepetzotlán, lugar en donde es común tener estanques para la captura de agua potable. Sin embargo, son propiedades que no tienen una limitación con bardas o cercos, por lo que son de libre paso para personas y ganado, y en la mayoría se tienen poblaciones de carpas que han sido donadas por el municipio.

A pesar de todas las opciones arriba mencionadas y de no haber tenido el éxito deseado en cada una de ellas, se continúa con la búsqueda y no se descarta la posibilidad de continuar con el proyecto.

Realización de la prueba piloto a pequeña escala en un cuerpo de agua con características óptimas para el desarrollo de *A. mexicanum*.

El estanque del proyecto piloto está localizado en Tepetzotlán, Estado de México; dentro de una propiedad privada. Está dividido en tres secciones, dos de ellas más pequeñas y del mismo tamaño, con dimensiones aproximadas de 1.5 m de largo, 2 m de ancho y una profundidad de 1.5 m (Estanques B y C), y una más grande (Estanque A), en esta última fue donde se introdujeron los organismos (Fig. 7-10). El estanque A tiene aproximadamente 4 m de largo, 2.5 m de ancho y una profundidad máxima de 2.5 m, el fondo no es plano, y presenta pequeñas oquedades; está revestido por cemento y ha

sido llenado con agua potable, contando con un microecosistema establecido, principalmente conformado por insectos acuáticos (Tabla 6).



Fig. 7: Estanque A



Fig. 8: Estanques B y C



Fig. 9: Estanque A



Fig. 10: Estanques B y C

En los estanques se realizó un análisis fisicoquímico y biológico del agua (Tabla 6), encontrándose que poseen temperatura y pH adecuados, buena oxigenación y fuente de alimentación, conformada por insectos acuáticos.

Tabla 6: Análisis fisicoquímico y biológico del estanque

Fisicoquímico			
Temperatura (°C)		15	
Ph		7	
NH ₃ /NH ₄		0.25 ppm	
Microfauna			
<u>Clase</u>	<u>Orden</u>	<u>Familia</u>	
Insecta	Hemiptera	Notonectidae	
		Corixidae	
	Ephemeroptera		
	Coleoptera	Dytiscidae	
Microalgas			
<u>Orden</u>	<u>Familia</u>	<u>Género/ Especie</u>	
Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Mougeotia sp</i>	
		<i>Spyrogira sp</i>	
		<i>Zygnema sp</i>	
Pennales	Fragilariaceae	<i>Synedra sp</i>	
Chlorococcales	Hydrodictyaceae	<i>Pediastrum boryanum</i>	
Euglenales	Euglenaceae	<i>Trachelomonas sp</i>	
Vegetación acuática			
<u>Clase</u>	<u>Orden</u>	<u>Familia</u>	<u>Género</u>
Liliopsida	Alismatales	Araceae	<i>Lemna sp</i>

Fuente: Lewis & Britton, 1952; García *et al.*, 2009; Triplehorn *et al.*, 2005

Una vez que se aseguró que los estanques contaban con los parámetros mínimos necesarios para la sobrevivencia de los organismos, se procedió a introducir 10 organismos en el estanque A; previamente pesados, medidos e identificados en un álbum fotográfico (Anexo II).

Durante los veinte meses fueron monitoreados los parámetros fisicoquímicos: temperatura, pH y el NH₃/NH₄ (Fig. 11 y 12), los cuales fueron constantes en cuanto al pH y el NH₃/NH₄, y la temperatura presentó pequeñas variaciones, principalmente determinado por las estaciones del año.



Fig. 11: Promedios de parámetros fisicoquímicos del agua 2012

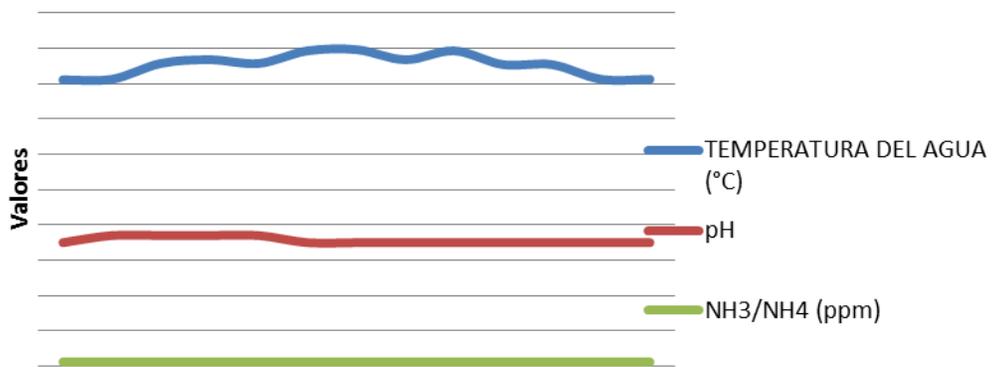


Fig. 12: Promedios de parámetros fisicoquímicos del agua 2013 y 2014

Se realizaron arrastres de captura (Fig. 13), pero los organismos tuvieron un comportamiento escurridizo, que complicó sacar varios organismos en los días de

revisión, siendo constante obtener datos de dos o tres organismos por cada revisión; por estas razones el control de pesos no fue continuo, se pesaba y medía a aquellos que se pudieran capturar e incluso hubo organismos que no salieron en ninguna ocasión. Aunque también cabe destacar que en dos ocasiones salieron organismos muertos, con un avanzado estado de descomposición, que impidió su identificación; por lo cual pudieran ser alguno de los que no se tienen datos (Fig. 14-23 & Anexo III). Los datos obtenidos fueron constantes en la mayoría de los organismos, con pequeñas variaciones en la longitud. Sin embargo, hubo más variación en el peso, pues no se les suministró alimento, los insectos que se hallaban naturalmente en el estanque era su única fuente de alimentación, por lo que dependían totalmente de la cantidad disponible y su capacidad para capturarlo.

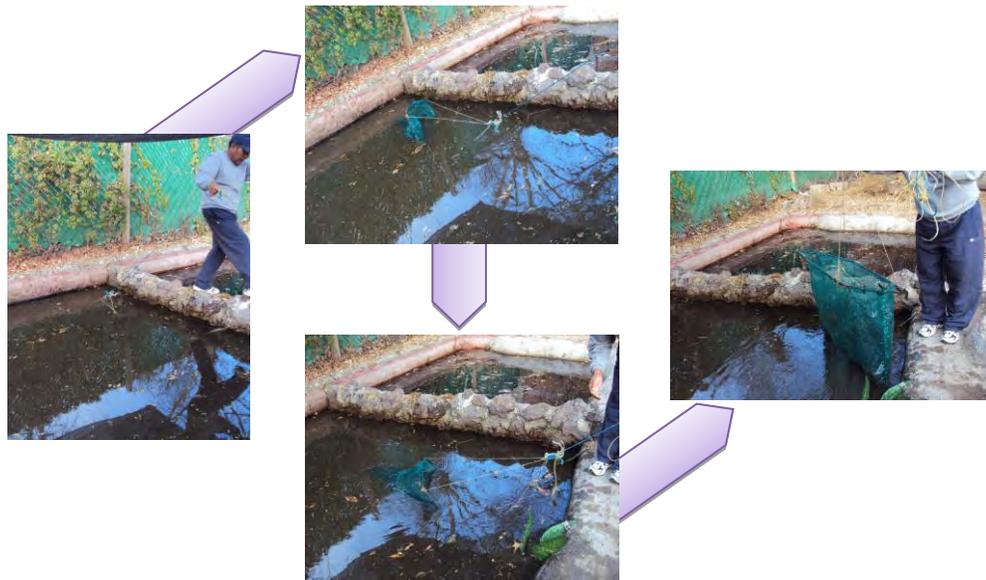


Figura 13: Arrastres de captura

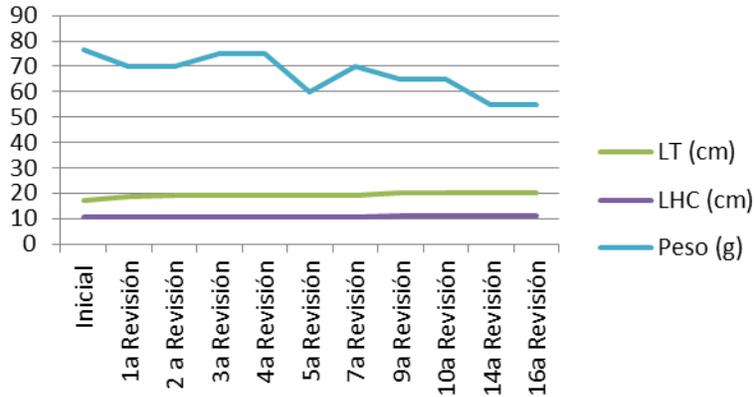


Figura 14: Datos morfométricos del Organismo 1 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

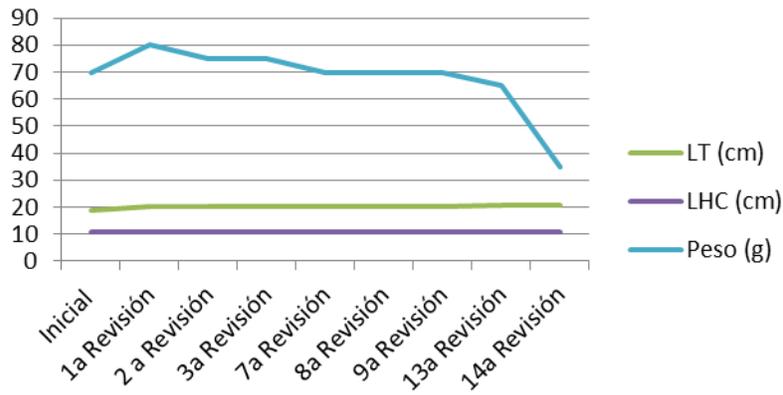


Figura 15: Datos morfométricos del Organismo 2 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

