



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Obtención de parámetros demográficos de la población silvestre del ajolote *Ambystoma mexicanum* (Amphibia: Urodela) en la zona lacustre de Xochimilco, México, D.F.”

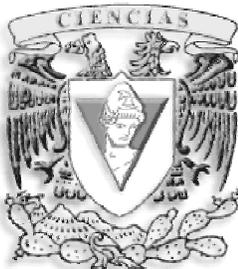
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

ALEJANDRO HUNAB MOLINA VÁZQUEZ



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. VÍCTOR HUGO REYNOSO ROSALES

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Mamá, este éxito es tanto mio como tuyo. Salimos de ésta juntos... como siempre.

A mi abuelo Pedro... Hombre sabio y honesto. Te extrañamos.

A mis primos Arí y Paquito, que son como mis hermanos.

A mi tío Paco, a mi tío Armando, a mi abuela Adela y a mis tías Marta y Silvia.

Con cariño a mi amiga Paty Lucero. Nunca acabaré de admirar a la hermosa persona que eres.

A mi siempre parlanchina amiga: Fabi Azpeitia.

A mis amigos de la Facultad: Alex Frias, Evelyn Piña, Xochitl Waigner, Luz Ma. Camarena, María Elena Ferreira, Wendoly Mantecón, Eugenia Zarza, Wendy Manchuca, Marlen Valdez, Iriiana López, Valentina López... La carrera y la vida no sería lo mismo sin ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la oportunidad de participar en este proyecto: CONABIO, brindada por los investigadores del Instituto de Biología de la UNAM, el Dr. Luís Zambrano González y el Dr. Víctor Hugo Reynoso Rosales, así como a la M. en C. Elsa Valiente Riveros por la ayuda proporcionada durante el mismo. Así mismo agradezco la colaboración de la asociación “Tochipa Umbral”, por los datos de crecimiento cedidos y a “Voces del agua”, coordinada por el Biol. Esteban A. Prado Sayago y Víctor M. Velasco respectivamente y en particular a los pescadores Roberto Altamirano y Ricardo Eslava, pues sin ellos definitivamente no hubiera sido posible terminar satisfactoriamente esta investigación.

Agradezco también la asesoría y adiestramiento brindado para la parte de histología animal, llevada a cabo en el laboratorio de apoyo a la investigación del Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, cuya responsable es la M en C. Esthela Sandoval Zapotitla y a su alumno el Biol. Alejandro Medina. También hago un reconocimiento a la ayuda brindada en el laboratorio de la Dra. María de los Ángeles Moreno, de la Colección de Líquenes del Instituto de Biología de la UNAM, así como con la asesoría de la M. en C. Patricia Rivas Manzano, del Laboratorio de Biología de la Reproducción Animal de la Facultad de Ciencias de la UNAM, y a la Biol. Margarita Garza del laboratorio de Manejo de Vertebrados Terrestres de la UNAM, por su generosa ayuda. Agradezco también el financiamiento otorgado por la CONABIO, proyecto AS004 para la realización de este proyecto, y el permiso de colecta emitido por SEMARNAT-oficio: Num. SGPA DGVS 02561, adscrito al Dr. Luís Zambrano. Finalmente agradezco los datos meteorológicos proporcionados por la M. en C. Rosario Chávez, el Dr. Víctor Magaña y el Ing. Gustavo Vázquez, del Programa de Estaciones Meteorológicas de Bachillerato Universitario, ENP Gabino Barreda y al Instituto de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
Problemática del género <i>Ambystoma</i>	7
Distribución histórica y actual de <i>Ambystoma mexicanum</i>	8
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	11
DIAGNOSIS DEL ORGANISMO DE ESTUDIO	20
OBJETIVOS	22
JUSTIFICACIÓN	23
HIPÓTESIS	24
MÉTODO	25
Trabajo de campo	25
Colecta y área muestreada	25
Toma de datos de colecta.....	26
Identificación del sexo de los organismos capturados.....	28
Toma de muestras	28
Anatomía patológica externa	28
Liberación	29
Lectura de factores fisicoquímicos	29
Trabajo de laboratorio	30
Métodos de análisis estadístico	36
Aspectos demográficos	36
Cálculo de la densidad poblacional	36
Cálculo de la unidad de área	36
Índice de esfuerzo de captura.....	37
Análisis de varianza de los datos morfométricos.....	37
Proporción de sexos	37
Estructura de edades de la población.....	38
Factores fisicoquímicos	38
RESULTADOS	39
Colecta	39
Área muestreada.....	39
Densidad	43
Comportamiento de la densidad poblacional.....	43
Esfuerzo de captura.....	44
Proporción de sexos	45

Anatomía patológica externa	47
Factores físico-químicos	49
Esqueletocronología (datación de la edad)	52
Diferencias entre medidas biomorfométricas	58
Relación talla-edad	60
Estructura de edades de la población	61
DISCUSIÓN	63
Densidad y área muestreada	63
Esfuerzo de captura	68
Proporción de sexos	68
Medidas morfométricas y madures sexual	74
Anatomía patológica externa	77
Esqueletocronología	80
Estructura de edades de la población	85
Factores físicoquímicos	87
CONCLUSIONES	89
REFERENCIAS	91
APÉNDICES	99
Apéndice 1. Área total muestreada	99
Apéndice 2. Densidad poblacional	102
Apéndice 3. Densidad poblacional	103
Apéndice 4 Esfuerzo de captura	104
Apéndice 5 Densidad poblacional de Calderón <i>et al.</i> (1989)	105
Apéndice 6 Esfuerzo de captura de Calderón <i>et al.</i> (1989)	106
Apéndice 7 Densidad poblacional de Graue (1998)	107
Apéndice 8 Esfuerzo de captura de Graue (1998)	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de distribución histórica de <i>Ambystoma mexicanum</i>	10
Figura 2. Zonificación de Xochimilco México D.F.....	12
Figura 3. Fotografía satelital de Xochimilco México D.F.....	13
Figura 4. Temperatura atmosférica a lo largo del año en Xochimilco	14
Figura 5. Días con heladas en la zona lacustre de Xochimilco.....	15
Figura 6. Precipitación a lo largo del año en Xochimilco	15
Figura 7. Oscilación de la temperatura atmosférica en Xochimilco.....	16
Figura 8. <i>Ambystoma mexicanum</i>	21
Figura 9. Toma de medidas morfométricas.....	27
Figura 10. Radiografía de la pata anterior derecha de <i>A. mexicanum</i>	33
Figura 11. Número total de ajolotes capturados en cada sitio de colecta	41
Figura 12. Ajolotes capturados por mes durante la temporada de colecta	42
Figura 13. Disminución de la densidad poblacional de <i>A. mexicanum</i>	44
Figura 14. Proporción de sexos de <i>Ambystoma mexicanum</i>	46
Figura 15. Lesión externa en un ambistómido provocada por <i>Lernea sp</i>	48
Figura 16. Factores físico-químicos de profundidad	49
Figura 17. Factores físico-químicos de profundidad	50
Figura 18. Factores físico-químicos de profundidad	50
Figura 19. Micrografía de una preparación histológica de <i>A. mexicanum</i>	54
Figura 20. Micrografía de una preparación histológica de <i>A. mexicanum</i>	55
Figura 21. Micrografía de una preparación histológica de <i>A. mexicanum</i>	56
Figura 22. Micrografía de una preparación histológica de <i>A. mexicanum</i>	57
Figura 23. Edad de los organismos capturados a partir del modelo de V. B	61
Figura 24. Distribución de <i>A. mexicanum</i> por frecuencia de edades	62
Figura 25. Micrografía de una preparación histológica de <i>A. macrodactylum</i>	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentraciones de soluciones alcohólicas utilizadas.....	32
Cuadro 2. Tiempos sugeridos de desparaplastización	34
Cuadro 3. Tiempos sugeridos de tinción	34
Cuadro 4. Canales muestreados durante la temporada de colecta	40
Cuadro 5. Lagunas muestreadas durante la temporada de colecta	41
Cuadro 6. Número total de organismos capturados por mes en Xochimilco	42
Cuadro 7. Densidad poblacional de <i>A. mexicanum</i> reportada por varios autores.....	43
Cuadro 8. Esfuerzo de captura de <i>A. mexicanum</i> reportado por varios autores	44
Cuadro 9. Lesiones observadas en los organismos colectados.....	48
Cuadro 10. Promedios anuales de los factores físicoquímicos.....	51
Cuadro 11. Factores físicoquímicos de los sitios de captura de ajolote	51
Cuadro 12. Edad máxima registrada para varias especies de <i>Ambystoma</i>	58
Cuadro 13. Resultados de morfometría por sexos	59
Cuadro 14. Morfometría para <i>A. mexicanum</i> , reportada por varios autores.....	59
Cuadro 15. Estimación de la edad en <i>A. mexicanum</i> , por sexos.....	62
Cuadro 16. Diámetro y radio de la atarraya utilizada.....	101

RESUMEN

En el presente estudio se obtuvieron distintos parámetros demográficos de la población del ajolote *Ambystoma mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco en México, D.F. Dichos parámetros son imprescindibles para conocer el estado de conservación actual de esta especie. Los parámetros estudiados fueron la densidad poblacional en función del esfuerzo de captura, la proporción de sexos y la estructura de edades. Se realizaron muestreos directos en la zona lacustre a bordo de trajineras (de 8 am a 12 pm), del 31 de enero de 2002 al 1° de octubre de 2003 (sólo se muestreo en 16 meses). Los muestreos fueron realizados al azar, usando el arte de pesca atarraya, con la ayuda de pescadores locales. A cada organismo colectado se le tomaron sus datos de colecta.

Se muestrearon un total de 36 canales y 8 lagunas de Xochimilco cubriendo un área aproximada de 42, 349 m² (4.2 ha) con 1916 lances de atarraya. En 16 meses de muestreo se capturaron 53 ajolotes, colectándose 43 dentro y 10 fuera del horario de colecta y cuatro organismos en las inmediaciones de Tláhuac y Chalco, lo que confirma la existencia de otra población geográficamente disyunta a la zona lacustre de Xochimilco.

La densidad poblacional de *A. mexicanum* obtenida en este trabajo fue de 1 organismo/1000m², y el esfuerzo de captura fue de 0.022 organismo/lance. Ambos índices corroboran una disminución poblacional drástica de la especie en la zona lacustre de Xochimilco, pues se consideran los más bajos reportados en los últimos 14 años (1989-2003). Los valores están por debajo de los reportados para otros ambistómidos mexicanos que se distribuyen en hábitats más conservados.

Para construir la estructura de edades de la población, a cada ajolote colectado se le amputó el segundo dedo de la pata anterior derecha, para posteriormente datar su edad por medio del método histológico de esqueletocronología. El método de esqueletocronología permitió

evidenciar anillos interpretados como de crecimiento, similares a los anillos de crecimiento encontrados en las falanges de ambistómidos norteamericanos. Sin embargo, no fue posible datar la edad de los organismos capturados por medio de este método.

La estructura de edades de la población se obtuvo a partir del ajuste de los datos de colecta de longitud total con base en el modelo de Von Bertalanffy generado para esta especie por Zambrano (2004). Se estimó que el 60% los organismos capturados (32) tenían en promedio un año de edad y sólo un organismo alcanzó una edad de tres años.

La proporción de sexos obtenida en este estudio, fue de 1:1 (18 machos y 15 hembras) y en 17 organismos no fue posible identificar su sexo. El promedio de la longitud hocico cloaca de los organismos capturados fue de 11 cm y la longitud total promedio de 20 cm.

Todos los resultados obtenidos en este estudio sugieren un grave deterioro de la especie con una tendencia negativa y progresiva en sus números poblacionales, lo que acentúa la necesidad de proponer un plan manejo para rescatar a la especie, así como medidas para la restauración de su hábitat.

INTRODUCCIÓN

La grave crisis ambiental a la que se enfrentan la mayoría de los ambistómidos mexicanos ha puesto a varias de estas especies al borde de la extinción, llegando a provocar su desaparición en varias localidades donde naturalmente habitan (Huacuz, 2001). La contaminación y degradación de su hábitat, la introducción de depredadores exóticos y la captura inmoderada, son las principales razones que han ocasionado el acelerado declive de las poblaciones de estas especies en tan sólo unas décadas (Shaffer, 1989; Smith 1989 a y b; Huacuz, 2001). Esto, aunado a la falta de estudios demográficos previos, elimina virtualmente cualquier oportunidad de determinar la ecología original de la especie (Smith, 1989b). Para la mayoría de las especies las investigaciones ecológicas recientes aún son escasas, y no se ha determinado en que medida cada uno de los factores de riesgo registrados años atrás en la literatura afectan sus poblaciones (Smith y Smith, 1971; Duhon, 1997; Graue, 1998).

Los ambistómidos mexicanos poseen un importante contexto antropológico. Al extinguirse cada una de estas especies en su hábitat natural, no solo se pierden sistemas naturales únicos en los cuales es posible estudiar varios fenómenos biológicos (Shaffer, 1989), sino que también se pierden representantes irremplazables de nuestra cultura prehispánica, y parte imprescindible de nuestra identidad nacional.

El presente estudio representa una pequeña pieza, pero indispensable en el esfuerzo por actualizar el estado de conservación del ajolote *Ambystoma mexicanum*. Contribuye a dilucidar el grave panorama que esta especie enfrenta, y del trabajo que aun queda por realizar a todas aquellas personas interesadas en su estudio, explotación y conservación.

ANTECEDENTES

El ajolote *Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) es endémico de los canales y lagunas de la zona lacustre de Xochimilco, Mixquic y Tláhuac-Chalco en México, D.F (Sánchez, *et al.*, 1995; Graue, 1998). Este organismo ha sido un animal de laboratorio y sistema modelo con más de 100 años de investigación (Duhon, 1997; Smith, 1989b). Así mismo, es apreciado a nivel internacional y considerado como una especie de alta demanda comercial; ubicándose entre 1988 y 1992 como el anfibio con mayor número de registros comerciales CITES a nivel mundial, con 36,768 organismos comercializados vivos (UNEP-WCMC, 2004; Fernández y Luxmoore, 2004).

La primera referencia científica sobre *A. mexicanum* aparece en un libro de historia natural en 1615 de Ximénez (Smith, 1989a). Desde entonces el ajolote ha sido muy estudiado en el ámbito nacional como internacional, en distintos campos de la biología (Smith y Smith 1977). Paradójicamente que contrasta la popularidad del ajolote como un organismo de investigación experimental, es que se conoce muy poco sobre su historia de vida y ecología básica en su hábitat natural (Shaffer, 1989; Brandon, 1989; Smith, 1989a; Duhon, 1997; Graue, 1998). En una revisión de la literatura sobre *A. mexicanum*, Smith (1989 a y b) reconoció 4,656 investigaciones en distintos rubros, no existiendo hasta entonces ni un solo estudio de campo que proporcionara datos sobre parámetros demográficos de la especie. Los trabajos que más se acercan a este enfoque son los de Velasco (1879 en Duhon, 1997), Herrera (1891; 1900 en Smith, 1989b) y Calderón y Rodríguez (1986), pero éstos son básicamente investigaciones de laboratorio, revisión de la literatura o estudios de distribución (Smith, 1989b).

Unos de los primeros autores en reportar el deterioro de la población de esta especie en condiciones naturales fueron Calderón y Rodríguez (1986), quienes reportaron que la declinación poblacional se inició en 1976 aproximadamente. El trabajo realizado por Calderón *et al.* (1989)

sobre algunos aspectos de la biología de *A. mexicanum* en su hábitat, fue el primero en esbozar los primeros datos sobre demografía de la especie. Realizando un muestreo dirigido, únicamente en algunos canales de Xochimilco advirtieron sobre la posible disminución de *A. mexicanum* en su hábitat natural.