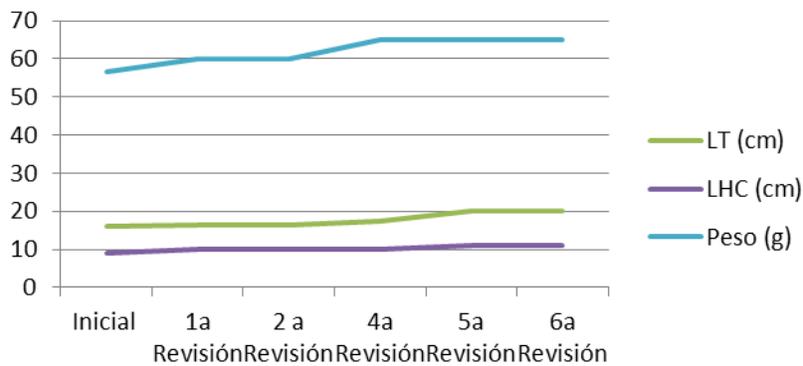


Figura 16: Datos morfométricos del Organismo 3 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

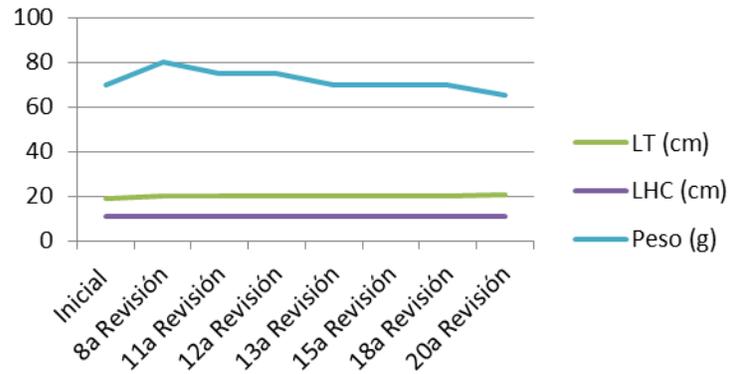


Figura 17: Datos morfométricos del Organismo 4 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

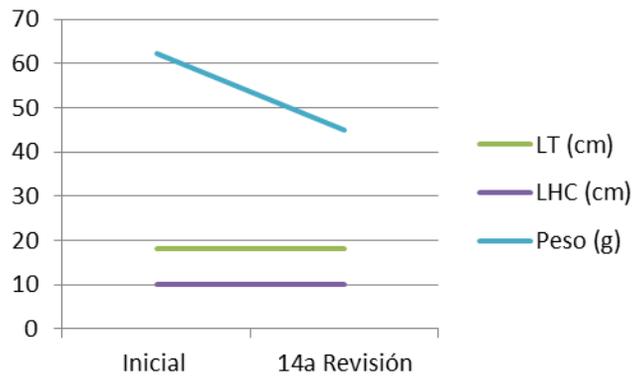


Figura 18: Datos morfométricos del Organismo 5 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

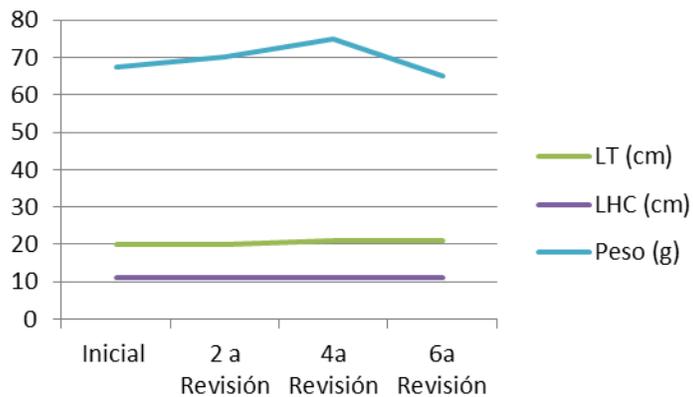


Figura 19: Datos morfométricos del Organismo 6 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

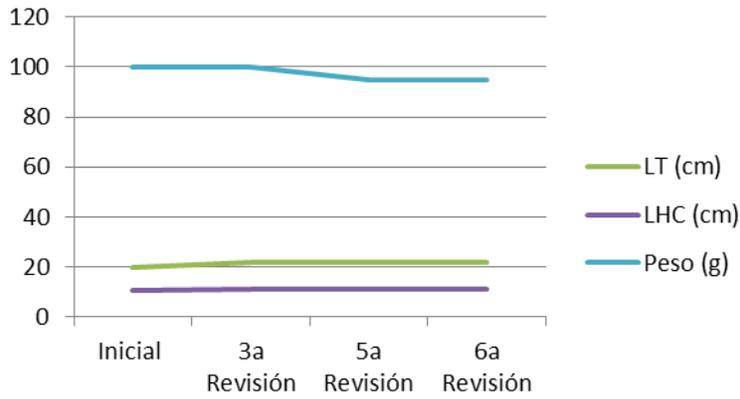


Figura 20: Datos morfométricos del Organismo 7 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

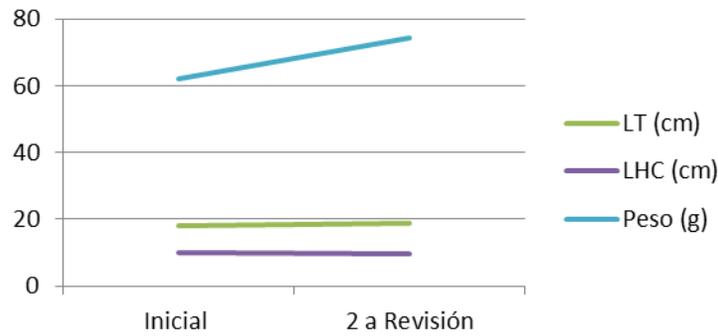


Figura 21: Datos morfométricos del Organismo 8 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

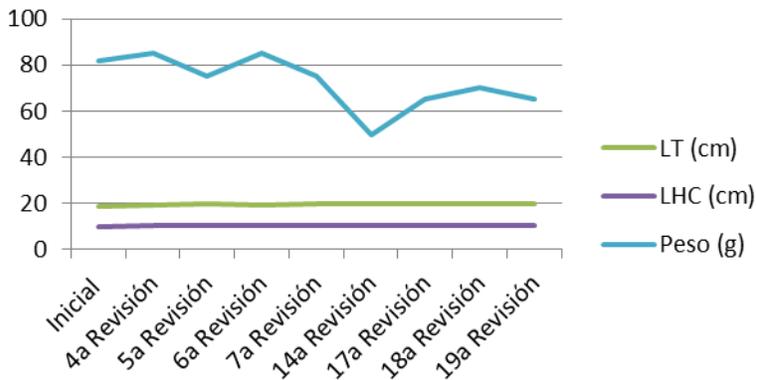


Figura 22: Datos morfométricos del Organismo 9 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

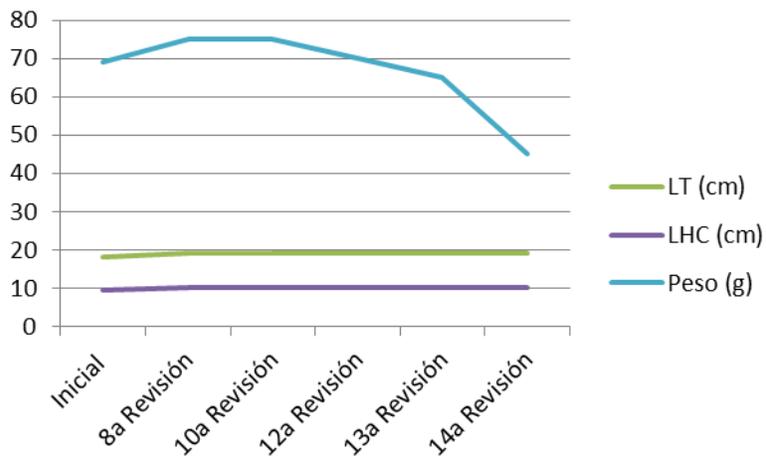


Figura 23: Datos morfométricos del Organismo 10 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

En cada revisión, se observó a los organismos capturados con el objetivo de visualizar enfermedades aparentes y su comportamiento (Anexo IV); fue común encontrarlos muy nerviosos e inquietos, algunos con pequeñas heridas caudales probablemente causadas por el método de arrastre para su captura.

En la estación invernal 2012-2013 se introdujeron una hembra silvestre y dos machos en edad reproductiva, en el estanque B, donde se puso vegetación artificial sumergida, para observar resultados con respecto a la reproducción en estado semi-silvestre (Anexo V). Antes de introducirlos se tomaron datos morfométricos (Tabla 7). Desafortunadamente no se tuvo éxito, probablemente porque dicha estación invernal no estuvo bien delimitada, y no se tuvo un gran descenso en la temperatura del agua, en promedio 16 °C (Fig. 11 y 12).