No fue sino hasta la investigación de Graue (1998) que se realizó un estudio más detallado sobre los factores ecológicos de la especie. Este trabajo abordó ya de manera más profunda los aspectos genéticos y demográficos de la población de este anfibio, ampliando la información sobre la densidad poblacional, la proporción de sexos, época de reclutamiento, temporada reproductiva y la variabilidad genética de la especie en Xochimilco, Chalco y Mixquic. Gracias a su análisis aloenzimático, la autora concluyó que *A. mexicanum* no presenta una disminución significativa en su variabilidad genética, lo que le permitió afirmar que la especie no se encontraba en peligro de extinción en la zona lacustre de Xochimilco en ese momento. Aún así advierte que de continuar una tendencia negativa en la densidad poblacional de *A. mexicanum*, podría reflejarse en una disminución significativa de la variabilidad genética de la especie, llevándola a un cuello de botella y ponerla en peligro de extinción. Jones (2002) durante los meses de enero y febrero, no consiguió capturar ningún ajolote. Finalmente los estudios realizados por Zambrano (2004) y Valiente-Riveros (2006) representan los estudios más actuales sobre la problemática ecológica de la especie.

Los trabajos de Redondo (1998); Uribe-García (2002) y Maya (2003), contribuyeron a identificar los agentes patógenos y los síntomas clínicos de los padecimientos más frecuentes en *A. mexicanum*. Ensastigue (2003) cultivó al ajolote bajo condiciones de laboratorio, obteniendo el pie de cría a partir de organismos silvestres capturados. Mckay (2003) evaluó la crianza en cautiverio y el uso sustentable de *A. mexicanum* en condiciones seminaturales.

La esqueletocronología es uno de los métodos histológicos disponibles más confiables para determinar la edad de vertebrados terrestres (Rossell y Sheehan, 1998). En varios anfibios y reptiles, el crecimiento del tejido óseo es un fenómeno cíclico en el que el hueso se acumula a una misma velocidad, en todas direcciones, formando un número igual de capas concéntricas de distinto grosor (de forma isodimensional), particularmente en el fémur, húmero y las falanges de estos organismos. Esto constituye la base del método para la estimación de la edad individual, que Castanet (1981) denominó esqueletocronología (en Echeverría, 1991). Sennig en 1940 consideró este método podía utilizarse como indicador cronológico en anfibios (Echeverría, 1991). Rossell y Sheehan (1998) lo emplearon exitosamente para datar la edad en *Ambystoma talpoideum*, Russell *et al.* (1996) en *Ambystoma macrodactylum* y Trenham *et al.* (2000) en *Ambystoma californiense*.

La velocidad de crecimiento óseo varía durante el año, siendo mínima o nula durante el invierno ocasionando la formación de marcas esqueléticas (Castanet, 1974). Estas marcas óseas denominadas por Castanet (1974) como “marcas de detención de crecimiento” (LAGs por sus siglas en francés) están separadas entre sí por anillos óseos de ancho apreciable consideradas como zonas de crecimiento (Castanet, 1974). Una zona de crecimiento más una marca o línea de detención del crecimiento constituyen un ciclo anual de osificación (Castanet *et al.*, 1977 en Echeverría, 1991). Las LAGs consisten en regiones con una escasa mineralización en relación con el tejido vecino. Esta particularidad de las LAGs, permite evidenciarlas con colorantes histológicos convencionales (Castanet, 1974).

En México son escasos los trabajos y muy recientes, que hacen uso de la esqueletocronología como una herramienta en estudios de dinámica poblacional. Algunos de estos trabajos son los de Méndez-Juárez (2003) para la lagartija *Sceloporus serrifer* y Lambaer-Arroyo (2003) para *Kinosternum integrum*.

Problemática del género *Ambystoma*

Las poblaciones de ambistómidos que se distribuyen hasta la parte central de nuestro país han tenido una larga historia de interacción con la civilización humana. Algunas de estas especies se distribuyen en zonas consideradas dentro de las más densamente pobladas del mundo (Shaffer, 1989). Varios autores coinciden en señalar que las poblaciones de la mayoría de los ambistómidos mexicanos pasan por una grave crisis desde hace décadas. Algunas de estas especies se encuentran probablemente extintas en las localidades donde normalmente se les encontraba, por lo que se les considera en riesgo. La declinación de poblaciones enteras de anfibios se atribuye principalmente a la contaminación por vertimiento de aguas residuales, destrucción de su hábitat por desecación y rellenado del cuerpo de agua para utilizarlo como tierras de cultivo, introducción de depredadores exóticos para consumo humano (como la rana toro, la carpa y la tilapia), y finalmente la colecta indiscriminada que ejerce clara presión sobre las poblaciones remanentes (Shaffer, 1989; Smith, 1989b; Duhon 1997).

En México las especies del género *Ambystoma*: *A. dumerilii*, *A. velasci*, *A. lermanencis*, *A. ordinarium* y *A. tigrinum* son colectados frecuentemente y se considera que poseen mayor riesgo de extinguirse, debido a su distribución endémica y restringida (Shaffer, 1989; Brandon, 1989; Flores-Villela y Navarro, 1993; Flores-Villela, 1998; Casas, 1984; Huacuz, 2001, Aguilar *et al.*, 2004). Desde 1994, las 17 especies de ambistómidos mexicanos se encuentran listadas en la Norma Oficial Mexicana bajo la categoría de “en protección especial” como medida precautoria al no tener la información necesaria sobre el estado de conservación de sus poblaciones. Este estatus fue ratificado bajo la misma categoría en la NOM-059-ECOL-2001; sin embargo solo *A. mexicanum* y *A. dumerilii* aparecen registrados en el apéndice II del CITES (desde julio de 1975) al ser especies que cuyo comercio internacional se controla para evitar su extinción en la naturaleza (CITES, 2003). Además desde 1986 *A. mexicanum* aparece en las listas rojas de la

IUCN, y en 1996 fue catalogado bajo la categoría de vulnerable D2, al ser considerada como una especie críticamente amenazada (Redlist, 2006).

Se sabe poco o nada del estado de conservación de las poblaciones de al menos 11 de los 17 ambistómidos mexicanos y se desconoce aún el total de localidades donde se distribuyen cada una de las especies, sobre todo de *A. rosaceum*, *A. velasci*, *A. andersoni*, *A. tailory*, y *A. tigrinum*, entre otras.

Si en la planeación del desarrollo de nuestro país no se considera tomar medidas para preservar la riqueza herpetofaunística con la que cuenta, puede conducir paulatinamente a la depauperación de la misma. Es imprescindible implementar medidas de protección efectivas para conservar esta biota tan conspicua, e impulsar más estudios para conocerla y comprenderla (Flores-Villela y Navarro, 1993).

Distribución histórica y actual de *Ambystoma mexicanum*

Originalmente, el ajolote *Ambystoma mexicanum* se distribuía en parte del remanente de un gran lago que data del Pleistoceno tardío, formado cuando la actividad tectónica bloqueó el drenaje del valle de México hacia el sur. Esta cuenca cerrada, recibía agua de varios lagos someros relativamente, que permanecieron bien delimitados, y que después de 1521 fueron subdivididos de manera arbitraria en seis sectores, cada uno reconocido como un lago: Zumpango, Texcoco, México, Xaltócan, Xochimilco y Chalco (Fig. 1). *A. mexicanum* fue reportado como endémico para los tres últimos sectores.

Los Xochimilcas fueron los primeros en asentarse en el Valle de México, construyendo entre 1000 y 1500 años a.C. las chinampas, que fragmentaron al lago de Xochimilco en canales o acalotes, zanjas o apantles y lagunas (Farías, 1984; Rojas, 1995). Posteriormente desde el siglo XIX la expansión de la ciudad de México provocó la reducción del área de distribución

(Brandon, 1989; Duhon, 1997; Graue, 1998). Se estima que hoy en día la especie está restringida principalmente a los remanentes de la zona lacustre de Xochimilco, y en menor proporción en Mixquic y Tláhuac-Chalco (Sánchez *et al.*, 1995; Graue, 1998; Zambrano, 2004). En la zona lacustre de Xochimilco, Graue (1998) y Zambrano (2004) reportaron un sesgo en la distribución de *A. mexicanum*, hallando una mayor abundancia de la especie en la zona agrícola en comparación de la zonas urbana y semiurbana.

Finalmente Smith (1989a) reporta una hipótesis sobre una posible simpatria geográfica entre las especies de *A. tigrinum* y *A. mexicanum* a nivel regional (macro-simpátricamente), aunque señala que no existen evidencias de una coexistencia a nivel local (micro-simpátricamente). Smith y Smith (1971) señalaron que aunque la producción de híbridos fértiles entre ambas especies ha sido reportada en el laboratorio, no existe ninguna evidencia de que ambas poblaciones hibridizaran en la naturaleza, por lo que se asume que su acervo genético están esencialmente separados y que ambos taxa constituyen especies independientes en estado silvestre.

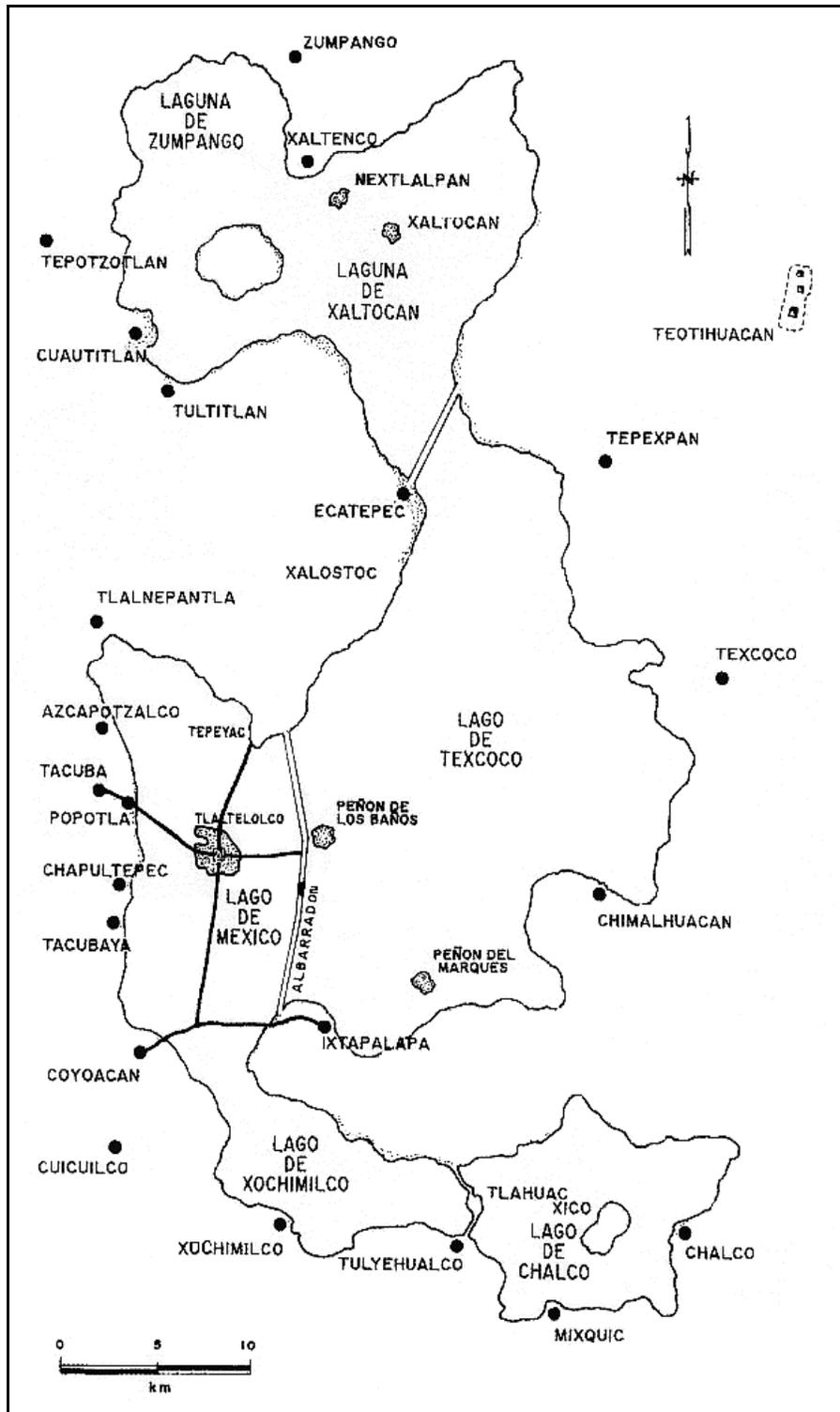


Figura 1. Distribución histórica de *Ambystoma mexicanum* en los lagos de Xaltocan, Chalco y Xochimilco en el valle de México. Situado en 1521. Tomado de Lot y Novello (2004).

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación geográfica

La delegación Xochimilco, geográficamente se sitúa entre los paralelos: 19° 19' y 19° 19' de latitud Norte y en los meridianos 98° 56' y 99° 09' de longitud Oeste, al sur este de la ciudad de México (Fig. 3). La delegación Xochimilco mide aproximadamente 3.2 Km de norte a sur y 9.6 Km de este a oeste y posee una superficie total de 134.58 Km². Dicha demarcación puede dividirse en tres zonas (Fig. 2): urbana, semiurbana, y agrícola. Las chinampas se consideran como de zona cultivo y están rodeadas por canales y lagunas (Bojórquez, 1994). Los canales y lagunas de la zona lacustre de Xochimilco poseen un área de 2,200 has y una extensión de 189 Km. La profundidad de los canales es muy variable. La mayoría de ellos poseen una escasa profundidad, con un metro como mínima, 10 como máxima y cinco en promedio, siendo mucho menos profundas las lagunas que cortan los canales principales y los pequeños canales que desembocan en estas (Farías, 1984).

La zona lacustre de Xochimilco está constituida por más de 36 canales y sus respectivas ramificaciones. Los 10 canales principales son: Cuemanco, Apatlaco, Nacional, Texhuilo, Ampampilco, Japón, la Noria, Amelaco y el de Attilac (Figs. 2 y 3). Además, debido al arreglo de las chinampas, en el lago se formaron algunos claros llamados lagunas (Fig. 4), considerándose a las siguientes las siete principales: El Toro, la Virgen, Tlilac, Tlicuili, Tezhuilotl, Caltongo y Xaltocan (Farías, 1984).

Los ojos de agua que surtían al lago de Xochimilco son los de Nativitas, San Gregorio, Santa Cruz, Acuscónal, Tepepan y Noria. Dentro de los ríos permanentes figuraban el de la Magdalena, San Ángel y el de San Agustín de las Cuevas (Tlalpan). Dentro de los fluidos temporales estaban los provenientes de los cerros de Topilejo, Nativitas y Milpa Alta. La mayoría de estos afluentes del Lago de Xochimilco que existieron hasta finales del siglo XVII se

fueron agotando o algunos fueron desviados para satisfacer las necesidades de la creciente ciudad de México (Farías, 1984; Alatríste y Vilchis, 1997).