Tabla 7: Datos morfométricos de los organismos reproductores

ORGANISMO	LT (cm)	LP (cm)	PESO (g)
Hembra silvestre	19	10.5	45
Macho 1	21.5	12	90
Macho 2	21.5	11.5	75

Con el fin de obtener más datos en agosto de 2012, se estableció introducir tres alevines (todos de tres meses de edad), para observar su desarrollo y adaptación, en el estanque C, con una previa toma de datos morfométricos (Tabla 8). En el transcurso del traslado de los organismos de FES Iztacala al estanque, se tuvo el infortunio de que uno de los alevines fue lastimado y amputado de su extremidad anterior izquierda; por lo cual al introducirlo al estanque le costaba nadar y se mantenía en la superficie del agua, así que se determinó aislarlo en una pecera llena con agua del estanque hasta que se regenerara su extremidad. Sin embargo, al pasar un lapso de entre 60-70 días se regeneró completamente, pero no se introdujo de inmediato al estanque pues no se había podido capturar y revisar a los otros dos alevines que si fueron liberados en el estanque. Dichos contratiempos tuvieron resultados no planeados pero sorprendentes, pues en marzo de 2013 se capturaron los dos organismos del estanque y tenían una talla superior al organismo aislado (Fig. 24 & Anexo VI), a quien, quizá por su aislamiento y disponibilidad de alimento, se limitó su crecimiento, pues su talla y peso fueron inferiores. Después de la primera revisión, el organismo aislado fue puesto en el estanque C en una red aislante, pues su tamaño inferior lo hacía vulnerable ante los otros organismos, y se siguió con el monitoreo (Fig. 25-27 & Anexo VII), observándose el continuo crecimiento del individuo aislado y datos constantes en los otros dos.

Tabla 8: Datos morfométricos iniciales de los alevines

ORGANISMO	LT (cm)	LP (cm)	PESO (g)
Organismo 11	6	3.5	4
Organismo 12	5	2.5	3
Organismo 13	7	3.5	5

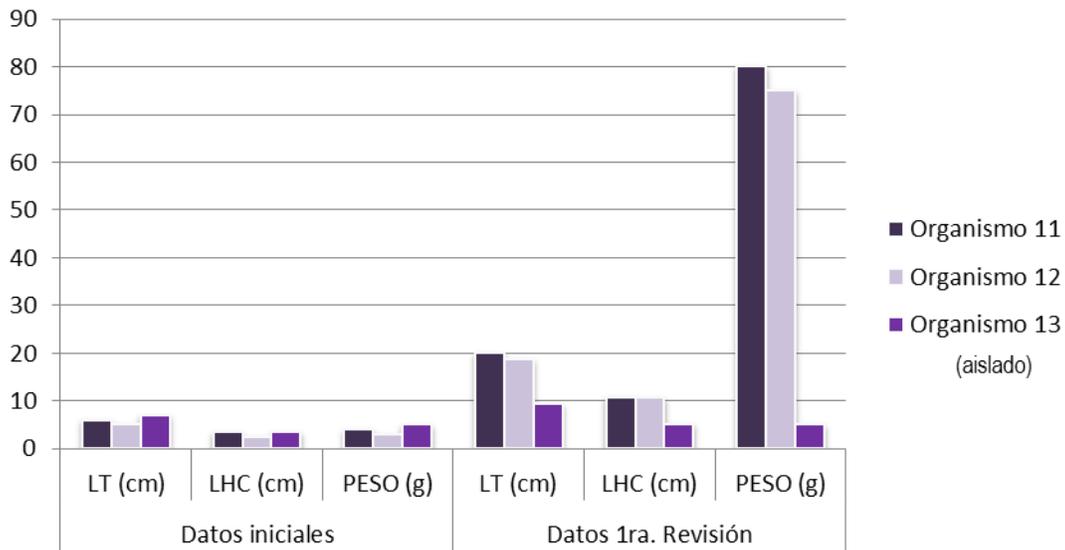


Fig. 24: Comparación de datos morfométricos de los alevines en la 1ª. Revisión, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

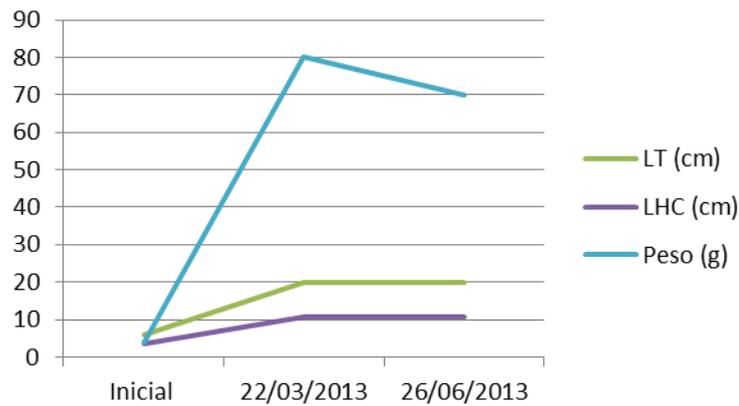


Figura 25: Datos morfométricos del Organismo 11 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

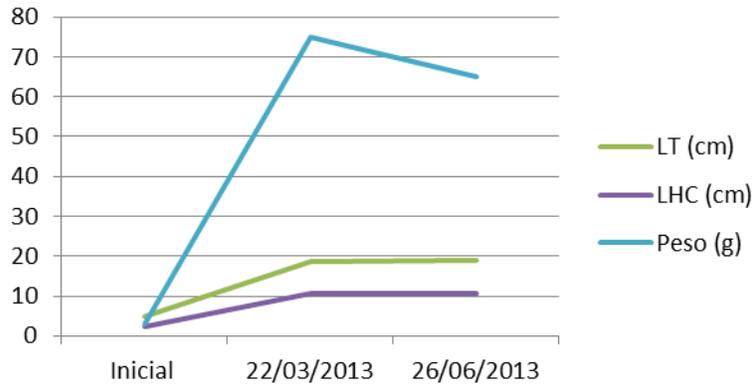


Figura 26: Datos morfométricos del Organismo 12 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

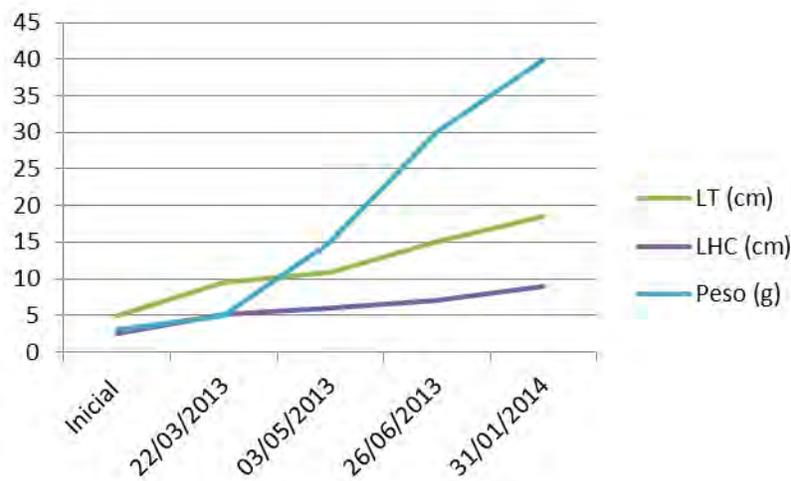


Figura 27: Datos morfométricos del Organismo 13 durante el proyecto piloto, donde LT= longitud total y LHC= longitud hocico-cloaca.

Cumpliendo con el factor social, se realizaron pláticas informativas del proyecto, con el fin de saber si será aceptado y el interés por conservar a la especie, aplicando un cuestionario (Anexo VIII), en el cual la mayoría de las personas (de diferentes rangos de edad, escolaridad y ocupación) tuvo una postura favorable hacia el proyecto, la especie y su conservación (Fig. 28-34 & Anexo IX).

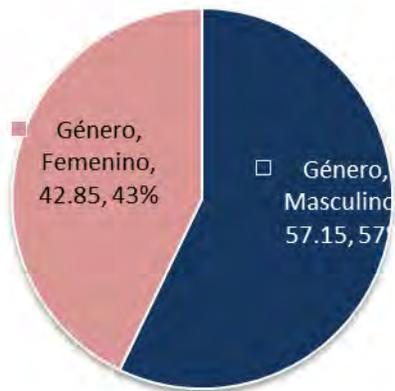


Fig. 28: Porcentaje de género de las personas en los cuestionarios aplicados

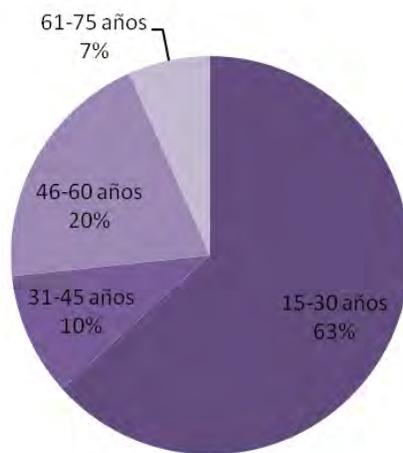


Fig. 29: Porcentaje de rango de edad de las personas en los cuestionarios aplicados