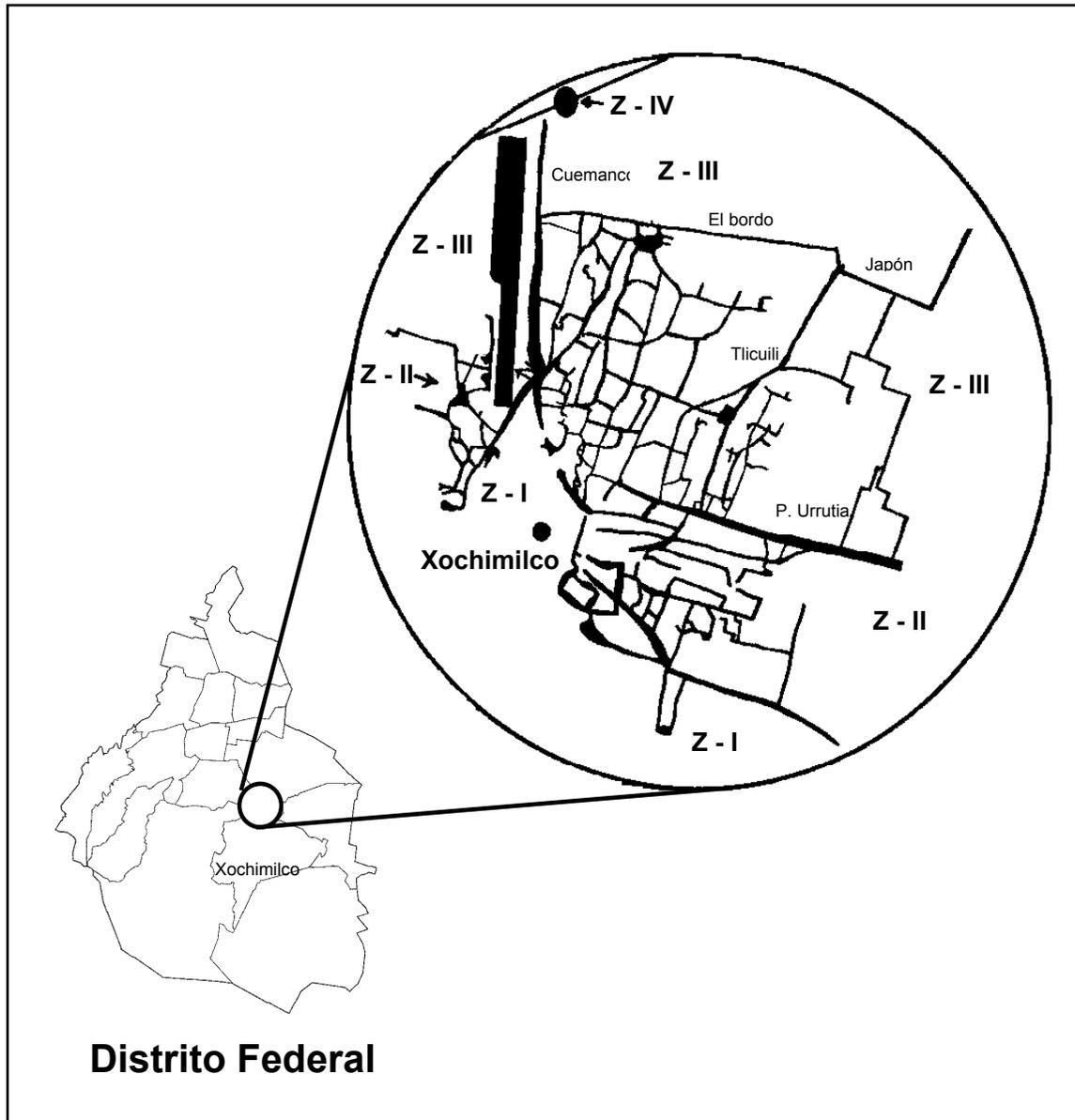


Figura 2. Muestra la ubicación de la delegación Xochimilco así como su zonificación realizada por Bojórquez (1994). Se reconocen tres zonas principales: zona I ó urbana; zona II ó semiurbana, zona III ó agrícola y zona IV turística.

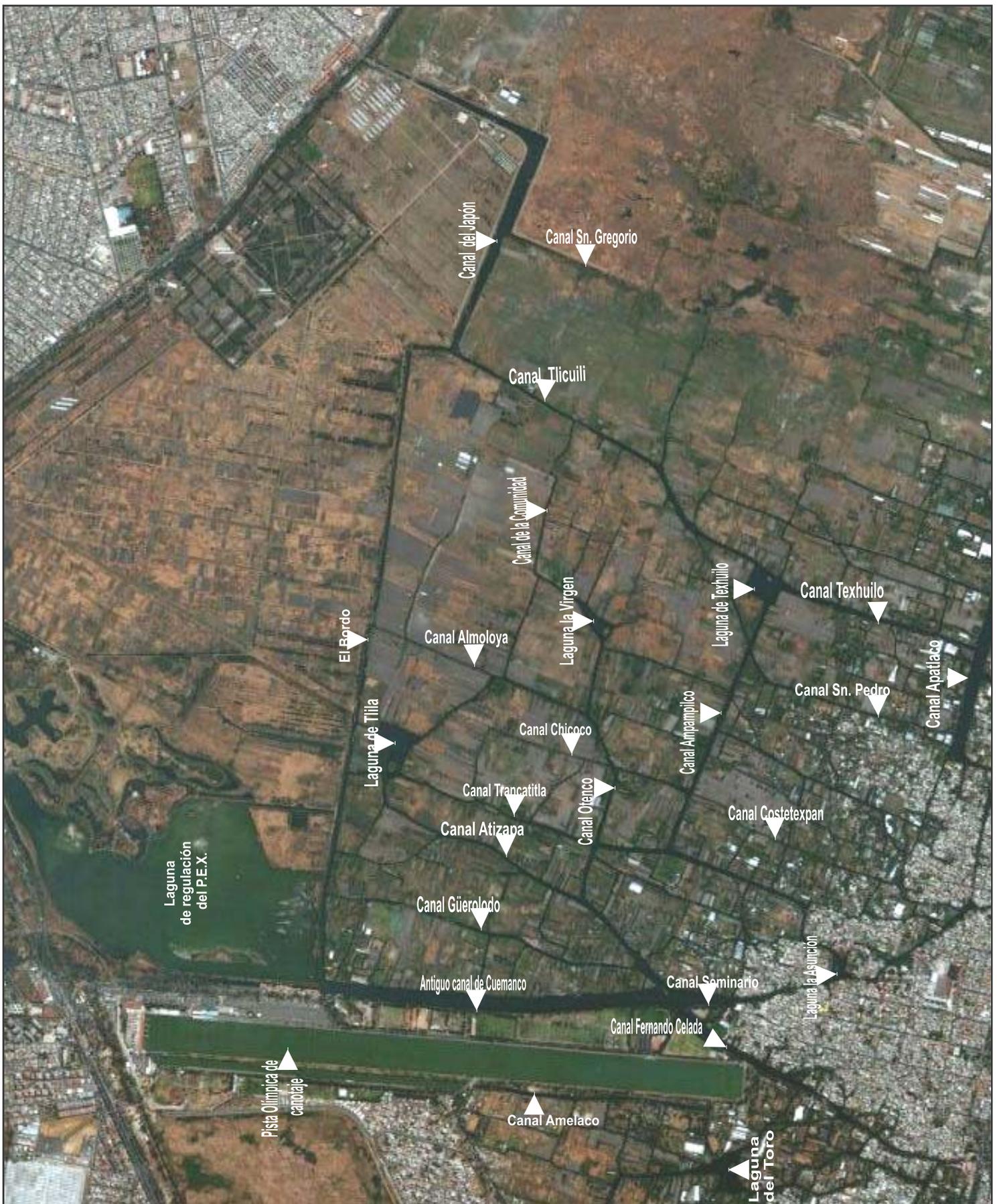


Figura 3. Fotografía satelital de Xochimilco (Google Earth, 2006). Se señalan algunos de los canales principales muestreados durante la temporada de colecta 2002-2003.

Características climáticas

La temperatura atmosférica anual promedio de Xochimilco (Figura 4) de 1994 a 2003 fue de 17 °C (Magaña *et al.*, 2006). La zona posee un clima C(w): Templado subhúmedo (Bojórquez, 1994) y la temporada de lluvias (Figura 6) comprende de abril a octubre (INEGI 2001).

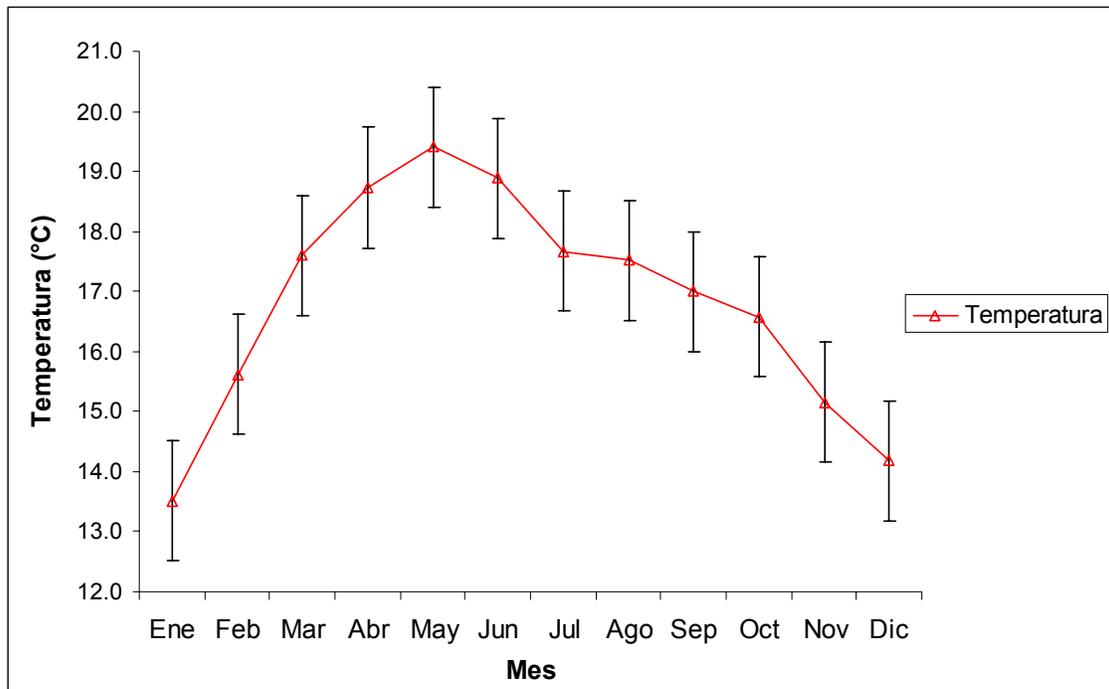


Figura 4. Promedio mensual de la temperatura atmosférica a lo largo del año en Xochimilco, de 1994 al 2003. Registradas por la estación metereológica: ENP1. PEMBU-Xochimilco D.F. (Magaña *et al.*, 2006).

Los días con heladas se incrementan en los meses invernales de enero a marzo y de noviembre a diciembre (Figura 5). Mientras que a lo largo del día el comportamiento de la temperatura atmosférica posee una marcada oscilación de 3 a 12 °C a las 7 am como mínima y de 15 a 30 °C a las 4 pm como máxima (Figura 7).

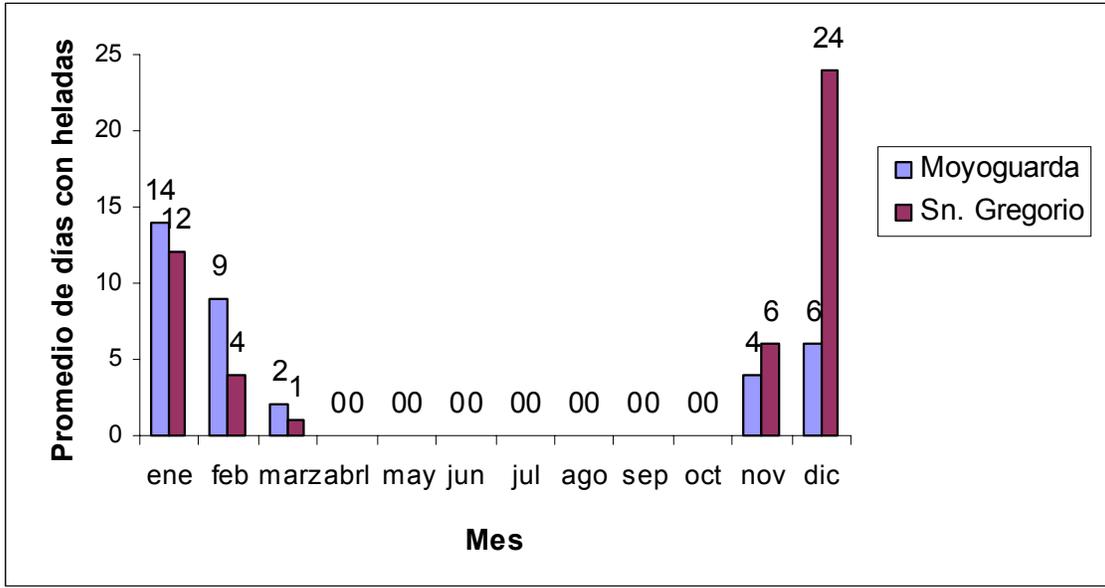


Figura 5. Promedio de días con heladas, a lo largo del año en Xochimilco, registradas por las estaciones metereológicas: San Gregorio-Atlapulco de 1981 a 1990 y Moyoguarda de 1976 a 1985. Cuaderno Estadístico Delegacional INEGI 2001. Xochimilco, D.F.

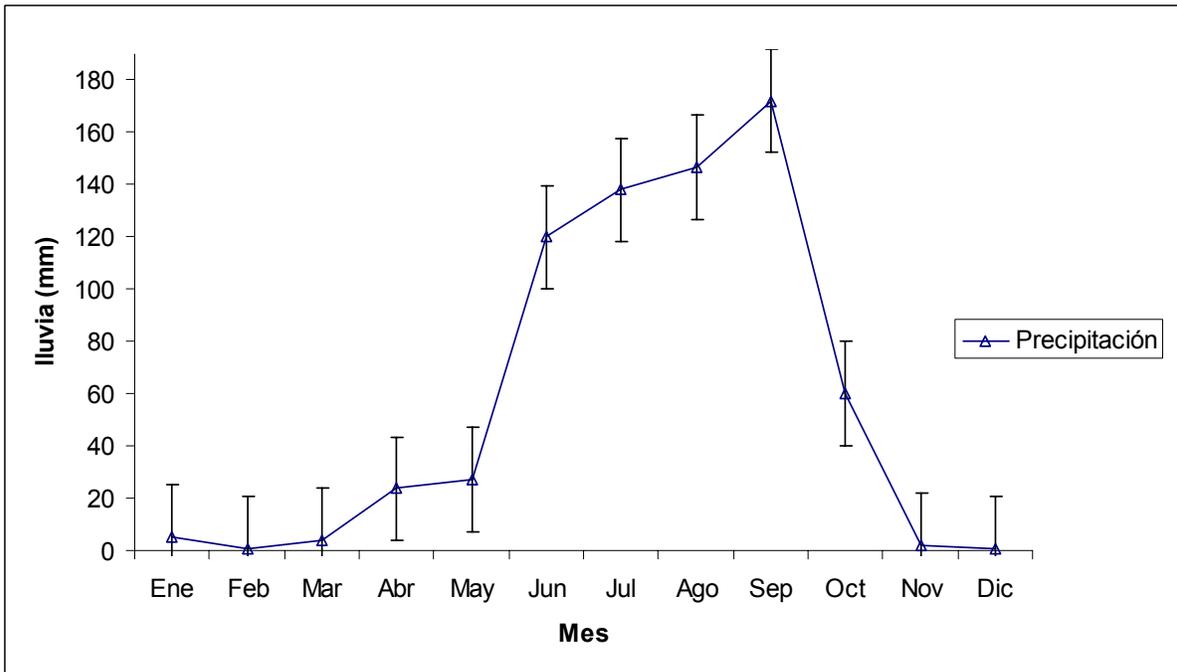


Figura 6. Promedio mensual de la precipitación a lo largo del año en Xochimilco, de 1996 al 2003, registradas por la estación metereológica: ENP1. PEMBU-Xochimilco D.F. (Magaña *et al.*, 2006).