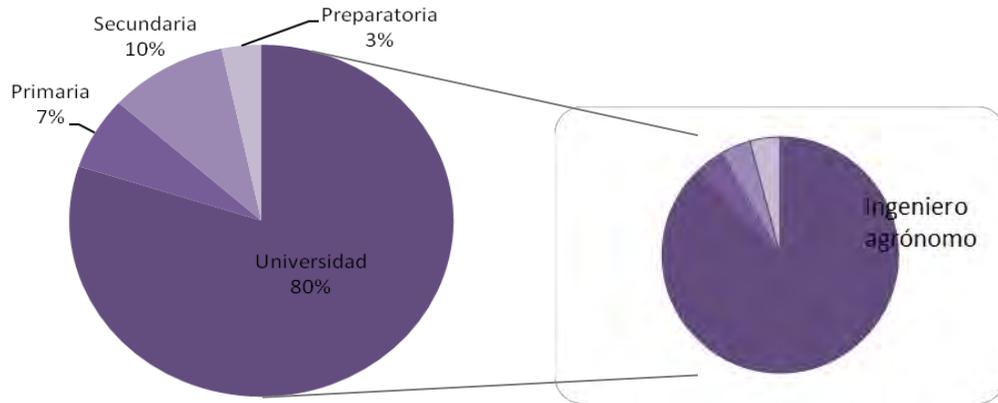


Fig. 30: Porcentaje de rango de escolaridad en los cuestionarios aplicados

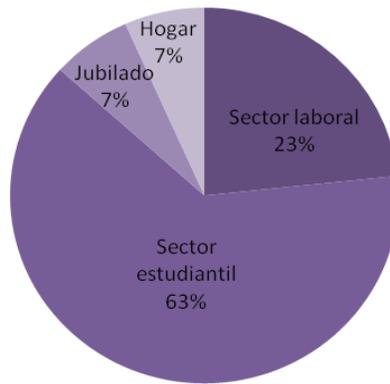


Fig. 31: Porcentaje de ocupación en los cuestionarios aplicados

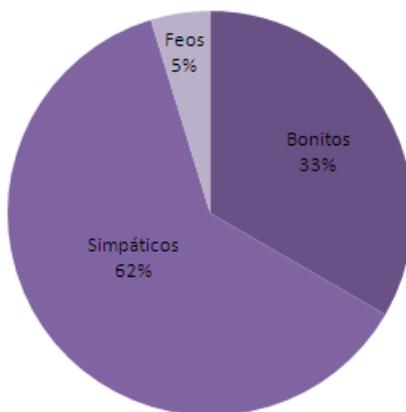


Fig. 32: Porcentaje de percepción personal del ajolote mexicano en el cuestionario

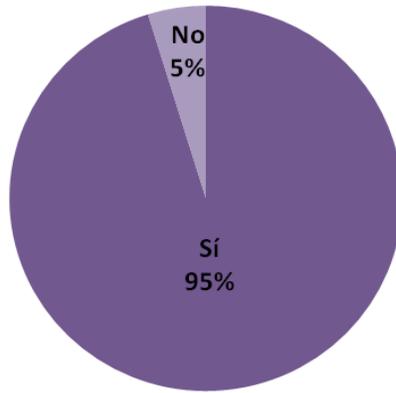


Fig. 33: Porcentaje de agrado hacia el ajolote mexicano en el cuestionario

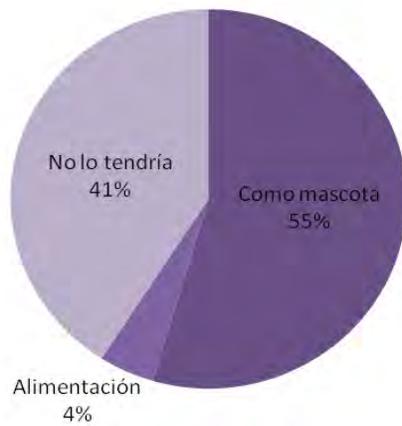


Fig. 34: Porcentaje de utilidad que le darían si tuvieran un organismo de esta especie

Análisis y discusión

Los proyectos de reintroducción/introducción contemplan diversos factores para asegurar la sobrevivencia de la población y desempeñar un elemento importante en la conservación de especies. Para el caso de los anfibios resulta de vital importancia buscar alternativas para su sobrevivencia, fuera del cautiverio, pues su vulnerabilidad ante pequeños cambios ambientales merma sus poblaciones drásticamente (UICN/SSC, 1995; Aprile, G. & C. Bertonatti, 1996; Bosch, 2003; Espunyes, 2011,2012).

Particularmente, las poblaciones del ajolote mexicano han sido afectadas por diversos factores y cambios en su hábitat, por lo que es necesario implementar proyectos para su conservación. Por los resultados obtenidos, se puede decir que el agua del lago de Xochimilco ya no presenta las condiciones y parámetros mínimos necesarios para la sobrevivencia y recuperación de las poblaciones de la especie, aunado a la competencia y depredación de las especies de peces introducidas que se han convertido en una plaga en la actualidad. Por ello, buscar cuerpos de agua artificiales es una alternativa necesaria, principalmente, para poder brindarles a los organismos un espacio y ambiente natural adecuado, contrario a las peceras del cautiverio (Aprile y Bertonatti, 1996; Arcos, 2002; Garzón, 2002; Zambrano *et al.*, 2004; Álvarez & Rangel, 2007; Molina, 2010; CONABIO, 2011; Servín, 2011; Espunyes, 2011-2012).

La búsqueda de los cuerpos de agua se concentró en el Valle de México pues, aunque no se tienen registros certeros, se estima que la especie ocupaba gran parte del complejo lagunar, estando las zonas de los cuerpos de agua estudiados cerca de lo que son los lagos de Zumpango y Xaltocán. Sin embargo, el factor determinante para que un cuerpo de agua fuera considerado factible era que fuera artificial, pues así no se afectaría a especies importantes para un ecosistema ya establecido en un lago natural; y aunado a un estudio minucioso de la biodiversidad existente del cuerpo de agua y área circundante, se podrá asegurar que no se encuentren organismos pertenecientes al mismo género taxonómico, dentro de la zona y en un radio amplio, con el objetivo de disminuir completamente las posibilidades de hibridación, transmisión de enfermedades y competencia entre especies. Así mismo, es necesario que el cuerpo de agua posea dimensiones que permitan un correcto monitoreo y espacio suficiente para el *stock* de *A.*

mexicanum. (Armstrong *et al.*, 1989; UICN/SSC, 1995; Garzón, 2002; Molina, 2010; Servín, 2011; Espunyes, 2011-2012)

Respecto a los cuerpos de agua denominados jagüeyes, en Tecamác, Estado de México, no representaron una alternativa factible, pues se encuentran en propiedades ejidales y son de uso común; y actualmente, están en disputas políticas y sociales. Por tales razones, no se continuaron los estudios en ninguno de ellos (Ovando, 2014).

La opción del cuerpo de agua artificial ubicado en el PESH fue la que mostró mayor viabilidad, pues tiene ya un periodo de tiempo, desde su construcción y llenado, en el que se ha establecido un ambiente, al cual ya llegan aves migratorias. La calidad del agua es monitoreada constantemente por la UTTEC, y las instalaciones de esta institución representan un elemento importante para futuras investigaciones de la especie, así como un flujo de estudiantes constante que apoyen en la vigilancia y protección del cuerpo de agua pues, aunque el PESH cuenta con personal encargado, es un área muy grande y abierta al público, pudiendo ser susceptible a la introducción de mascotas acuáticas abandonadas o actividades de pesca recreativa no autorizada. El apoyo administrativo del PESH supuso una gran probabilidad de que el proyecto cumpliera con su objetivo a largo plazo de introducir un *stock* de *A. mexicanum*, desafortunadamente el Ingeniero a cargo concluyó con su administración, y no estaba dentro del plan de trabajo de su sucesor el apoyo y continuación del mismo (UICN/SSC, 1995; Aprile, G. & C. Bertonatti, 1996; Secretaria de Ecología, 2002; Espunyes, 2011,2012).

Pese a los obstáculos, se continuo con la búsqueda, ahora en el sector privado, en “Xochitla- Parque Ecológico”, que se encuentra muy cercano a la zona del proyecto piloto, un lugar con cuerpos de agua con fines paisajísticos y con peces ornamentales; y con estanques en etapa de construcción, que pudieran ser utilizados para el proyecto. Se hizo la propuesta, pero obtuvimos una negativa por no estar dentro de los objetivos del parque el cuidado y mantenimiento de este tipo de organismos. Sin embargo, es importante mencionar que al ser de propiedad privada, cumplía con la protección y vigilancia, así como con una constante fuente de financiamiento (UICN/SSC, 1995; Espunyes, 2011-2012; Xochitla Parque Ecológico, 2015).

Continuando con más alternativas, se tuvo el ofrecimiento de locatarios, cercanos a la zona del proyecto piloto (Tepotzotlán, Estado de México.), cuerpos de agua en propiedades particulares; pues les resultó de gran interés lo que se estaba realizando y lo que se pretendía. Al acudir a los lugares, se observó que la mayoría cuentan con un gran espacio y fueron llenados con agua potable, pero tienen poblaciones de carpas, otorgadas por el gobierno con fines de aprovechamiento; y por estar en zonas no urbanizadas totalmente, las propiedades no cuentan con bardas o cercos perimetrales que impidan el paso, por lo que fueron descartados (Plan municipal de Desarrollo Urbano de Tepotzotlán, Estado de México, 2015).

Cabe subrayar que el proceso de investigación y realización para la introducción/reintroducción de una especie es bastante complicado, pues son muchos los elementos a considerar, sin embargo, a pesar de los inconvenientes encontrados en la búsqueda de cuerpos de agua adecuados, los resultados del proyecto piloto pueden considerarse como un precedente importante para la conservación de la especie, pues se ha estudiado que los organismos comienzan a presentar una adaptación genética al cautiverio, lo que conlleva a restringir sus poblaciones a éste (UICN/SSC, 1995; Aprile y Bertonatti, 1996; CONABIO, 2011; Servín, 2011; Espunyes, 2011,2012).

En el proyecto piloto se observó que, aunque los organismos eran nacidos en cautiverio, fueron capaces de adaptarse a un estado semi-silvestre, pues no se les suministraba alimento, lo que derivó en que su peso no fuera constante en la mayoría de los casos, quizá debido a la disponibilidad y cantidad de alimento; sin embargo, en varias revisiones algunos organismos excretaban, indicando que se estaban alimentando por sí mismos. La dificultad para poder capturarlos y su estrés al revisarlos se suma a la idea de que comenzaron a disminuir su dependencia a los cuidados y manejo del ser humano (UICN/SSC, 1995; Aprile y Bertonatti, 1996; Servín, 2011).