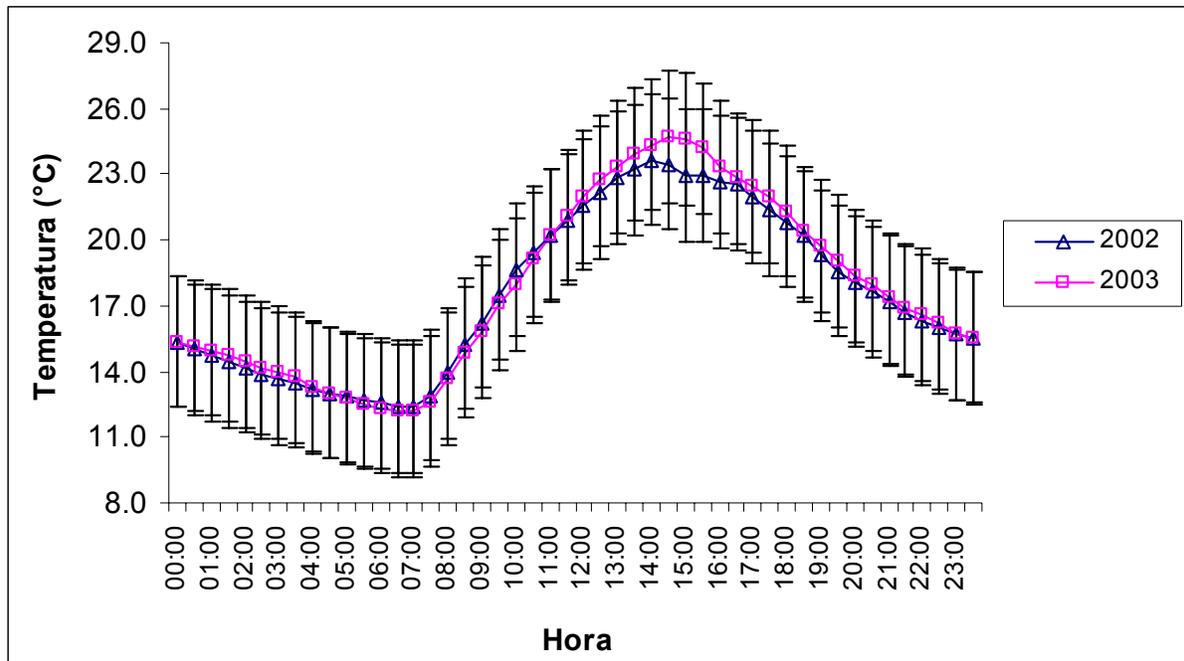


Figura 7. Comportamiento de la temperatura atmosférica promedio (en °C), de las 0:00 hrs a las 23:30 hrs, en Xochimilco del 15/01/2002 al 15/12/2003. Monitoreada por la estación meteorológica ENP1. PEMBU-Xochimilco D.F. (Magaña *et al.*, 2006).

Características del agua

Sandoval (2003) corroboró la gran contaminación en los canales por bacterias coliformes totales, fecales y estreptococos. Reportó que todos los grupos bacterianos indicadores de la calidad del agua rebasaron de un 50 a un 90% por arriba de los niveles máximos de contaminación permitidos por los estándares de calidad microbiana, según lo establecido por la NOM-003-ECOL-1997. Los sitios más afectados se encontraron en la zona turística, mientras que la zona agrícola, mantenía varios de sus sitios por debajo de la norma, principalmente en época de lluvias. La carga bacteriana más alta se registró en época de secas.

Rangel (1981) y Flores (1982) reportaron la presencia de altas concentraciones de metales tóxicos como: Plomo, Cadmio, Cobre, Zinc y Arsénico, en el agua y en los sedimentos de los canales de Xochimilco que superaban de tres a diez veces los niveles permitidos para el consumo

humano. Trabajos más recientes como el de Castillo-Rojas *et al.* (2004), corroboran la mala calidad del agua de los canales de Xochimilco, la cual presenta altas densidades de bacterias patógenas como *Helicobacter pylori*, así como la presencia de compuestos nocivos como los trihalometanos (cloroformo, dibromoclorometano, bromoformo, entre otros) asociados al cáncer gástrico para el hombre.

En cuanto a los factores fisico-químicos del agua, Zambrano (2004) reportó que el pH, la temperatura, la conductividad, la turbidez y el oxígeno disuelto, tanto de Xochimilco como de Chalco, se encuentran dentro de los intervalos necesarios para la sobrevivencia y reproducción de los organismos. Consideró en su análisis siete de los canales principales de Xochimilco y una laguna. Reportando que los valores de temperatura en los distintos canales, oscilan entre los 16 y los 20 °C, mientras que los niveles de oxígeno disuelto se muestran elevados, con 14.18 mg/L en promedio. El pH llega a ser de neutro a básico y alcanza valores máximos de 9.18 unidades, mientras que la conductividad se ubica dentro del intervalo característico de cuerpos de agua dulce de 0.88 a 1.11 $\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$ con niveles de 0.95 $\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$ en promedio (Zambrano, 2004).

Vegetación exótica

El lirio acuático *Eichhornia crassipes* Kunth o “huachinango”, es una hidrófita introducida a la zona lacustre de Xochimilco en 1897 (Farías, 1984). Se propagó con gran éxito debido a sus características estructurales, de adaptación y estrategias de sobrevivencia, así como la ausencia de enemigos naturales en la zona. Se mantuvo controlado aproximadamente hasta 1940 y para finales de 1977 el 56% de los canales estaban infestados (Farías, 1984). Hoy en día ocupa prácticamente toda la zona lacustre de Xochimilco, por lo que es considerada como una plaga. Tan sólo dentro del periodo octubre de 2003 a septiembre de 2004 se extrajeron, 3,761 Tons., de lirio (González, 2004). Los especialistas han concluido que es una maleza que no puede

erradicarse, sino únicamente controlarse. En los húmedales de México posee una tasa relativa de crecimiento de 1.5 a 9.3% por día, y un tiempo de duplicación de biomasa de 7 a 46 días, siendo su crecimiento cuatro veces mayor en primavera y verano (Gutiérrez *et al.*, 1997). Beltrán (1987) y Heralecky (1990) reportaron que *Ambystoma mexicanum* suele llegar a ovopositar sobre esta hidrófita, que al ser extraída junto con las puestas contribuye al deterioro de la especie.

Fauna introducida

Desde hace décadas la zona lacustre de Xochimilco han sido utilizada como vertedero de una gran cantidad de especies exóticas de todos los grupos animales, las cuales no han sido totalmente catalogadas. Farías (1984) refiere que con la idea de combatir la plaga de lirio, el 11 de enero 1976, se introdujeron tres manatíes provenientes de Chiapas, liberados en el canal Cepacoa que murieron días después. Entre los reptiles se han reportado una gran cantidad de “tortugas de orejas rojas” *Trachemys scripta elegans* (Farías, 1984), y al menos un ejemplar de *Crocodylus sp.* y uno tortuga de concha blanda *Apalone sp.* (obs. pers). Zambrano (2004) además reportó como peces exóticos con altas densidades a la tilapia africana: *Oerochromis niloticus* (0.093 organismos/m²) y al menos tres variedades de la carpa de Israel: *Cyprinus carpio* (0.032 organismos/m²). Dichas especies podrían actuar como depredadores de algún estadio de desarrollo de *Ambystoma mexicanum* (huevos, larvas recién eclosionadas o juveniles), como sucede con las poblaciones de *Ambystoma maculatum* depredadas por el pez exótico *Carasius auratus* (Monello y Wright, 2001).

Estatus de la zona chinampera de Xochimilco

El 28 de enero de 2002 Xochimilco fue ratificado por la UNESCO como Patrimonio Cultural de la Humanidad. Además el 7 de mayo de 1992 los ejidos de Xochimilco y la zona Chinampera, fueron declarados Áreas Naturales Protegidas, dentro de la categoría de Parque

Nacional de Importancia Ecológica. El 2 de febrero de 2004, México además incorporó a la zona lacustre de Xochimilco, dentro del Convenio sobre Conservación de Humedales de Importancia Internacional (lista Ramsar). Con esto confirma su compromiso de promover el uso racional de la zona y promover su conservación.

DIAGNOSIS DEL ORGANISMO DE ESTUDIO

Ambystoma mexicanum Shaw y Nodder, 1798 (Frost, 2004). Es un anfibio (Caudata: *Ambystomatidae*) que en su forma neoténica su cabeza es aplanada dorsoventralmente, tiene un par de ojos sin párpados, el hocico achatado, con un par de narinas y una amplia apertura bucal. Las patas posteriores poseen cinco dedos y las anteriores cuatro. Su aleta dorsal continúa hasta fusionarse con la cola (Fig. 8). Su respiración es principalmente branquial y cutánea, y posee también un par de sacos pulmonares funcionales (Urbieto, 1979).

Esta especie puede regenerar cualquier tipo de tejido (óseo, cartilaginoso, cardíaco, conjuntivo). *A. mexicanum* se distingue de otros ambistómidos por ser neoténico estricto-inducible, es decir, puede llegar a la madurez sexual en su estado larvario (Duellman y Trueb, 1986). La metamorfosis se considera un fenómeno raro en su hábitat (Shaffer, 1989; Cano, 1994). El patrón de coloración, varía dependiendo de la localidad, pero principalmente son de color negrusco con pequeñas manchas negras irregulares distribuidas por todo el cuerpo (Scott, 1984; Velasco en Duhon, 1997).

Posee caracteres sexuales secundarios conspicuos que difícilmente se diferencian fuera de la época reproductiva (Armstrong *et al.*, 1989; Heralecky, 1990; Vergara, 1990). En la época reproductiva los machos adultos muestran un marcado ensanchamiento de los labios de la cloaca, mientras que las hembras adultas presentan el cuerpo más robusto, resultado del incremento en el tamaño de los ovarios y los oviductos o por la presencia de huevecillos (Nace *et al.*, 1974). La reproducción es sexual, de fecundación interna (Duellman y Trueb, 1986; Armstrong *et al.*, 1989) y en condiciones controladas, una hembra grávida deposita en promedio 400 huevecillos por puesta (Heralecky, 1990; Ensastigue, 2003). Armstrong *et al.* (1989) reportó que puede alcanzar la madurez sexual en el laboratorio al año de edad, pero que usualmente lo hace a los 18 meses. Ensastigue (2003) considera como adultos reproductivos a todos aquellos organismos con una

longitud total promedio de 21.23 cm (hembras) y 22.3 cm (machos), y Maya (2003) considera como organismos maduros sexualmente a los que presenten una longitud total de 12 a 20 cm. El tamaño es generalmente la mejor guía para juzgar cuando comenzará la madurez sexual (Borland, com. pers., 2003). En condiciones óptimas, las hembras maduran sexualmente algunos meses después que los machos, y su vida reproductiva óptima tiene una duración de cinco a seis años. Al incrementarse la edad, la calidad de los gametos va disminuyendo y se reduce el número de puestas (Armstrong *et al.*, 1989).

La vida media de *A. mexicanum* en su forma neoténica, bajo condiciones óptimas en el laboratorio es de 10 a 12 años como media y 25 como máxima (Armstrong *et al.*, 1989; Borland, com. pers., 2003).



Figura 8. *Ambystoma mexicanum*. Salamandra neoténica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Obtener distintos parámetros demográficos en la población silvestre del ajolote *Ambystoma mexicanum* para determinar el estado de conservación de la población en la zona lacustre de Xochimilco, México D.F.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Estimar la densidad poblacional y el esfuerzo de captura de *A. mexicanum*.
- Determinar la proporción de sexos de *A. mexicanum* en la población.
- Determinar si existen diferencias significativas en las medidas morfométricas de machos y hembras.
- Determinar la patología externa de los organismos capturados.
- Datar la edad en organismos capturados de la especie *A. mexicanum*, por medio del método histológico de esqueletocronología.
- Determinar la relación talla-edad de los organismos capturados de *A. mexicanum* en función de sus medidas morfométricas como posibles estimadores de su edad.
- Determinar si existen diferencias significativas entre la edad de machos y hembras de *A. mexicaum*.
- Conocer la estructura de edades de la población silvestre de *A. mexicanum*.
- Registrar los factores fisicoquímicos del agua: conductividad, pH y la temperatura del hábitat de *A. mexicanum* en condiciones naturales.

JUSTIFICACIÓN

A pesar de que *Ambystoma mexicanum* ha sido muy estudiado a nivel experimental, se conoce muy poca información para entender la biología de esta especie en su hábitat natural. La mayor cantidad de información ecológica sobre esta especie era de tipo anecdótica hasta los estudios de Calderón *et al.* (1989); Graue (1998), Zambrano (2004) y Valiente-Riveros (2006). El presente trabajo pretende obtener algunos de los parámetros demográficos básicos de *A. mexicanum* en estado silvestre y con ello orientar los esfuerzos dirigidos a su conservación. Entender en mayor medida su dinámica poblacional en condiciones naturales, permitirá establecer mejores planes de manejo para la restauración de la población de esta especie.

HIPÓTESIS

- Se espera que la densidad poblacional de *A. mexicanum* en los canales de Xochimilco sea menor a la registrada por Graue (1998) en su temporada de colecta entre 1995 y 1996, lo que indicaría una tendencia progresiva en la disminución de la población en esta zona.
- Debido a que es una población perturbada, se espera encontrar un sesgo hacia alguna de las distintas categorías de edad de la población de *A. mexicanum* presentes en la zona lacustre de Xochimilco.
- Se encontrará una relación positiva entre la talla y la edad de los organismos capturados. Se registrará la presencia de anillos de crecimiento en sus falanges, como estimadores de su edad, como lo reportado para ambistómidos de E.U. y Canadá por Rossell y Sheehan (1998) y Trenham *et al.* (2000).
- Se encontrarán diferencias significativas entre las medidas morfométricas de machos y de hembras adultos, permitiendo así aportar otra característica para el sexado de la especie, además de los caracteres sexuales secundarios.

MÉTODO

Trabajo de campo

Colecta y área muestreada. Los organismos fueron colectados en los canales y lagunas de la zona lacustre de Xochimilco, México D.F. Se realizó un muestreo extensivo con la finalidad de abarcar la época de lluvias y secas durante la temporada de colecta 2002-2003. La captura se llevó a cabo usando una atarraya a bordo de una trajinera y con ayuda de distintos pescadores de la zona contratados para dicho propósito. La atarraya era de un radio de 3.5 m para las primeras 43 salidas (31 enero de 2002 a 15 de abril de 2003) y de 4 m de radio y una luz de malla de 1/2 pulgada para las nueve salidas restantes (14 de mayo de 2003 a 1 octubre de 2003). Esta última red fue manufacturada por el pescador específicamente para la captura del ajolote. Los lances se hicieron al azar en el supuesto de que cada ajolote que se encuentre estocásticamente en la trayectoria de descenso de la atarraya, posee las mismas posibilidades de ser atrapado que cualquier otro. Los lances se efectuaron con una separación de 20 m de trayecto avanzado. Al optar por un muestro al azar con atarraya, esto hizo posible comparar los resultados de densidad y esfuerzo de captura con otros autores. Todos los muestreos fueron matutinos, entre las de 8:00 am y las 2:00 pm, de una a tres veces por semana, con 40 lances para la mayoría de las salidas. Todos los peces exóticos: carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) que fueron colectados durante el proyecto, fueron sacrificados (Valiente-Riveros, 2006). Para conocer la densidad poblacional y esfuerzo de captura para *Ambystoma mexicanum* se registro el número de lances realizados en toda la temporada así como el número de organismos capturados.