La reproducción en estado semi-silvestre resultaba un componente importante para el éxito completo del proyecto piloto; pues los organismos en cautiverio son sometidos a técnicas de inducción con buenos resultados, pero lograr su reproducción de forma natural, solo estimulados por factores químicos y ambientales, sería un aliciente positivo para su conservación. Desafortunadamente, al introducir ejemplares en la época

reproductiva no se tuvo los resultados esperados, determinado principalmente por la falta de factores ambientales necesarios, como lo son una estación invernal marcada, disminución de la temperatura del agua y cantidad luz/oscuridad adecuada (UICN/SSC, 1995; Otto, 1999; Zambrano *et al.*, 2004; CONABIO, 2011; Servín, 2011).

Para definir si el estado semi-silvestre influía a su desarrollo/crecimiento, la introducción de alevines mostró importantes resultados; ya que al comparar las diferencias en tamaño y peso de los alevines en estanque *versus* el alevín aislado se pudo observar un desarrollo/crecimiento desigual muy marcado. Sentando como factor determinante la disponibilidad de alimento, así como el espacio y volumen de agua (Otto, 1999; Zambrano *et al.*, 2010; Servín, 2011).

Un proyecto de introducción/reintroducción de organismos contempla la aceptación social del mismo, pues la falta de conocimiento o explotación irracional de la especie es un elemento que merma poblaciones. Por ello, busca divulgar los objetivos del proyecto, así como la importancia de la especie y su conservación. Por lo que, las pláticas informativas se llevaron a cabo, principalmente, en localidades cercanas al bioensayo; donde al transmitir los conocimientos de la especie, su estado de peligro de extinción y lo que se pretende llevar a cabo a largo plazo para su conservación, los participantes mostraron simpatía por los organismos, interés por saber qué pueden hacer ellos para apoyar y una aceptación y entusiasmo para que se cumpla con este propósito (UICN/SSC, 1995, Espunyes, 2011,2012).

Este proyecto implicó un largo proceso y adversidades que complicaron el cumplimiento de los objetivos a mediano y largo plazo, sin embargo, otorga un precedente que coadyuve a la investigación y conservación de la especie. Es de suma relevancia contar con el apoyo del sector social, interés del sector institucional y apoyo gubernamental, así como una fuente de financiamiento a largo plazo, que sustente un plan a futuro para la especie (UICN/SSC, 1995; Aprile y Bertonatti, 1996; Espunyes, 2011,2012).

El presente trabajo representa un escenario viable para la conservación de la especie, y se recomienda para un futuro seguimiento iniciar y contar con una fuente de

financiamiento, apoyo gubernamental, institucional y social, que pueda dar rapidez y eficacia a los esfuerzos tan necesarios para resguardar las poblaciones de la especie.

Conclusiones

- Establecer una alternativa de introducción de *A. mexicanum* en un cuerpo de agua artificial del Valle de México, es una opción viable de conservación fuera del cautiverio cuando se cuenta con una fuente de financiamiento, apoyo gubernamental, institucional y social.
- La especie requiere parámetros fisicoquímicos del agua específicos, por lo que, la calidad del agua es un factor importante en su crecimiento, desarrollo y salud.
- La calidad del agua en Xochimilco se ha visto comprometida por diversos factores, que limitan la sobrevivencia de la especie, pues los parámetros encontrados muestran una variación a los requeridos.
- Dentro del Valle de México se encontraron cuerpos de agua artificiales que representaron una alternativa viable para la introducción de un stock de *A. mexicanum*.
- La prueba piloto es una fuente importante de datos sobre la adaptación y sobrevivencia de organismos nacidos en cautiverio en un estado semi-silvestre.
- Los organismos de la prueba piloto tuvieron una longitud constante, y variaciones en su peso, determinado por la disponibilidad y su capacidad de capturar su alimento, compuesto solamente de los insectos acuáticos encontrados naturalmente en el estanque.

Literatura citada

Aguilar, M. X.; Casas, A. G.; Cárdenas, R. P.J. & Cantellano de Rosas, E. 2009. Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México *Ciencia Ergo Sum* , 16 (2).

Álvarez J. 1979. Anatomía comparada básica. Edit. Trillas, México.

Álvarez, F & Rangel, R. 2007. Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 431- 437.

Aprile, G. & C. Bertonatti. 1996. Manual sobre rehabilitación de fauna. *Bol.Téc.* N° 31, FVSA, Buenos Aires, Argentina.

Aranda, S.M. 2004. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. Secretaría de Medio Ambiente. 13 pp.

Arcos, R.R., G. Díaz & A. Domínguez. 2002. Macrofitas acuáticas: ¿contaminantes o soluciones de la contaminación por metales pesados? XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002.

Armstrong & Malacinski. 1989. *Developmental Biology of the axolotl*. USA : Oxford University Press.

Atlas of the World, Wikimedia Commons. 2001. Area near the Aztec capital. [Online] https://commons.wikimedia.org/wiki/Atlas_of_the_early_American_societies?use_lang=es#/media/File:Lake_Texcoco_c_1519.png.

Borland, S. 1992. New identification system makes "axolotl life" easier. 21, Indiana, EUA : *Axolotl newsletter*, 26-28.

- Bosch, J. 2003. Nuevas amenazas para los anfibios: enfermedades emergentes. *MUNIBE* 16: 54-71.
- Casas, A.G., A.R. Cruz & M.X. Aguilar. 2004. Un regalo poco conocido de México al mundo: el ajolote o axolotl (*Ambystoma*: Caudata: Amphibia). Con algunas notas sobre la crítica situación de sus poblaciones. *Ciencia Ergo Sum* 10 (3): 304-308.
- Clare, J.P. 1999-2012. [Online] <http://www.axolotl.org/acknowledgements.htm>. E.U.A.
- CONABIO, 2011. Fichas de especies prioritarias. Ajolote Mexicano (*Ambystoma mexicanum*) Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México D.F.
- Cruz, R.E. & E. Peters. 2007. "Reintroducción del Cóndor de California en la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California". *Gaceta Ecológica*. Enero-Marzo N°82. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. D.F., México. 55-67 pp.
- Espunyes N. J., 2011-2012. Reintroducción de especies amenazadas. Deontología y Veterinaria Legal. Facultad Veterinaria- Universidad Autónoma de Barcelona.
- García, M. P.; Fernández, Z. R.; Cirujano, B. S. 2009. Habitantes del agua: Macrófitos. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 278 pp.
- Garzón, L. E. 2002 Xochimilco hoy. Instituto de Investigaciones Dr. José Mora. [Online] <http://www.xochimilco.df.gob.mx/delegacion/fauna.html>.
- Griffiths, R.A. & L. Pavajeau, 2008. Captive Breeding, Reintroduction, and the Conservation of Amphibians. *Conservation Biology*. 22(4): 852-861.
- Johansson K., P. 2012. La imagen del huasteco en el espejo de la cultura náhuatl prehispánica. *Estudios de cultura náhuatl*, 44: 65-133.

[Online]http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-16752012000200004&lng=es&tlng=es.

Lewis H. T. & M. E. Britton. 1952 *The Algae of Illinois*. Chicago: Univ. Chicago Press; London: Cambridge Univ. Press, 1952. 407 pp.

Manterola, P.C. 1998. El retorno del berrendo. Programa para la reintroducción del berrendo *Antilocapra mexicana* a la República Mexicana. Unidos para la Conservación, A.C. CONABIO.

Merlín, U.Y. 2009. Evaluación de dos sistemas de manejo de recursos naturales de Xochimilco con indicadores de sustentabilidad. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 213 pp.

Mogollón, J.L., A. Ramírez, B. García & C. Bifano. 1993. Uso de los parámetros fisicoquímicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas. *Interciencia* 18(5): 249-254.

Molina, A. 2010. El ajolote de Xochimilco. *Ciencias*, núm. 98, abril-junio, pp. 54-59. Universidad Nacional Autónoma de México.

Musacchio, Humberto. Diccionario enciclopédico del Distrito Federal. Delegación Xochimilco. [Online] agosto 21, 2000. [Citado: febrero 12, 2009.] <http://www.xochimilco.df.gob.mx/delegacion/index.html>.

Nacif, O.Y., V.R., Cárdenas, J.J., Romero & C.J. Latournerié. 2007. Evaluación del proceso de descomposición aeróbica de *Egeria densa* como alimento potencial para especies acuáticas. *REDVET* 8:(4). [Online] <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040407/040709.pdf>

Negrete, R.P. & J. J. M. Romero. 1999. Aislamiento de bacterias asociadas con infecciones en el cultivo de ajolote: *Ambystoma mexicanum*. *Hidrobiológica* 9 (1): 9-14.

Ortega, C.A. 2000. El ajolote. *Elementos: Ciencia y cultura* 6 (36):55-57. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Otto, P.E.S. 1999. Conservación del ajolote (*Ambystoma mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco. Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco AC. Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. L087. México D. F.

Ovando, R.J.R., 2014. Tecámac: experiencia ciudadana en la gestión del agua potable. Centro Virtual de Información del Agua. [Online]
<http://www.agua.org.mx/index.php/noticias/not-nacionales/30577-tecamac-experiencia-ciudadana-en-la-gestion-del-agua-potable>

Paniagua, R. & M. Nistal, 1983. Introducción a la histología animal comparada. Barcelona, España: Labor Universitaria.

Pedroza, P.R.A. 2007. Productividad Primaria y Diversidad Microbiana Fotolitoautotrófica en los Canales de Xochimilco. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México. 60 pp.

Plan municipal de desarrollo urbano de Tepotzotlán, Estado de México, 2015. [Online]
http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/Tepotzontlan/tepotzotlan%20mayo%202003.pdf

Pleguezuelos, J.M. 2002. Las especies introducidas de Anfibios y Reptiles. *In*: Pleguezuelos J. M., R. Márquez & M. Lizana. 2002. *Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza Asociación Herpetológica Española (2ª impresión), Madrid, 502-532 pp.