El arte de pesca atarraya mostró ser una técnica eficaz para la captura de *A. mexicanum* en los canales y lagunas de Xochimilco. Este tipo de técnica tiene como ventajas que puede ser usada en lugares donde el agua es muy turbia, con escasa visibilidad del fondo, como es el caso de Xochimilco, y puede ser desplazada fácilmente de un sitio a otro a bordo o de una

embarcación a otra. Además puede ser manipulada por un solo pescador (Huidobro, 2003). La atarraya permitió además capturar varias presas en un mismo lance, identificando así la fauna asociada al ajolote (Valiente-Riveros, 2006), las presas pueden ser capturadas vivas y ser seleccionadas sin ocasionarles daño, permitiendo elegir regresarlas o sacrificarlas posteriormente. Este arte de pesca se contrapone a otros, como la fisga o el chinchorro, que pueden causar daño o la muerte a los organismos capturados (Huidobro, 2003; obs. pers.), contraproducente para la población al tratarse de una especie en probable peligro de extinción. El éxito en la captura de un ajolote está en función del área cubierta por la atarraya, y de la pericia mostrada del pescador en cada lance. Un pescador experimentado sabe cómo, cuándo y que velocidad debe ser lanzada y extraída la red, para asegurar que se encuentre un ajolote en dicho sitio, este sea capturado, evitando sesgo en el muestreo. Organismos de tallas menores a la de la luz de malla de la atarraya (≤ 4 cm de LT) probablemente no fueron capturados (obs. pers., 2003).

Toma de datos de colecta. Para cada ajolote capturado se registro su fecha y hora de colecta. La ubicación exacta del canal o laguna donde se colectó se obtuvo con un GPS-III plus GARMIN. Usando una regla de 30 cm se midieron a los organismos obteniendo sus medidas morfométricas: Longitud Total (LT), Longitud Hocico Cloaca (LHC), Longitud de la Cola (LC). La LHC se realizó midiendo de la punta del hocico hasta después del abultamiento de la cloaca. La LC, se tomó de después del abultamiento de la cloaca a la punta de la cola; y la LT, de la punta del hocico a la punta de la cola (Fig. 9). El peso húmedo de los organismos se obtuvo con una balanza digital OHAUS: ESCAUT CS2000 (± 0.01 g). Se les amputaron únicamente el segundo dedo de la pata anterior derecha e izquierda. Finalmente se registró la anatomía patológica externa identificando ectoparásitos y enfermedades apreciables tal como lo describió Uribe-García (2002) y Maya (2003).

Los ajolotes colectados por pescadores locales fuera del horario de muestreo también fueron medidos, pesados, sexados, se estableció su estatus reproductivo, anatomía patológica externa y se amputaron los segundos dedos de las patas anteriores derecha e izquierda. En algunos casos fue posible saber el sitio de colecta de cada ejemplar pero los demás datos asignados se ignoran (georreferencia, total de lances por día de colecta y características de la atarraya).

A cada organismo colectado se le asignó un número de registro individual, que consistía en el año en el que fue capturado y el número de organismo capturado en el mismo año; p. ejem. 2002-1, 2003-1, etc. Cada vial con tejido y preparación histológica poseía una etiqueta con su número de registro y todos sus datos de colecta fueron registrados en una base de datos.

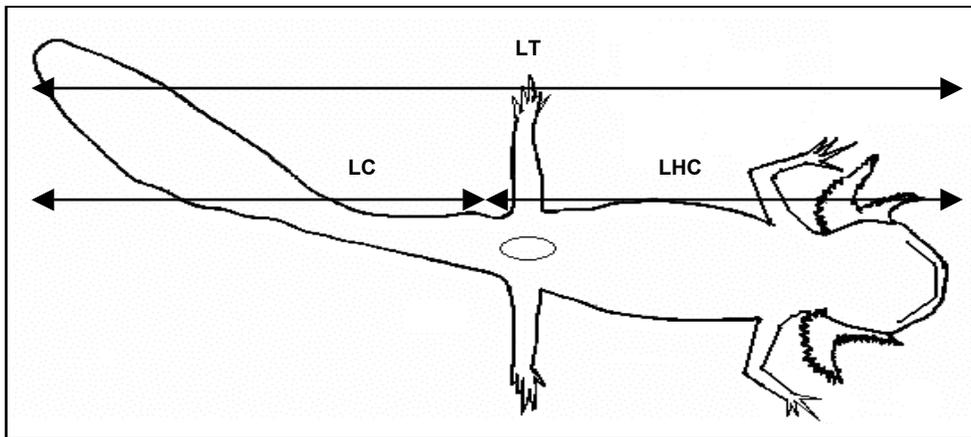


Figura 9. Vista ventral de un ajolote, muestra la forma en que se tomaron las medidas morfométricas en cada organismo: longitud total (LT), longitud hocico cloaca (LHC) y longitud de la cola (LC).

Identificación del sexo de los organismos capturados y proporción de sexos. Los ajolotes capturados fueron sexados siguiendo los criterios aceptados por Heralecky (1990), Vergara (1990), Nace *et al.* (1974), Reyes (2003) y Borland (comp. pers, 2003), en función de las características cualitativas de la cloaca y características morfológicas del tórax. Ningún organismo se diseccionó para corroborar quirúrgicamente el sexo. Con los datos obtenidos se obtuvieron las proporciones sexuales de la población y se realizó una X^2 (Zar, 1996), para determinar si estas proporciones se ajustaban a una proporción sexual típica 1:1.

Toma de muestras. Para la datación de la edad de cada organismo por el método de esqueletocronología se amputó el segundo dedo de las extremidades anteriores derecha e izquierda, utilizando tijeras desinfectadas con alcohol al 70%. Después del corte a cada organismo se le aplicó violeta de genciana para desinfectar la herida. Los dedos amputados fueron preservados en viales con alcohol al 70%, para su posterior análisis por medio del método esqueletocronológico. También se tomó una muestra de tejido de 0.1gr (músculo o agalla o piel) a cada organismo para posteriores estudios de ADN, utilizando una navaja para cada muestra previamente esterilizada. Las muestras fueron preservadas en alcohol al 96% y finalmente se preservaron en refrigeración y se almacenaron en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles (CNAR) del Instituto de Biología UNAM donde permanecen.

Anatomía patológica externa. Se observó si existía cualquier ectoparásito o patología apreciable en epidermis. Se buscaron padecimientos descritos para *A. mexicanum* en el laboratorio como tumoraciones, erupciones, como lo descrito por Redondo (1999); amoratamiento del tejido, zonas blanquecinas por invasión de hongos, laceraciones, ulceraciones, necrosis e inflamaciones como lo descrito por Uribe-García (2002) y Maya (2003), y síntomas de

septicemia hemorrágica por infección por *Aeromonas hydrophila* descritos por Heraclecky (1990). Se examinó la presencia de malformaciones anatómicas como polidactilia o supernumeraria como lo descrito por Frías (2005) para *Rana montezumae*; casos de raquitismo en extremidades, atrofia mandibular y malformaciones de dientes como lo descrito por Aguilar *et al.* (2004) para *A. Lermanense*; y deformaciones de la columna vertebral como lordosis (encorvamiento hacia la parte ventral) y xifosis (encorvamiento hacia la parte dorsal) o escoliosis (encurvamiento en forma de “s”) como lo describe Maya (2003) para *A. mexicanum*. Además, se registró si los organismos presentaban pérdida de extremidades, agallas o de cualquier otra parte del cuerpo por mutilación. No se realizó ningún tipo de análisis histopatológico para profundizar en el diagnóstico, y se consideró como sano a los organismos que no presentaran alguno de los síntomas o anormalidades mencionados. Los organismos no sanos se clasificaron siguiendo los criterios descritos por Maya (2003) que considera el tipo de lesión observada (de tipo inflamatorio, necrótico o degenerativo), la gravedad de la misma (leve, moderada, o severa) y extensión de la lesión (difusa, local o multilocal).

Liberación. La mayoría de los organismos colectados fueron liberados inmediatamente, solamente cuatro ajolotes que murieron durante el proceso por estrés, fueron preservados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología, UNAM.

Lectura de factores fisicoquímicos. A partir del 25 de septiembre de 2002 hasta el 12 de octubre de 2003 se registró el pH, la temperatura (°C) y la conductividad eléctrica ($\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$) del agua de la zona lacustre de Xochimilco, realizando varias mediciones al azar en distintos canales o lagunas en cada salida. Las mediciones se realizaron con una sonda multiparamétrica HidroLab *Quanta*. En cada muestra se tomó, una medición superficial (de 0.0 m a 0.3 m) y otra de

profundidad (de 0.4 m a 1.5 m) dentro del intervalo de tiempo: 7:00 am a 1:00 pm. De la misma manera se registraron estos mismos parámetros en los sitios en los que fue posible coleccionar algún ajolote.

Se obtuvo por separado el promedio de cada parámetro por salida y por localidad (pH, temperatura y conductividad eléctrica). Posteriormente se obtuvo el promedio de promedios de cada parámetro por mes de muestreo para la temporada de colecta 2002-2003. En los casos en los que se capturó algún ajolote, los datos se presentan tal cual se obtuvieron en las mediciones de profundidad (Cuadro 11). Solo en el mes de enero de 2003, no se registró ninguna medición (Figs. 16-18).

Trabajo de Laboratorio

Los dedos amputados de los organismos capturados de *Ambystoma mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco, fueron tratados con una modificación al método esqueletocronológico descrito por Rossell y Sheehan (1998) para *A. talpoideum* y Trenham *et al.* (2000) para *A. californiense*; y complementado con técnicas histológicas descritas por Estrada *et al.* (1982) y Sandoval *et al.* (2005), y que se detalla a continuación:

a) Fijación y Preservación. Los segundos dedos amputados de las patas anteriores derecha e izquierda (Fig. 10) se sumergieron para su fijación en formalina Buffer al 10% o sólo formalina al 10% por 24 horas máximo. Una vez que la pieza fue fijada, sin lavar, se preservó de manera indefinida en alcohol etílico al 70% y bajo refrigeración a 5 °C (Rossell y Sheehan, 1998).

b) Descalcificación. El dedo entero sin descarnar y sin lavar previamente, se introdujo en una solución de ácido nítrico al 3.0% (Rossell y Sheehan, 1998; Trenham *et al.*, 2000) de 12 a 24 horas, dependiendo del tamaño de la muestra. Pasado este lapso, la pieza ósea se lavó en agua corriente por 12 horas (Estrada *et al.*, 1982).

c) Deshidratación. Las falanges se deshidrataron en una serie de soluciones alcohólicas de concentraciones crecientes (Cuadro 1) en un lapso de 24 horas en cada solución. En las tres últimas soluciones donde el alcohol terbutílico (ATB) está al 100%, estas deben mantenerse en una estufa a una temperatura constante de entre 58 a 60 °C (Sandoval *et al.*, 2005), ya que el ATB al 100% tiende a cristalizarse a temperatura ambiente dañando los tejidos.

Cuadro 1. Concentraciones de soluciones alcohólicas (ml) utilizadas para la deshidratación de las muestras. Las soluciones de ATB que muestran un asterisco deben estar a una temperatura constante de 58-60 °C (Sandoval *et al.*, 2005).

ATB [100%]	EtOH [100%]	EtOH [95%]	H ₂ O	[final] %	Tiempo (hrs)
5	0	30	65	35	24
10	0	40	50	50	24
15	0	45	40	60	24
20	0	50	30	70	24
35	0	50	15	85	24
55	0	45	0	95	24
75	25	0	0	100	24
100*	0	0	0	100	24
100*	0	0	0	100	24
100*	0	0	0	100	24

d) Infiltración. Al cumplirse las últimas 24 horas de la muestra en ATB absoluto (Cuadro 2), sin vaciar el contenido del frasco con la muestra, se agregaron tres escamas de Paraplast (con punto de fusión de 56 °C para estructuras finas y con un peso aproximado de 0.5 g cada una) y el frasco se introdujo de nueva cuenta a la estufa con una temperatura de 58 a 60 °C como máximo. Se continuó añadiendo un par de escamas cada media hora. Una vez duplicado el volumen de ATB absoluto con Paraplast, aun dentro de la estufa, se destapó el frasco de 12 a 24 horas permitiendo que el ATB absoluto que aún permanecía, se evaporara. Finalmente, se desechó todo el Paraplast de infiltración y se añadió Paraplast nuevo y puro derretido al frasco con la muestra, permitiendo que ésta fuera cubierta en su totalidad. Se dejó reposar la muestra en el frasco cerrado dentro de la estufa con la temperatura de 58 a 60 °C por 24 horas más (Sandoval *et al.*, 2005).

e) Inclusión. Transcurridas las 24 horas, la muestra se trasladó del frasco a una pequeña caja de papel encerado de 1 cm³, que sirvió de molde para la obtención del bloque de inclusión. En esta caja inmediatamente se agregó nuevo Paraplast puro derretido, y la muestra se cubrió en su totalidad (Sandoval *et al.*, 2005). Al enfriarse el medio de inclusión (Paraplast) que contiene a la muestra, se obtuvo el “bloque de inclusión”.

f) Corte en micrótopo de rotación. El segundo dedo de la pata anterior del ajolote, en el bloque de inclusión, comenzó a cortarse transversalmente en un micrótopo de rotación *Leica*, a 5 μm y 10 μm de grosor, desde la falange metacarpal en adelante (Fig. 10). El listón obtenido, con diez secciones de tejido en cada uno se depositó inmediatamente en un baño de flotación de agua corriente a 30 °C, para extender óptimamente las secciones y tener una mejor observación en el microscopio. El listón fue recogido en un portaobjetos. Los portaobjetos con las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente de cinco a 12 horas. Posteriormente las preparaciones se rotularon con números consecutivos para facilitar, la ubicación del inicio y término de cada falange al observar las muestras en el microscopio óptico.

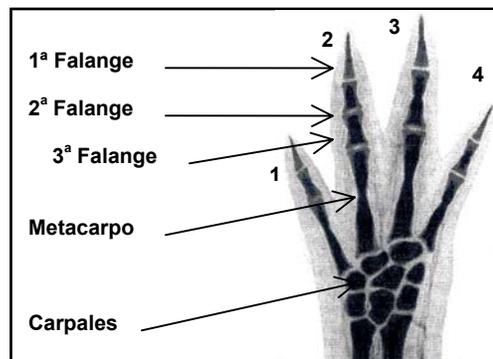


Figura 10. Radiografía de la pata anterior derecha de *A. mexicanum*, donde se observa el segundo dedo y sus componentes (Gosh *et al.*, 2001).

g) Desparaplastización-rehidratación. Se retiró el Paraplast y las secciones de tejido de las falanges adheridas a los portaobjetos se dejaron al descubierto, para posteriormente rehidratar el tejido (lo que permitiría su tinción), colocándolos en una serie de Xilol y soluciones alcohólicas de distintas graduaciones y tiempos determinados (Cuadro 2). Eliminado el Paraplast en su totalidad y rehidratado el tejido, las muestras se dejaron secar de una a dos horas a temperatura ambiente (Sandoval *et al.*, 2005).

Cuadro 2. Tiempos sugeridos en cada solución para retirar el Paraplast y rehidratar las secciones de tejido (Sandoval *et al.*, 2005).