Quiroz-Flores, A., M.G. Miranda-Arce & A. Lot-Helgueras. 2008. Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de

Xochimilco con y sin *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach. *POLIBOTÁNICA*. 25: 127-133.

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. Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa, México.

Rangel, M. de R. 1981. Determinación de Algunos Metales Tóxicos, Boro, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc en Aguas del Lago de Xochimilco Para Uso agrícola. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México.

Rzedowski, G. C. de, J. Rzedowski y colaboradores, 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. ed., 1a reimp., Instituto de Ecología, A.C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro (Michoacán), 1406 pp.

Scott, P. 1995. Axolotls, care and breeding in captivity. USA : T.F.H publications, Inc.

Secretaría de Ecología, 2002. Programa de manejo del Parque Estatal Ecológico, Turístico y Recreativo denominado Sierra Hermosa. Periódico Oficial del Gobierno del Estado de México. [Online] <http://www.edomex.gob.mx/legistelfon/doc/pdf/gct/2002/may233.pdf>

Servín, Z.E. 2011. Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) en el Zoológico de Chapultepec. Tesis de Licenciatura Médica Veterinaria Zootecnista. UNAM. México, D.F. 205 pp.

Soriguer, C.R., F.J. Márquez & J.M. Pérez. 1998. Las translocaciones (introducciones y reintroducciones) de especies cinegéticas y sus efectos medioambientales. *Revisión en Mastozoología, Galemys*, 10 (2):19-35.

Stephan, E. & Ensástigue, J., 2001. El ajolote, otro regalo de México al mundo. *Biodiversitas* 35:7-11. CONABIO.

Triplehorn, Charles A.; Johnson Norman F., 2005. Borror and DeLong's introduction to the study of insects (7th edition edición). Thomson Brooks/Cole.

UICN/SSC, 1995. Guías Para Reintroducciones/ Introducciones. Grupo Especialista en Reintroducción de la Comisión de Supervivencia de Especies.

Wiener, D. 2007. Axolotl, etapas de desarrollo. [Online] http://www.ambystoma.de/html/axolotl/axolotl_development.html.

Wright, K. 2001. Amphibian medicine and captive husbandry. Florida, EUA : *Krieger*.

Xochitla Parque Ecológico, 2015. <http://www.xochitla.org.mx/parque/>

Zambrano, L.; E. Valiente & Vander, Z.M.J., 2010. Food web overlap among native axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions*. 12:3061–3069

Zambrano, L.; E. Valiente; K. Levy; F. Cordova; A. Tovar; L. Sastré; M. Rubio; J. Giménez; M. Almazán; C. Sumano; M. Alvarado; S. López; C. González; M. Mazari; G. Pérez; P. Pérez; A. Aguilar; M. Contreras & V. Mondragón. 2012. Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre Xochimilco y del Ajolote. Instituto de Biología & Instituto de Ecología, UNAM.

Zambrano, L.; V.H. Reynoso & G. Herrera. 2004. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Instituto de Biología, UNAM.

ANEXOS

ANEXO I: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE *A. mexicanum*

❖ Sistema tegumentario

Posee el sistema tegumentario típico de un anfibio, excepto que el estrato córneo no es queratinizado (Paniagua *et al.*, 1983). Las glándulas mucosas o mucíparas, son de las más importantes en los anfibios, incluyendo al ajolote, éstas son unicelulares y se encuentran distribuidas en toda la superficie del cuerpo, secretan una sustancia llamada mucina que, en contacto con el agua, se convierte en mucus, a veces muy abundante. Esta sustancia contribuye a la protección del animal contra infecciones y cambios ambientales; facilita el deslizamiento del organismo dentro del agua y ayuda a que el animal pueda liberarse de depredadores (Álvarez, 1979).

Al igual que otras especies de anfibios la capa del estrato córneo, se renueva por efecto de las capas de células que se agregan desde el interior y el consecuente desprendimiento de las capas superficiales. La muda del estrato córneo o comúnmente llamada muda de piel, es algo común, desprendiéndose en parches (Álvarez, 1979).

❖ Sistema musculoesquelético

El esqueleto de los ajolotes difiere del de muchos vertebrados por el hecho de que aún en la etapa reproductiva no está completamente osificado (Fig. 2), esto se presenta principalmente en la zona de las branquias que están compuestas por cartílago (Scott, 1995).

El número de vértebras totales son en promedio 50, ya que principalmente en la región de la cola pueden variar de 30 a 35 vértebras. Otro punto interesante es que poseen costillas rudimentarias que se observan a lo largo de todo el cuerpo (Scott, 1995) La cintura escapular es poco osificada, ya que la única pieza con tejido óseo es la escápula. (Álvarez, 1979)

Los ajolotes poseen dos miembros anteriores y dos posteriores, éstos se desarrollan a partir de la tercera semana de edad, ya que nacen sin presentarlos. Poseen músculos segmentados, similares a los de los peces, y la musculatura dorsal del tronco está bien desarrollada (Álvarez, 1979).

❖ Sistema nervioso

Los ajolotes poseen una zona altamente inervada, llamada línea lateral, también presente en los peces y otros anfibios, se cree que es gracias a esta zona sensorial que los animales pueden percibir los estímulos externos. Los nervios de la línea lateral son inervados por ramas de los nervios craneales (Wright, 2001).

El sistema de la línea lateral en los ajolotes, consiste de numerosos órganos sensoriales ubicados en una línea bien definida que se extiende a lo largo de toda la superficie corporal, ésta la presentan también la mayoría de las salamandras, larvas de anuros y peces (Servín, 2011)

❖ Sistema digestivo

Todos los anfibios adultos son carnívoros estrictos y poseen un tracto gastrointestinal relativamente corto y simple. (Wright, 2001). El alimento es ingerido a través de la boca, de hecho, la boca es la responsable del nombre científico de *Ambystoma* ya que significa *Amblyx* =copa, taza y *stoma* = boca. Los ajolotes no mastican el alimento, sin embargo, poseen unas estructuras aserradas cartilaginosas en el paladar inferior y superior que funcionan como dientes (Wright, 2001).

❖ Sistema urinario

El sistema urinario de los ajolotes difiere al de los mamíferos. Poseen dos riñones pequeños alargados que desembocan a dos uréteres en forma de saco y estos a una

pequeña vejiga. Son pocos los túbulos eferentes presentes, sin embargo esto varía entre machos y hembras de urodelos, descargando por esta vía, a través del conducto arquinéfrico, productos genitales masculinos a la cloaca, no existiendo relación entre ovarios y aparato excretor femenino.(Álvarez, 1979).

La excreción en los ajolotes también involucra a las branquias. Las larvas excretan el 50% de sus desechos nitrogenados en forma de amonio por medio de las branquias. El resto del amonio, urea y otros desechos nitrogenados se pierden a través de los riñones en una muy diluida orina. La orina es muy diluida ya que el agua entra constantemente al organismo por osmosis y las sales que se presentan en su cuerpo son más concentradas que las que circulan en el agua. Cuando los ajolotes hacen metamorfosis, el balance cambia y sólo el 25% de los desechos nitrogenados se excretan en forma de amonio, esto es porque al vivir en tierra, el agua se vuelve menos disponible y el amonio es más tóxico que la urea cuando está concentrado. (Scott, 1995)

❖ Sistema respiratorio

Existen cuatro modos de respiración en un adulto del orden Urodela: branquial, pulmonar, cutáneo y bucofaríngeo. Las branquias se localizan lateralmente a la cabeza, distribuidas tres en cada lado, son de color rojo y plumoso. La función principal de las branquias es la respiración, en algunos ajolotes las branquias poseen un crecimiento exuberante, mientras que otros presentan poco desarrollo, existen varias razones para ello, como por ejemplo, factores genéticos y ambientales (Borland, 1992).

Los anfibios, particularmente los acuáticos, presentan sacos pulmonares, cuya superficie interna esta lisa, son pequeños y simples, son básicamente una cavidad, como regla general los pulmones son del mismo tamaño, aunque el derecho es ligeramente más pequeño que el izquierdo. Los pulmones de las salamandras varían en tamaño según la especie, en el caso particular del ajolote de Xochimilco, estos corren por los costados. Los pulmones se desarrollan y se vuelven más importantes para la respiración cuando el ajolote pierde sus branquias en la metamorfosis (Álvarez, 1979).

❖ Sistema reproductor

Los testículos en los ajolotes y salamandras en general son lobulados, y pueden adicionarse lóbulos con cada época reproductiva que pasa. En las hembras la cara dorsal de la cloaca esta modificada a modo de formar una espermateca. (Wright, 2001)

El material glandular que rodea las paredes de la cloaca en los machos, conocida como glándula cloacal, se engrosa en la época reproductiva (Scott, 1995). La fertilización es interna, se lleva a cabo al transferir el espermatóforo. Un espermatóforo es una estructura gelatinosa producida por el macho que encapsula al esperma para protegerlo del ambiente antes de que sea absorbido por la cloaca de la hembra (Servín, 2011).

Los ajolotes son ovíparos, sus huevos son transparentes y es posible ver el desarrollo de los embriones.

ANEXO II: CATÁLOGO FOTOGRÁFICO DE LOS ORGANISMOS

Organismo 1

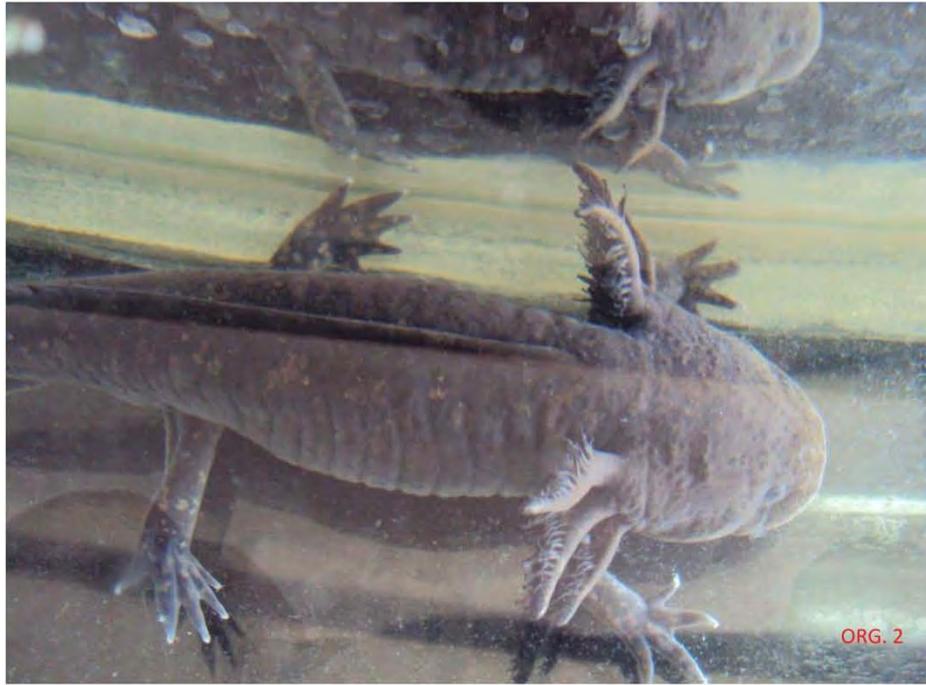








Organismo 2









Organismo 3









Organismo 4









Organismo 5









Organismo 6

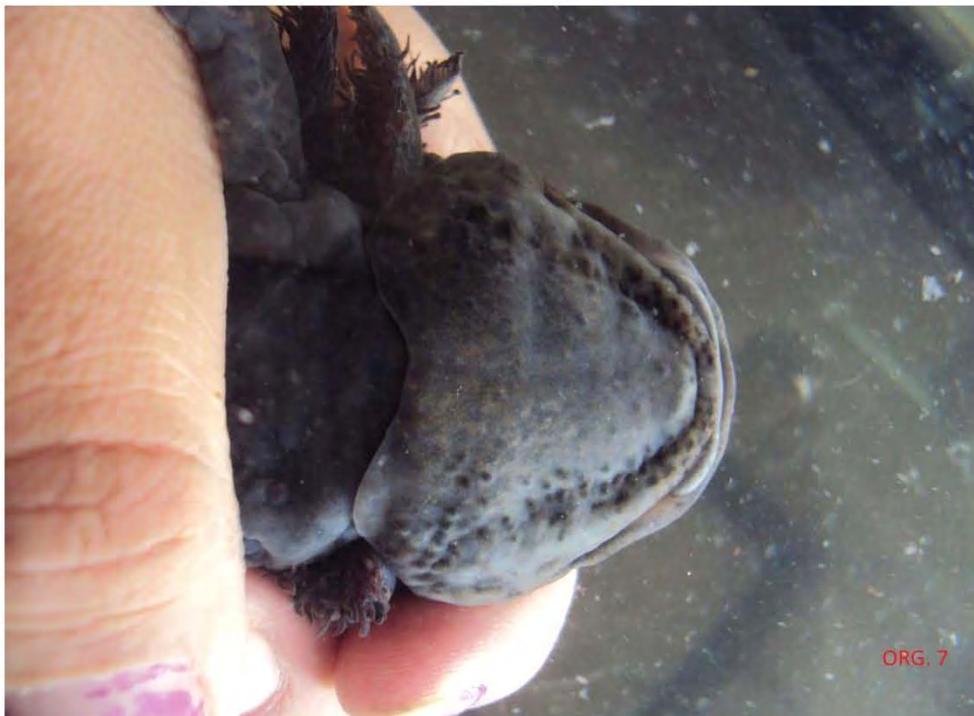








Organismo 7









Organismo 8









Organismo 9









Organismo 10









ANEXO III: DATOS MORFOMÉTRICOS DE LOS ORGANISMOS EN LAS REVISIONES

ORG.	SEXO	INICIAL			1ª Revisión			2ª Revisión			3ª Revisión			4ª Revisión			5ª Revisión		
		Long. total (LT)	Long. patrón (LP)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)
1	Hembra	17	10.5	76.7	18.5	10.5	70	19	10.5	70	19	10.5	75	19	10.5	75	19	10.5	60
2	Macho	19	11	69.6	20	11	80	20	11	75	20	11	75						
3	Hembra	16	9	56.6	16.5	10	60	17	10	60				17.5	10	65	20	11	65
4	Macho	18.5	10	70.8															
5	Hembra	18	10	62.2															
6	Macho	20	11	67.3				20	11	70				21	11	75			
7	Macho	20	10.5	99.8							22	11	100				22	11	95
8	Hembra	19	9.5	74.5				20	10	70									
9	Hembra	19	10	81.8										19.5	10.5	85	20	10.5	75
10	Macho	18	9.5	69															
ORG.	SEXO	INICIAL			6ª Revisión			7ª Revisión			8ª Revisión			9ª Revisión			10ª Revisión		
		Long. total (LT)	Long. patrón (LP)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)
1	Hembra	17	10.5	76.7				19	10.5	70				20	11	65	20	11	65
2	Macho	19	11	69.6				20	11	70	20	11	70	20	11	70			
3	Hembra	16	9	56.6	20	11	65												
4	Macho	18.5	10	70.8							19.5	10	65						
5	Hembra	18	10	62.2															
6	Macho	20	11	67.3	21	11	65												
7	Macho	20	10.5	99.8	22	11	95												
8	Hembra	19	9.5	74.5															
9	Hembra	19	10	81.8	19.5	10.5	85	20	10.5	75									
10	Macho	18	9.5	69							19	10	75				19	10	75
ORG.	SEXO	INICIAL			11ª Revisión			12ª Revisión			13ª Revisión			14ª Revisión			15ª Revisión		
		Long. total (LT)	Long. patrón (LP)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)
1	Hembra	17	10.5	76.7									20	11	55				
2	Macho	19	11	69.6							20.5	11	65	20.5	11	35			
3	Hembra	16	9	56.6															
4	Macho	18.5	10	70.8	19.5	10	66	19.5	10	65	19.5	10	60				19.5	10	60
5	Hembra	18	10	62.2									18	10	45				
6	Macho	20	11	67.3															
7	Macho	20	10.5	99.8															
8	Hembra	19	9.5	74.5															
9	Hembra	19	10	81.8									20	10.5	50				
10	Macho	18	9.5	69				19	10	70	19	10	65	19	10	45			

ORG.	SEXO	INICIAL			16ª Revisión			17ª Revisión			18ª Revisión			19ª Revisión			20ª Revisión		
		Long. total (LT)	Long. patrón (LP)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)	LT (cm)	LP (cm)	Peso (g)
1	Hembra	17	10.5	76.7	20	11	55												
2	Macho	19	11	69.6															
3	Hembra	16	9	56.6															
4	Macho	18.5	10	70.8							19.5	10	55				19.5	10	58
5	Hembra	18	10	62.2															
6	Macho	20	11	67.3															
7	Macho	20	10.5	99.8															
8	Hembra	19	9.5	74.5															
9	Hembra	19	10	81.8				20	10.5	65	20	10.5	70	20	10.5	65			
10	Macho	18	9.5	69															

Acotaciones

	Falleció
	No se pudo capturar para revisión

ANEXO IV: OBSERVACIONES DE LOS ORGANISMO EN CADA REVISIÓN

ORG.	N° de revisión en la que se capturó	Observaciones
1	1	Se encontró en buen estado, pequeña pérdida de peso, defecó en la pecera lo que demuestra que se alimentó. Pequeño aumento de longitud total. No presenta lesiones aparentes, con extremidades completas y sanas. Branquias presentan menos exuberancia. Se observó muy nerviosa.
	2	Se observó dermis sin laceraciones. Peso constante, con pequeño aumento de talla. Branquias completas y sanas. Con pequeña lesión en sección final de la aleta caudal. Comportamiento tranquilo.
	3	Presentó branquias, extremidades y pie sanos. Peso y talla constantes. Lesión de la aleta caudal comenzó a cicatrizar. Comportamiento tranquilo.
	4	Branquias en buen estado, extremidades completas y sanas, piel sin lesiones. Talla constante, aumento de peso. Se observó tranquila
	5	Branquias y extremidades sanas. Se notó despellejamiento cutáneo. Talla constante, con pequeña disminución de peso. Con comportamiento tranquilo.
	7	Branquias con blanquecimiento, no se observaron hifas de hongos, si despellejamiento. Talla constante, aumentó de peso. No se observó estresada.
	9	Branquias poco exuberantes, blanquecimiento disminuido. Sin lesiones cutáneas. Aumentó de talla, pero disminuyó peso. Se observó un poco nerviosa.
	10	Branquias ya sin blanquecimiento. Peso y talla iguales. Extremidades completas y piel sana. Presentó comportamiento nervioso.
	14	Dermis sin lesiones, extremidades completas y sanas. Branquias con poca exuberancia. Se observó otra disminución de peso, talla constante. Se observó nerviosa.
16	Se presentó despellejamiento. Branquias poco exuberantes. Se comportó un poco nerviosa.	
2	1	Cuando se introdujo presentaba una herida en la aleta caudal, en esta revisión ya presentó el proceso de regeneración. Branquias y extremidades sanas. Sin lesiones cutáneas. Se comportó tranquilo.
	2	Bajó un poco de peso, se observó saludable. Herida caudal completamente cicatrizada. Poco despellejamiento. Comportamiento tranquilo.
	3	Se observó sano. Branquias y extremidades completas y sanas. En la aleta caudal presentó pequeños punto rojos, al parecer mordidas. Mismo peso y talla.