Solución	Tiempo (min)
Xilol al 100%	15
Xilol al 100 % -Etanol100%	15
Etanol al 100%	10
Etanol al 95%	10
Etanol al 70%	10
Etanol 60%	10
Etanol 50%	10
Agua destilada	10

h) Tinción. Las muestras secas, se introdujeron en una serie de soluciones consecutivas de colorante básico y ácido y alcohol etílico de distintas graduaciones y aclarantes en tiempos determinados (Cuadro 3) (Modificado de Rossell y Sheehan, 1998; Trenham *et al.*, 2000). La técnica empleada es una tinción de tipo dicrómica, en la cual la hematoxilina de Harris tiende a teñir los núcleos celulares y elementos cartilagosos de color morado a azul, mientras que la eosina azulosa tiñe de púrpura o rosa, los elementos citoplasmáticos y el hueso denso (Estrada *et al.*, 1982; Aguilar *et al.*, 1996).

Cuadro 3. Concentraciones de alcohol y tiempos de tinción recomendados en cada solución. Modificado de Rossell y Sheehan (1998) y Sandoval (com. pers).

Solución	Tiempo (min)
Agua destilada	2
Hematoxilina de Harris	4
Agua corriente	10
Etanol al 30%	2
Etanol al 50%	2
Eosina azulosa	15
Etanol al 70%	2
Etanol al 95%	3
Etanol al 100%	3
Aceite de clavo	10
Xilol al 100%	1
Xilol al 100%	1

i) Montaje. Las preparaciones se montaron con resina sintética y se dejaron secar en una estufa a 40 °C por un mes. Todas las preparaciones se almacenaron como acervo en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología, UNAM, para su consulta libre. Algunas preparaciones permanecen en el Laboratorio de Apoyo a la Investigación del Jardín Botánico de la UNAM como referencia.

j) Observación en el microscopio óptico y captura de imágenes. Las muestras se observaron en un microscopio óptico Axioskop-Zeiss con objetivos de 10X, 20X, 40X y 100X, identificando las estructuras óseas presentes en ellas. El único tipo de iluminación utilizado fue el de campo claro. Finalmente se capturaron fotomicrografías sucesivas de las preparaciones más representativas de los organismos de mayor y menor edad, tanto de machos como de hembras y organismos no identificables sexualmente. En cada micrografía se anotó el número de preparación, el objetivo utilizado en esa fotografía y sistema óptico. Por ejemplo, la anotación para la primera micrografía de la primera preparación fue: 2002-1-/ 1. 10X. C.C. 1. Esto del primer organismo capturado en toda la temporada de colecta (2002-1), vista en un aumento de 10X, en campo claro (C.C.). Para la segunda micrografía de la misma preparación, vista en 10X, en campo claro, la notación fue: 2002-1/1. 10X. C.C. 2 etc.

Métodos de análisis estadístico

Aspectos demográficos

a) Cálculo de la densidad poblacional. Debido a que se utilizaron dos atarrayas de distintas dimensiones (3.5 m de radio y 4.0 m de radio) para la temporada de colecta 2002-2003, la densidad poblacional para toda la temporada se obtuvo del cociente: número de organismos totales capturados en toda la temporada y la suma de las unidades de área muestreadas en cada temporada (31 enero de 2002 a 15 abril de 2003 y 14 de mayo de 2003 a 1° de octubre de 2003).

$$D = \left[\frac{Nsp_i}{U.A._1 + U.A._2} \right]$$

Donde: D = Densidad. $U.A._1$ y $U.A._2$ = unidad de área para la primera y segunda temporada de colecta, y Nsp_i = número de organismos capturados en la temporada de colecta, de la especie “ i ” (Graue, 1998; Zambrano, 2004).

b) Cálculo de la unidad de área. Se calculó por separado la unidad de área para cada una de las temporadas de colecta con la siguiente fórmula:

$$U.A._x = \left[(\pi)(r_i)^2 (NL_i) \right]$$

Donde: $U.A._x$ = Unidad de área para esa temporada de colecta. $\pi = 3.1416$. r_i = longitud del radio de la red para esa temporada de colecta y NL_i = Número de lances totales para esa temporada de colecta (Graue, 1998; Zambrano, 2004).

Además debido a que la atarraya no se abría al 100% en cada lance, se decidió, realizar varios lances en tierra firme y tomar la longitud del radio de cada lance para posteriormente obtener un promedio de la apertura de la red (radio promedio),

$$\bar{r} = \left[\frac{r}{NL} \right]$$

Donde: \bar{r} = longitud promedio del radio de la red en metros. r = longitud del radio de la atarraya en cada lance y NL = número de lances realizados para este cálculo.

c) Índice de esfuerzo de captura. El esfuerzo de captura se calculó con la siguiente ecuación:

$$EC = \left[\frac{Nsp_i}{NLT} \right]$$

Donde: EC = esfuerzo de captura. Nsp_i = número de organismos de la especie “ i ” capturados durante toda la temporada de colecta y NLT = número de lances totales realizados durante toda la temporada de colecta (Zambrano, 2004).

d) Comportamiento de la densidad poblacional. Con los datos reportados por Calderón *et al.* (1989), y la densidad registrada por Graue (1998), para 1992-1993 y 1995-1996, así como la calculada en el presente estudio con nuestros datos de colecta, se graficó el comportamiento de la densidad poblacional de *A. mexicanum* en los últimos 14 años.

e) Análisis de varianza de los datos morfométricos. Como un método de sexado no letal, para determinar si existían diferencias significativas entre las medidas morfométricas; longitud de la cola, longitud total, longitud hocico cloaca y el peso, en machos, hembras y no identificables sexualmente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el programa estadístico SPSS. Previamente se utilizó la prueba de Kolmogorov Smirnov y de Levene para saber si los datos cumplían con los supuestos necesarios de normalidad y homoscedasticidad respectivamente (Zar, 1996).

f) Proporción de sexos. Para determinar si las proporciones sexuales de machos y de hembras obtenida en este trabajo se comportaban como una típica proporción 1:1, se realizó una prueba de X^2 , determinando si existían diferencias significativas entre los valores esperados y los observados.

$$X^2 = \left[\sum \frac{(o - e)^2}{e} \right]$$

Donde: O = son los valores de proporción de sexos observados y e = las proporciones sexuales esperadas (1:1).

g) Estructura de edades. A los organismos capturados se les agrupó en categorías de edad (Fig. 24). Para ajustar la relación entre la longitud total y la edad estimada de los organismos capturados, se utilizó la curva de crecimiento obtenida en condiciones óptimas de laboratorio por Prado (1996 en Zambrano, 2004) durante los primeros seis meses de edad para *Ambystoma mexicanum*, y ajustada por Zambrano (2004) al modelo de Von Bertalanffy (Fig. 23). El análisis de Von Bertalanffy se realizó en el programa estadístico *Sigma Plot* con base en la fórmula:

$$L(t) = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Donde: L (t) = la longitud total al tiempo t; L_{∞} = longitud total máxima; -K tasa instantánea de crecimiento y t_0 = edad del modelo cuando la longitud es cero (Gutiérrez y Sánchez, 1998).

Para determinar el grado de correlación entre la longitud hocico cloaca y la edad calculada para cada organismo, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson, así como el coeficiente de determinación (r^2) de este conjunto de datos. También se realizó una *t* de *student* para determinar si existían diferencias significativas entre los promedios de las edades de machos y de hembras. Previamente se realizó una prueba de Fisher para determinar si existía homoscedasticidad en las varianzas. Para que los datos de edad fueran números continuos (no números discretos) se les aplicó la fórmula: $X^1 = \sqrt{x+0.5}$ (Zar, 1996).

f) Factores fisicoquímicos del agua. Se realizaron cuatro *t* de *student* para determinar si existían diferencias significativas entre los promedios de las mediciones superficiales y de profundidad del pH, temperatura y conductividad. También se realizó una prueba de Fisher (Zar, 1996). Los datos eran números continuos

RESULTADOS

Colecta. Durante la temporada de colecta del 31 de enero de 2002 a 1° de octubre de 2003, se realizaron 52 salidas en total. A la mayoría de los ajolotes capturados fue posible obtener sus datos de colecta completos, y sólo no fue posible conocer la localidad de siete colectados fuera del horario de muestreo. Los números de registros de los ajolotes fijados y preservados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología de la UNAM son los siguientes: IBH-14026 a 14028 e IBH-14463 a 14465. Para toda la temporada de colecta (enero de 2002 a octubre de 2003) se realizaron 1916 lances de atarraya totales, con 40 lances por muestreo en 22 días de colecta y 20 lances en promedio por día de colecta en toda la temporada. Para la primera temporada se realizaron 1596 lances y 320 para la segunda (31 febrero al 1° de octubre de 2003). En la zona lacustre de Xochimilco, se colectaron en total 53 ejemplares de la especie *Ambystoma mexicanum* (entre juveniles y adultos neoténicos), 43 dentro y 10 fuera del horario de muestreo. Estos últimos fueron donaciones de algunos pescadores que fortuitamente capturaron ajolotes.

Área muestreada. Se muestrearon 36 canales y 8 lagunas (Cuadros 4 y 5), registrándose un área total muestreada de 42,349.3 m² es decir 4.2 ha (Apéndice 1).

Cuadro 4. Canales muestreados durante la temporada de colecta 2002-2003 así como el número de ajolotes totales capturados en cada uno y la zona a la cual pertenecen según la zonificación realizada por Bojórquez (1994). En los canales que presentan un asterisco (*), los ajolotes fueron capturados fuera del horario de muestreo. Siete organismos no fue posible conocer su localidad de colecta.

Canales Muestreados	Ajolotes Capturados	Zona a la que pertenece
Amelaco	0	Zona III
Apatlaco	0	Zona II
Ampampilco	1	Zona III
Almoloya	0	Zona III
Atizapa	2	Zona III
Bodoquepa	0	Zona II
Costepexpan	0	Zona II
Cruz Titla	1	Zona II
Cuemanco	0	Zona III
De la Moneda	0	Zona II
Ramal de L. del Toro	2	Zona II
De la Comunidad	0	Zona III
El Bordo	4	Zona III
Fernando Celada	2+1*	Zona I
Güero Lodo	1	Zona III
Chicoco	2	Zona III
Huitzila*	1	Zona III
Infiernito	0	Zona II
Japón	0	Zona III
La Asunción	0	Zona II
La Draga	0	Zona III
La Santísima	0	Zona II
La Virgen	0	Zona III
Nacional*	1	Zona III
Otenco	0	Zona III
Paso del águila	0	Zona III
Pizocoxpa	0	Zona II
Puente de Urrutia	22	Zona III
San Gregorio	0	Zona III
Santa Cruz	0	Zona III
San Juan T.	0	Zona II
Texhuilo	0	Zona III
Toscano	0	Zona III
Tlicuilli	0	Zona III
Toltenco	0	Zona II
Trancatitla	0	Zona III
Desconocido*	7	Desconocida
Total	47	

Cuadro 5. Lagunas muestreadas de la zona lacustre de Xochimilco durante la temporada de colecta 2002-2003, así como el número de ajolotes totales capturados en cada una y la zona a la cual pertenecen según la zonificación realizada por Bojórquez (1994).

Laguna muestreada	Ajolotes capturados	Zona
La Asunción	0	Zona I
Del Toro	2	Zona II
De Tlila	2	Zona III
Del Parque Ecol. De Xochimilco	2	Zona IV
De Texhuilo	0	Zona III
La Virgen	0	Zona III
De Xaltocan	0	Zona III
De San Diego	0	Zona II
Total	6	

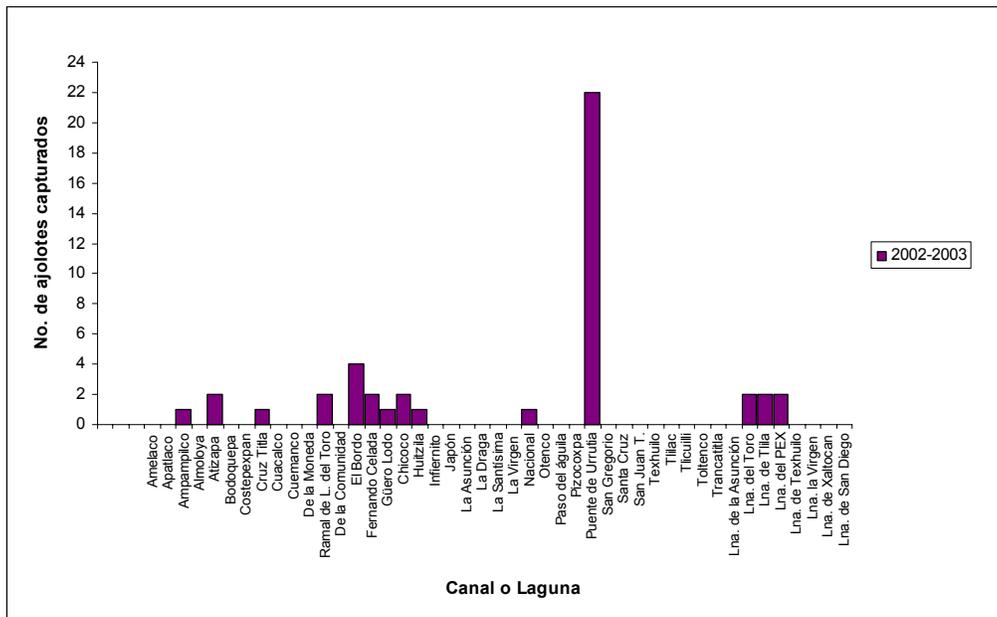


Figura 11. Sitios muestreados durante de 2002-2003, y número total de ajolotes (40) capturados en cada uno.

Con 60 muestreos totales (34 durante 2002 y 26 durante 2003), durante 16 meses de muestreo (no se muestreo de abril a agosto de 2002), se capturaron en promedio tres organismos por mes de muestreo (43 organismos colectados/16 meses de muestreo), siendo febrero de 2002 y junio de 2003 los meses más productivos (Fig. 12). En cinco meses muestreados no logró capturarse ningún ajolote (Cuadro, 6).

Cuadro 6. Número total de organismos capturados (N_{Spi}) por mes en Xochimilco y número de muestreos por mes (M_m) durante la temporada de colecta enero de 2002 a octubre de 2003. No se incluyen los 10 organismos capturados fuera del horario de colecta.

Año		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2002	N_{Spi}	1	12	3	-	-	-	-	-	0	2	1	0
	M_m	1	17	6	-	-	-	-	-	3	3	2	2
2003	N_{Spi}	-	2	1	0	1	14	-	0	6	0	-	-
	M_m	-	6	2	1	3	3	-	1	9	1	-	-

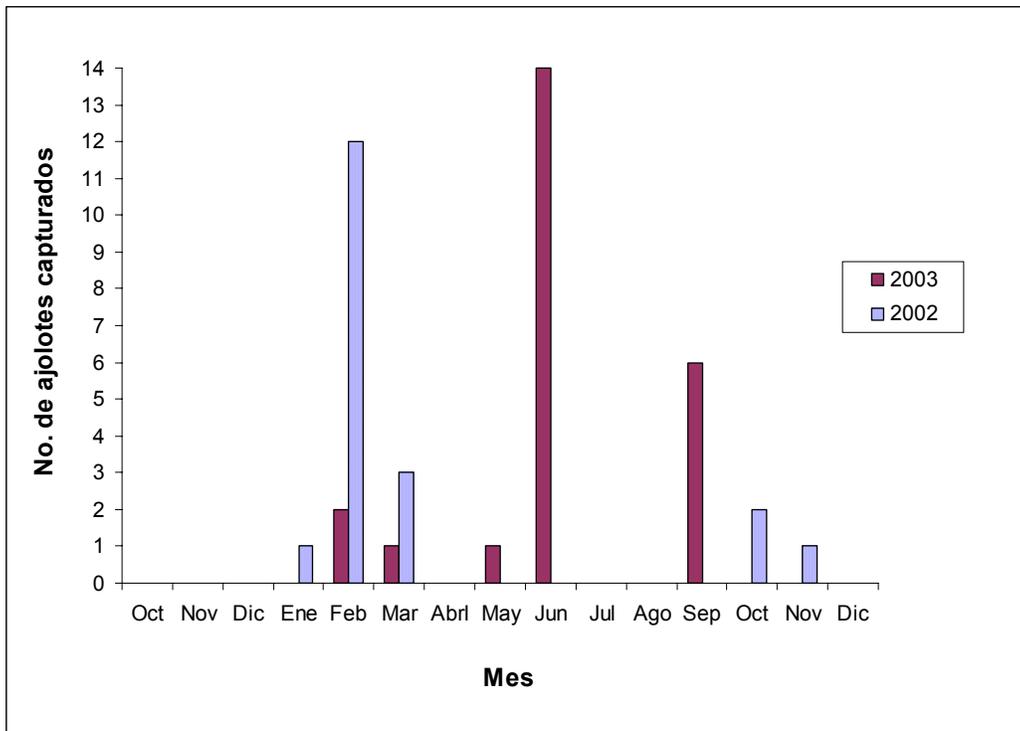


Figura 12. Ajolotes capturados por mes durante la temporada de colecta enero de 2002 a octubre de 2003 en la zona lacustre de Xochimilco.

Densidad. Para la temporada de colecta 2002-2003, se realizaron 1916 lances totales y se capturaron en los canales de Xochimilco 43 organismos dentro del horario de colecta, en 42,349.3 m² muestreados, por lo que la densidad poblacional obtenida para la especie *Ambystoma mexicanum* fue de 0.001 organismo/m² (Apéndice 2); es decir (por factor de conversión) 1 organismo/1000m² (Apéndice 2) Sin tomar en cuenta a los 10 organismos capturados fuera del horario de colecta. En el cuadro 7 se muestra la densidad poblacional para *A. mexicanum*, reportada por varios autores de 1989 al presente estudio (Apéndices).

Cuadro 7. Densidad poblacional (N_{Sp*i*}/U.A.) para *A. mexicanum*, reportada por varios autores y la misma densidad transformada (por factor de conversión), para evidenciar la cantidad de metros cuadrados que se muestrearon para capturar a un ajolote en cada época.

Referencia	Densidad [N _{Sp<i>i</i>} / U.A.]	Densidad transformada
Calderón <i>et al.</i> (1989)	0.04 org./ m ²	1 org./ 25 m ²
Graue (1992-1993)	0.01 org./ m ²	1 org./ 100 m ²
Graue (1995-1996)	0.006 org./ m ²	1 org./ 167 m ²
2002-2003	0.001 org./ m ²	1 org./ 1000 m ²

Comportamiento de la densidad poblacional. Se obtuvo la curva del comportamiento de la densidad poblacional de *A. mexicanum* para los últimos 14 años. Para ésto se usaron datos reportados por Calderón *et al.* (1989, Apéndice 5) y la densidad registrada por Graue (1998) durante su muestreo preliminar de 1992 a 1993 (Apéndice 7) y su muestreo principal de 1995 a 1996 (Apéndice 7). La baja densidad de ajolotes reportada en el presente estudio representa una reducción de la densidad poblacional en un orden de 40 veces (Fig. 13) en 14 años (1989-2003).

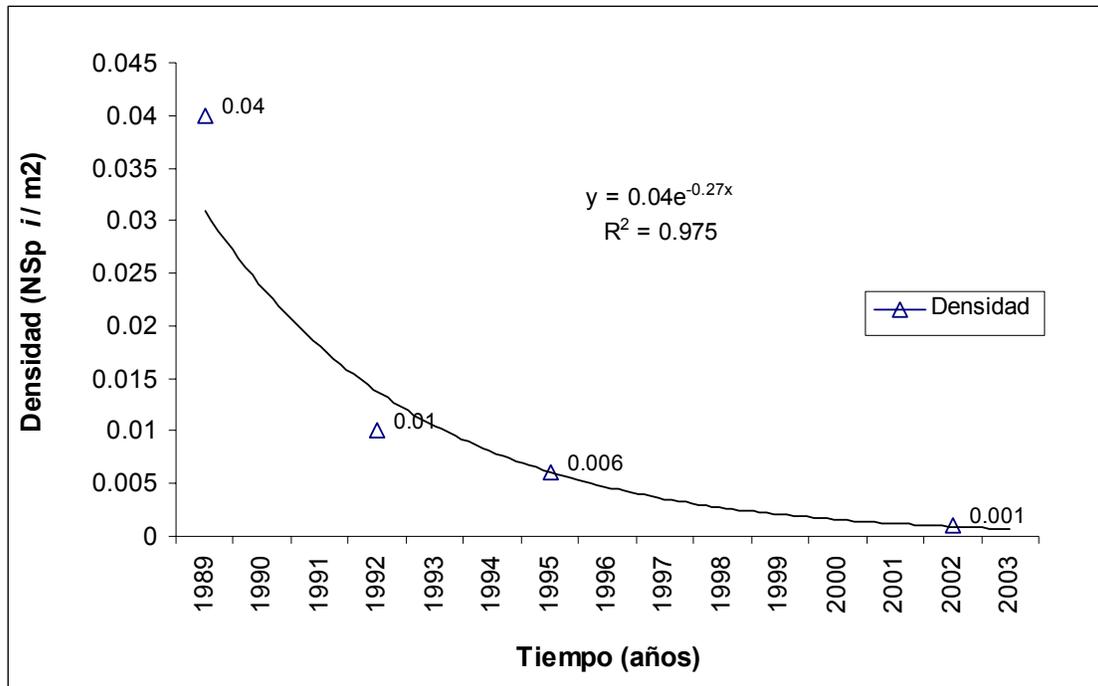


Figura 13. Densidad poblacional (N_{Sp*i*}/Unidad de área) de *A. mexicanum*, tomando como base, los datos reportados por Calderón *et al.* (1989), Graue (1992 y 1995) y la densidad poblacional calculada en el presente estudio (2002).

Esfuerzo de captura. Por otra parte el índice de esfuerzo de captura fue de 0.022 organismos/lance (Cuadro, 8). Este índice muestra por factor de conversión que deben realizarse 45 lances para obtener un organismo (Apéndice 4). Los 10 organismos capturados por pescadores locales fuera del horario de muestreo no se consideraron dentro del cálculo del esfuerzo de captura (Apéndice 4).

Cuadro 8. Número total de organismos de *A. mexicanum* (N_{Sp*i*}) capturados en diferentes estudios con respecto al número de lances totales (NLT) realizados; índice de esfuerzo de captura (organismos/lances) reportado en cada uno de estos estudios; y, cantidad de lances necesarios para capturar a un ajolote.

Referencia	[N _{Sp<i>i</i>} / NLT]	Esfuerzo de captura reportado	Esfuerzo de captura transformado
Calderón <i>et al.</i> (1989)	26/ 181	0.143 org./lance	1 org./ 7 lances
Graue (1992-1993)	25/ 122	0.2 org./lance	1 org./ 5 lances
Graue (1995-1996)	76/ 576	0.13 org./lance	1 org. / 8 lances
2002-2003	43/ 1916	0.022 org./lance	1 org./ 45 lances

Proporción de sexos. De los 53 organismos capturados en los canales de Xochimilco, durante la temporada de colecta 2002-2003 dentro y fuera del horario de muestreo, tres escaparon antes de poder identificar su sexo, y 17 organismos aún no habían alcanzado la madurez sexual (Fig. 14).

Los organismos capturados se agruparon en tres categorías:

a) Macho. Cloaca abultada semejando un ovoide, cintura no ensanchada, LHC de 7.8 cm a 25.5 cm y LT de 14 a 32 cm (Cuadro 9).

b) Hembra. Cloaca sin abultamiento, o sólo levemente, cintura con un claro ensanchamiento, LHC de los 10 cm a los 14 cm y LT de los 19 a los 26.5 cm (Cuadro 13).

c) No identificables sexualmente. No es posible identificar su sexo a simple vista, debido a que no posee características sexuales secundarias externas: labios cloacales presentes, sin abultamiento y cinturas sin ensanchamiento, característica de organismos que aún no ha alcanzado la madurez sexual (Armstrong y Malacinsky, 1989; Huacuz, 2003). Poseen una longitud de LHC mínima de 6.0 cm y una máxima de 10.0 cm; LT mínima de 10.0 cm y una máxima de 16.5 cm (Cuadros 14 y 16) y una edad de 120 a 224 días.

La proporción de machos y hembras obtenida fue de 18:15 respectivamente, lo que representa el 55 y 45% para cada categoría ($N_{Spi} = 33$). Según la prueba de χ^2 realizada ($\chi^2_{0.0165, gl = 1, P < 0.05}$) se comportan como una proporción de sexos típica 1:1. Los 17 organismos que aún no habían alcanzado la madurez sexual representan el 34% de los 50 organismos a los que fue posible registrar su sexo (Fig. 14).

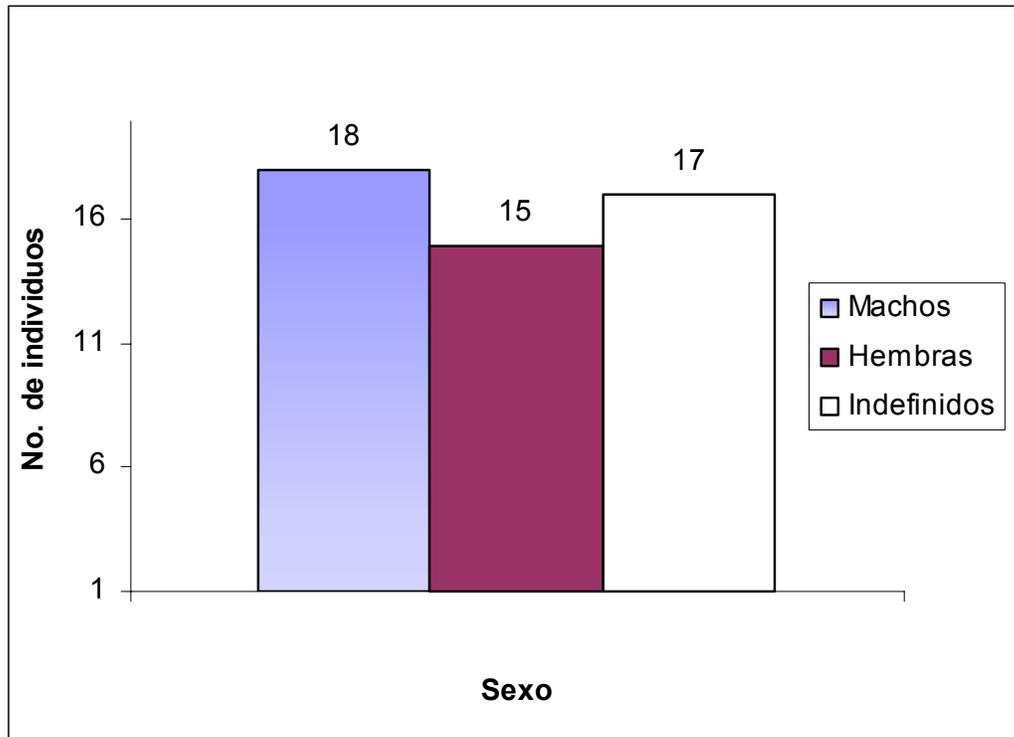


Figura 14. Proporción de sexos obtenida para *A. mexicanum*. El 55% fueron machos, el 45% hembras y 34% no se les pudo determinar su sexo por carencia de caracteres sexuales secundarios externos ($N_{Spi} = 50$).

Anatomía patológica externa. De los 53 organismos (juveniles y adultos) capturados dentro y fuera del horario de colecta (Cuadro 9), únicamente seis hembras, cinco machos y un organismo indiferenciado sexualmente, es decir el 23% de los 53 organismos capturados, mostraron alguna posible parasitosis, patología y/o malformación apreciable. Según los criterios de Maya (2003) por el tipo de lesión, extensión y gravedad de la misma. Sólo dos casos podrían considerarse de tipo severo, un macho al cual le faltaba una pata posterior, y un organismo cuyo sexo no era posible de determinar con pérdida de peso excesiva (Cuadro 9). Ningún espécimen mostró piel con zonas de aspecto algodonoso, ni ojos blanquecinos, ni branquias con manchas blancas. Tampoco presentaron zonas de piel con congestión o amoratamiento o inflamación, ni zonas necrosadas, ni laceraciones o ulceraciones. Sólo un ajolote mostró un tumor de 1 cm³, en la base de la cola (Cuadro 9) y ningún ajolote exhibió síntomas de septicemia hemorrágica como los descritos por Heralecky (1990).

De los 12 organismos que presentaban alguna anomalía, siete de estos mostraron un apéndice de 5 mm de longitud embebido en distintas partes del cuerpo (Cuadro 9), identificado como una *Lernea* (Crustácea: Copépoda) también conocidos como “gusanos ancla” (Fig. 15 c,d). Ensastigue (2003) reportó que estos copépodos parasitaban a algunos de los ajolotes que capturó en Xochimilco. En cuanto a la presencia de malformaciones anatómicas, ninguno de los 53 organismos presentaron extremidades supernumerarias, polidactilia, raquitismo en extremidades o atrofia mandibular. Sólo un ejemplar presentó fusionados los dedos dos y tres en las patas posteriores (Cuadro 9). Ningún ajolote presentó deformaciones de la columna como lordosis (encorvamiento hacia la parte ventral), xifosis (encorvamiento hacia la parte dorsal) y escoliosis (encurvamiento en forma de “s”) como lo reportado por Maya (2003). Tampoco presentaron penachos branquiales abundantes.

Cuadro 9. Lesiones externas observadas en algunos organismos de *A. mexicanum* colectados en Xochimilco. (*) Organismos colectados fuera del horario de muestreo.