	7	Presentó un estado saludable. Por la manipulación se alteró, realizando movimientos bruscos que provocaron desprendimiento de una porción de la aleta caudal, presentando poco y breve sangrado.
	8	La laceración se observó notablemente mejora. Branquias, piel y extremidades saludables. Peso y talla constantes.
	9	Se encontró completamente saludable, con branquias un poco menos exuberantes. Sin lesiones cutáneas. Se mostró tranquilo.
	13	Se observó bien pero muy nervioso. Branquias y extremidades en buen estado. Dermis sin laceraciones.
	14	Se observó disminución de peso, con aparente estado de metamorfosis: cola más redonda y piel más gruesa, con reabsorción de branquias y disminución del movimiento por lo que mantiene su hocico fuera del agua. Se encontró en la superficie del agua, por lo cual fue fácil su captura. Se adaptó un terrario y se colocó en él.
		El 14 de marzo de 2013 se encontró al organismo muerto, los últimos días presentó casi nula alimentación, por lo que estaba extremadamente delgado. Se colocó en un frasco con alcohol etílico al 70 %.
3	1	Branquias menos rojizas en su coloración. Aumentó de peso y talla. Se observó en buen estado de salud y un poco nerviosa. Excretó durante la revisión.
	2	Branquias sanas y piel sin lesiones, pero con despellejamiento. Se observó tranquila. Aumentó de talla.
	4	Presentó pequeña lesión en el hocico, un pequeño desprendimiento. Branquias, extremidades y piel sanas. Aumentó levemente de peso y talla.
	5	Su hocico ha sanado. Peso constante, aumentó de talla. Tranquila y sana
	6	Piel sana, sin lesiones aparentes. Talla y peso constantes. Branquias y extremidades en buen estado.
4	8	Se observó nervioso e inquieto. Branquias, extremidades y piel sanas. Casi no sale por bocanadas de aire. Aumentó un poco de talla, pero disminuyó de peso.
	11	Se observó tranquilo. Aumentó un poco de talla y peso. Branquias sanas, extremidades y piel en buen estado.

	12	Se notó muy nervioso. En la zona ventral se observaron pequeñas manchas de coloración rojiza, también con la venación de la aleta caudal más notoria. Se aisló por sospecha de septicemia.
	13	Se continuó con la cuarentena, se observó menor enrojecimiento. Siguió en observación.
	15	Se observó mejoría en su salud, por lo que se decidió introducirla en el estanque.
	18	Talla y peso constantes. Branquias sanas, extremidades y piel y en buen estado.
5	14	Se observó muy nerviosa. Sin lesiones aparentes en la piel. Disminuyó un poco de peso. Branquias con buena ramificación.
6	1	Aumentó de peso. Branquias en buen estado. Estuvo muy activo. Cloaca abultada.
	4	Branquias y extremidades completas y sanas. Piel sin lesiones. Aumentó de talla y peso.
	6	Se observó tranquilo. Ocasionalmente sale por bocanadas de aire. Talla igual, disminuyó un poco de peso.
7	3	Presentó desprendimiento de piel. Se observó en buen estado de salud, muy nervioso e inquieto.
	5	Bajó un poco de peso. Se observó inquieto, pero en buen estado de salud.
	6	Presentó desprendimiento de piel en la zona ventral. Branquias y extremidades sanas. Peso y talla constantes.
8	2	Se observó con una venación muy marcada y visible, con pequeños puntos rojos en la zona ventral y caudal. Las branquias presentaron reabsorción. Se aisló para observación por sospecha de septicemia. Disminuyó de peso.
		14 de marzo de 2012 se encontró muerto. Se colocó en un frasco con alcohol al 70 %. Se realizó su necropsia (Ver pág. 111)
9	4	Branquias poco exuberantes. Extremidades completas. Se observó un poco nerviosa. Aleta caudal con pequeña ramificación. Piel sin lesiones. Aumentó de peso y talla.
	5	Ocasionalmente salió por bocanadas de aire. Aleta caudal con pequeña lesión en la parte final. Branquias y piel sanas.

	6	Lesión en la aleta caudal comenzó a sanar. Se observó tranquila. Peso y talla constantes.
	7	Continuó el proceso de cicatrización en la aleta caudal. Branquias, piel y extremidades completas y sanas.
	14	Disminuyó un poco de peso. Piel sin lesiones. Extremidades completas. Se observó muy nerviosa
	17	Piel presentó despellejamiento. Talla constante, aumentó un poco de peso
	18	Se observó con una pequeña laceración cutánea, en un costado, posterior a la extremidad trasera. Branquias y extremidades completas.
	19	Laceración cutánea ya cicatrizó. Presentó pequeña pérdida de tejido en la parte ventral de la aleta caudal.
10	8	Presentó una lesión, aparentemente una mordida. Talla y peso aumentaron. Branquias, extremidades y piel sanas.
	10	Se observó tranquilo. Extremidades completas, piel sin lesiones aparentes.
	12	Pequeño despellejamiento en la zona ventral. Ocasionalmente Salió por bocanadas de aire.
	13	Siguió presentando despellejamiento. Se observó un poco nervioso. Branquias en buen estado. Bajó ligeramente de peso.
	14	Branquias con poca exuberancia. Sin lesiones aparentes en la piel. Disminuyó de peso.
	16	Se observó tranquilo, branquias poco exuberantes. Salidas frecuentes por bocanadas de aire. Talla constante, aumentó de peso.

NECROPSIA ORGANISMO 8

Se realizó el día 22 de marzo de 2012, encontrándose lo siguiente:

- Fecha de deceso: 14 de marzo de 2012
- Datos del organismo: Marcado como organismo 8, hembra, LT 19 cm, LP 9.5 cm y peso 70 g. el día 12 de marzo se revisó y se notó que tenía puntos rojos en el vientre y la aleta caudal. Se aisló por sospecha de septicemia, se mantuvo en observación y falleció dos días después.
- Resultados: Se observó una degeneración de grasa en el hígado, probablemente debido a la dieta. Sus pulmones se encontraban en buen estado, comenzaba con producción de huevos.
- Causa de muerte: Septicemia. Hubo acumulación de restos de comida en una curvatura del intestino, provocando que dicha área se necrosara y se perforara el intestino, causando septicemia en la región abdominal.

Se observó el contenido estomacal al microscopio y se encontraron fragmentos de insectos, restos de hojarasca, sin presencia de parásitos.

Los fragmentos de insectos eran de un tamaño grande, lo que causó la obstrucción y se perdió vascularización.

Dichos fragmentos pertenecen, en su mayoría, a insectos de la familia Corixidae, que al parecer poseen bastante quitina, que no es de fácil digestión, aunado a la celulosa de la hojarasca fue la causa de la obstrucción.

- Sugerencia: A fin de evitar esta situación en los demás organismos se recomienda tener un control de la población de insectos perteneciente a esta familia, y mantener en cantidades mínimas la hojarasca en la superficie y fondo del estanque.

ANEXO V: CATÁLOGO FOTOGRÁFICO DE LOS ORGANISMOS REPRODUCTORES

Hembra







Macho 1







Macho 2







ANEXO VI: CATÁLOGO FOTOGRÁFICO DE ALEVINES

Ajolotito 11







Aiolotito 12







Aiolotito 13 (aislado)







Comparación de tamaños (organismo aislado vs organismo liberado)





ANEXO VII: REVISIONES DE LOS ALEVINES

ORGANISMO	REVISIÓN	LT (cm)	LP (cm)	PESO (g)	OBSERVACIONES
Ajolotito 11	22/marzo/13	20	10.8	80	Se observó tranquilo, presentó un poco de despellejamiento.
	26/junio/13	20	10.8	70	Se observó un poco nervioso. Branquias y extremidades sanas. Piel sin laceraciones. Disminuyó un poco de peso
Ajolotito 12	22/marzo/13	18.8	10.6	75	Presentó un poco de despellejamiento. Con pequeña laceración en la al
	26/junio/13	19	10.8	65	Herida en la aleta caudal ya cicatrizada. Talla constante, disminuyó un poco de peso. Branquias, extremidades y piel sanas.
Ajolotito 13 (organismo aislado)	22/marzo/13	9.4	5.2	5	Tamaño y peso inferior a los otros dos organismos
	3/mayo/13	10.9	6	15	Después de su liberación aumentó su talla y su coloración oscureció. Branquias exuberantes. Con un poco de despellejamiento.
	26/junio/13	15	7	30	Branquias sanas y exuberantes. Aleta caudal con ondulación. Aumentó de talla y peso.
	31/enero/ 14	18.5	9	40	Branquias, extremidades y piel sanas. Aleta caudal presentó la misma ondulación. Aumentó de talla y peso.

ANEXO IX: COMENTARIOS TEXTUALES DE ALGUNOS CUESTIONARIOS APLICADOS

- **Género : Masculino Edad: 19 años Escolaridad: Universidad Ocupación: Estudiante**

“ Hay muy poca información al respecto y mucho terreno por estudiar en esta especie, en todo México, por ello deberíamos tener otra conciencia al ser tan milenario y con una trascendencia en la historia prehispánica”

- **Género : Masculino Edad: 34 años Escolaridad: Universidad Ocupación: Trabajador**

“Es una especie mística, poco se sabe de ella, pero muy interesante para conocerla. Es una especie en peligro de extinción que debemos conservar, ya que es mexicana, y así lograremos su rescate”

- **Género : Femenino Edad: 55 años Escolaridad: Universidad Ocupación: Trabajador**

“ Puede tener un buen futuro en el mercado de medicina natural y generar financiamiento para proyectar su conservación”

- **Género : Masculino Edad: 65 años Escolaridad: Universidad Ocupación: Trabajador**

“Que es endémica, que está en estatus de riesgo. Está muy bien este tipo de proyectos que se esfuerzan en la conservación de la biodiversidad de México”