Sexo	Localidad	Zona	Patología observada
M	El Bordo	III	Apéndice en la cabeza
M	L. el Toro	II	Apéndice en un costado
H	L. el Toro	II	Delgado y un apéndice en el costado
H	L. el Toro	II	Delgado y apéndice en el costado
M	PEX y Bordo	III	Tumor y apéndice en inicio de la cola
M	Ampampilco	III	Regeneraba pata posterior y apéndice en dorso
M	Chicoco	III	Delgado
H	Chicoco	III	Delgado
I	Desconocido*	-	Delgado
H	Desconocido*	-	Dedos 2 y 3 de ambas patas posteriores unidos
H	Fdo. Celada*	III	Carecía del primer dedo de pata anterior derecha
H	Nacional*	III	Carecía de todos los dedos de la pata anterior derecha y apéndice en una en las branquias

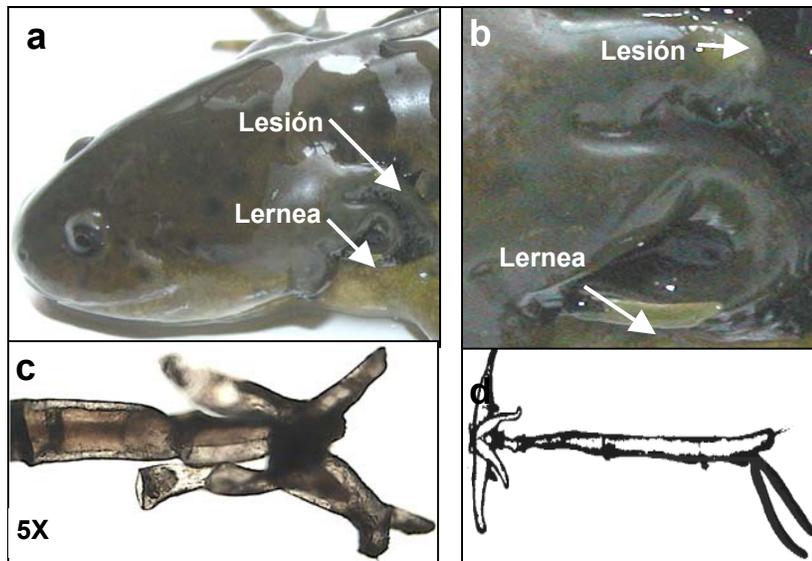


Figura 15. a) Lesión externa en la tercera agalla izquierda provocada por un gusano ancla (*Lernea sp.*) y otra *Lernea* embebida por debajo de la segunda agalla; b) imagen de a) ampliada. Se aprecia a la *Lernea sp.* embebida, y comienza a ser cubierta por piel del propio ambistómido; c) micrografía de la misma *Lernea sp.*, obtenida de la lesión a un aumento de 5X. C.C. d) Esquema de *Lernea Sp.*

Factores físico-químicos. Se registraron nueve meses (excepto enero de 2003), del 25/09/2002 al 16/06/2003, de 7:00 am a 1:00 pm, en los canales: Güero lodo, el Bordo, Cotetexpan, el Japón, la Draga, Puente de Urrutia y la laguna del Parque Ecológico de Xochimilco (PEX). No se encontraron diferencias significativas ($t_{0.05, 8} = 2.3 > t = 1.0$) entre los promedios de las lecturas a nivel superficial y de profundidad de la temperatura (Fig. 16). Ambas oscilan entre los 18 °C a los 21°C, y disminuyen en noviembre y diciembre (invierno) teniendo su pico más alto en junio (verano), lo cual se ajusta al patrón de temperatura atmosférica registrado por la estación meteorológica: ENEP1 en los últimos nueve años (Fig. 5). A pesar de su marcada oscilación a través de los nueve meses monitoreados, tampoco se encontraron diferencias significativas ($t_{0.05, 8} = 2.3 > t = 0.0003$) entre el pH del agua, a nivel superficial y de profundidad (Fig. 17) por lo que solo se muestra la recta de profundidad. Lo que ubica a la zona lacustre de Xochimilco de neutra a básica.

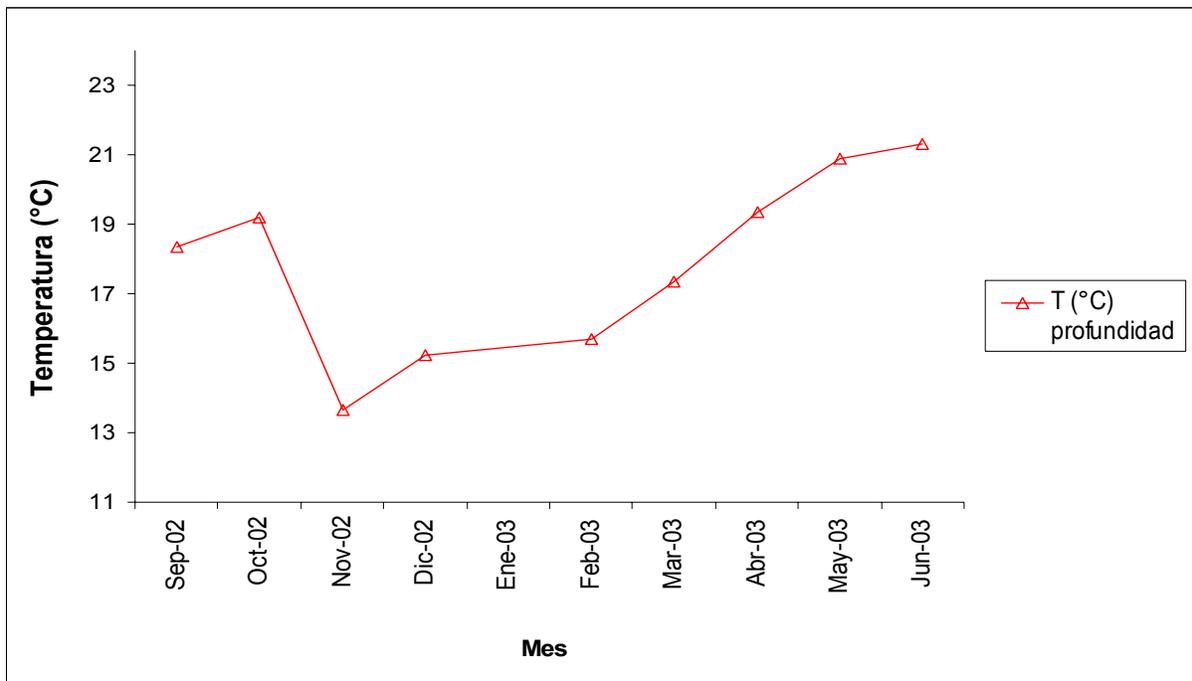


Figura 16. Comportamiento del promedio de promedios de la temperatura del agua (T en °C), de profundidad (0.4m–1.50m). Lecturas registradas a lo largo del mes en varias salidas.

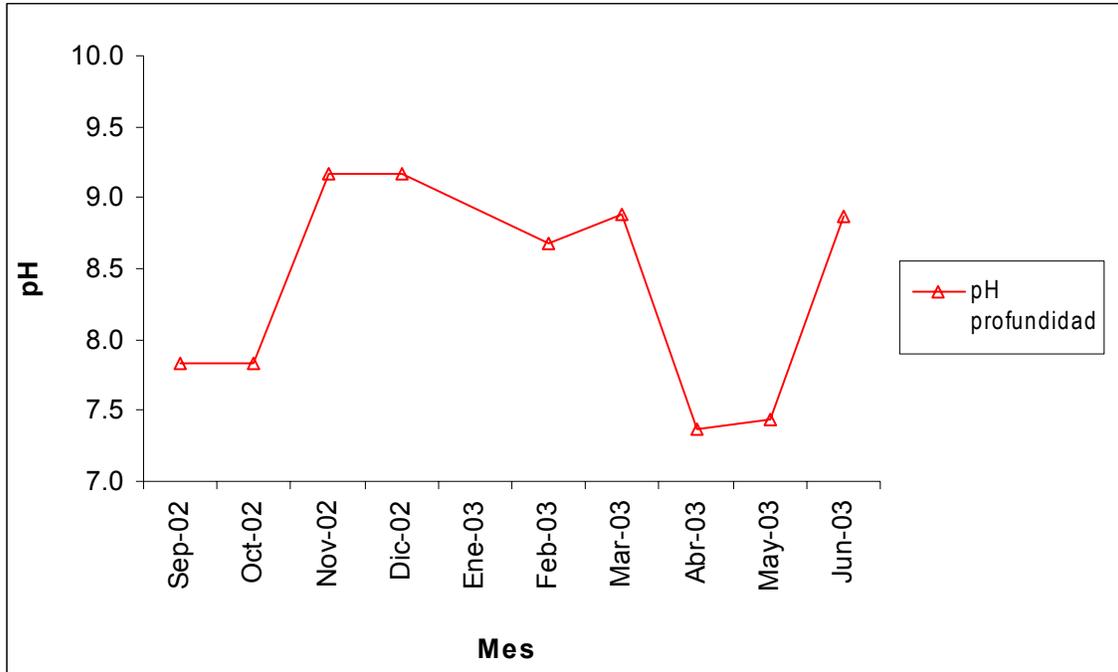


Figura 17. Comportamiento del promedio de promedios del pH del agua de profundidad (0.4m – 1.50m) Lecturas registradas a lo largo del mes en varias salidas.

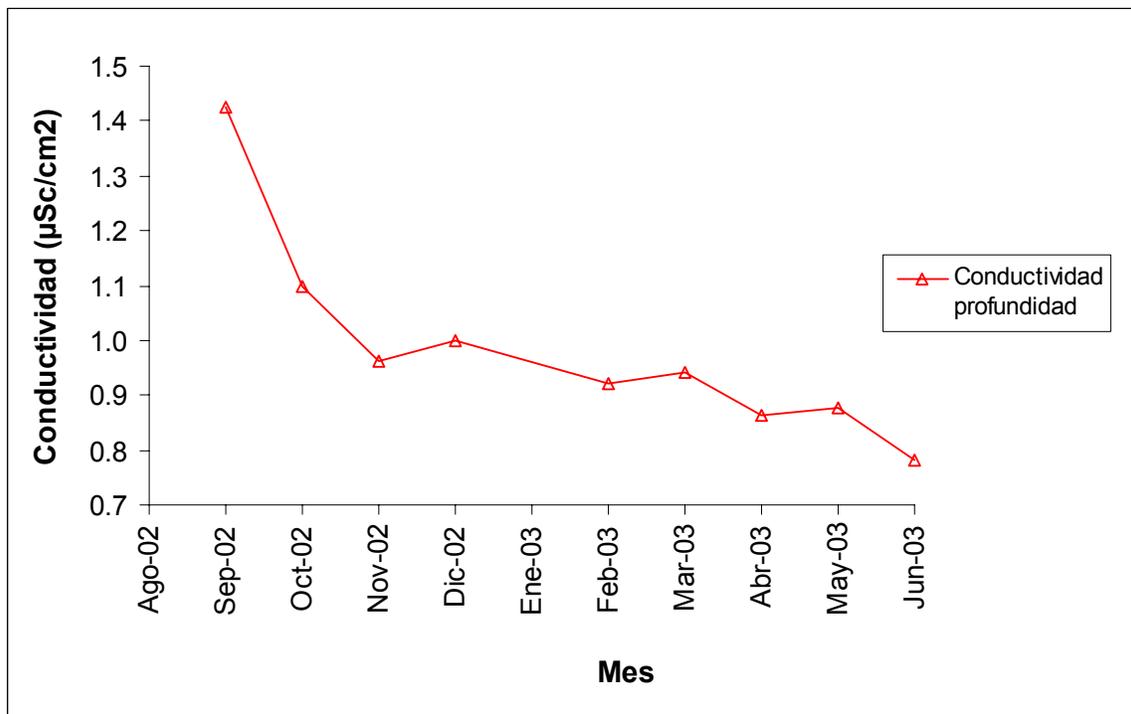


Figura 18. Comportamiento del promedio de promedios de los factores fisicoquímicos de profundidad (0.4m–1.50m): conductividad (C en µSc/cm²). Lecturas registradas a lo largo del mes en varias salidas.

No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de las lecturas a nivel superficial y de profundidad (Fig. 18) y de la conductividad ($T_{0.05, 8} = 2.3 > T = 0$) la cual se ubica dentro del intervalo de un cuerpo de agua dulce, por lo que solo se muestra la recta de profundidad (Fig. 18).

Finalmente, se proporciona el promedio anual (Cuadro 10) de los factores fisico-químicos superficiales y de profundidad monitoreados en la zona (excepto enero de 2003), del 25/09/2002 al 16/06/2003, de 7 am a 1 pm, y las lecturas superficiales y de profundidad de algunas localidades en las que se capturó ajolote (Cuadro 11).

Cuadro 10. Promedio anual de los factores fisicoquímicos: temperatura; conductividad y pH, de profundidad de la zona lacustre de Xochimilco obtenidos en el presente estudio, y referidos por varios autores para hábitats de otros ambistómidos. L = Laguna.

Localidad	Especie	Referencia	T (°C)	C ($\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$)	pH
L. Totolcinco, Tlax.	<i>A. tigrinum</i>	Montaño, 1995	18.0	-	8.9
L. Patzcuaro, Mich.	<i>A. dumerilii</i>	Huacuz, 2002	17.2	1103.1	9.4
Río Chiquito, Mich.	<i>A. ordinarium</i>	García, 2003	14.3	85.7	5.9
L. Chincua, Mich.	<i>A. rivulare</i>	Huacuz, 2003	7.3	65.0	11.3
Xochimilco, D.F.	<i>A. mexicaum</i>	2002-2003	16.2	1.0	8.4

Cuadro 11. Factores fisicoquímicos del agua: temperatura; conductividad y pH. Registrados a una profundidad de 0.4 m a 1.0 m, para cinco salidas en las que se capturó ajolote en la zona lacustre de Xochimilco.

Fecha	Localidad	Hora	Prof. (m)	T (°C)	C ($\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$)	pH
17-Oct-02	Güero lodo	09:55am	1.0	19.6	0.90	8.3
25-Oct-02	P. de Urrutia	12:36 pm	0.6	17.6	0.84	7.5
20-Nov-02	El bordo	09:24 am	0.9	14.3	0.80	9.8
22-Feb-03	Celada-el Toro	10:00 am	0.5	13.7	0.93	8.1
07-Mar-03	P. Urrutia	09:21 am	0.8	16.5	0.94	8.9

Esqueletocronología (establecimiento de la edad). De los 53 ejemplares capturados en los canales de Xochimilco, a siete organismos no fue posible amputarles los dedos. Con los dedos obtenidos, se obtuvieron en total 250 preparaciones histológicas, cerca de ocho preparaciones por ajolote (Fig. 19). El método esqueletocronológico implementado en el presente estudio permitió evidenciar e identificar satisfactoriamente en cada sección, cada una de las estructuras óseas presentes en ella (Figs. 19-22).

Debido a que se trata de una especie en peligro de extinción y a que el daño extensivo que se le ocasionaría a cada organismo podría ocasionarle la muerte, no se analizaron otras piezas óseas como el fémur, húmero o vértebras. Ninguno de los organismos colectados dio indicios de haber sido colectado previamente.

Para evitar comparar secciones de distintas falanges, con distinto grado de depositación de tejido óseo, la comparación se realizó utilizando solo algunas de las primeras 20 secciones transversales de 5 a 10 μ cada una en la parte inicial de la falange metacarpal, del segundo dedo de una de las patas anteriores (Fig. 10). El material óseo denso presente en las secciones transversales observadas, posee el arreglo típico del material óseo denso a manera de anillos reportado por Russell *et al.* (1996) en secciones transversales de las falanges de *Ambystoma macrodactylum*. De la misma manera, todas las secciones transversales de *A. mexicanum* presentan una zona central de material cartilaginoso hialino teñido de azul-violeta por la hematoxilina (Fig. 19), constituida por una abundante matriz extracelular con ausencia de capilares sanguíneos pero repleta de cavidades conocidas como lagunas, en las que se ubican los condrocitos, característico del tejido cartilaginoso (Figs. 19-22). Se puede presentar o no cavidad medular en la parte central del tejido. La presencia de médula ósea implica la destrucción del tejido cartilaginoso y su paulatina sustitución por hueso denso (Figs. 19-22). En la periferia, fuera de la zona cartilaginosa, se observa un anillo de hueso denso, constituido por material

calcificado afín a la eosina que le confiere una coloración rosa, y que se caracteriza por la presencia de varias lagunas óseas en donde se alojan los osteocitos, células características del tejido óseo (Figs. 19, 20 y 22).

En organismos adultos la anchura del anillo óseo era variable, presentándose en ocasiones de manera heterogénea y discontinua (Figs. 20, 22). En organismos juveniles (Cuadros 14 y 16), ya que no presentaban caracteres sexuales secundarios y que Armstrong *et al.* (1989) considera no sobrepasan los 18 meses de edad, el centro cartilaginosa ocupa la mayor parte de la sección, mientras que el anillo de hueso denso solo alcanza un ligero grosor que en la mayoría de estos organismos es casi imperceptible (Fig. 21).

En organismos adultos de *A. mexicanum* (Cuadros 14 y 16) con caracteres sexuales secundarios, la zona cartilaginosa ocupa una menor proporción en la sección (Fig. 19, 20, 22), y el anillo de hueso denso posee un mayor grosor con respecto a los organismos juveniles (Fig. 20 y 22). En varios adultos, los anillos de hueso denso se mostraban irregulares, discontinuos y resultaba complicado diferenciar donde comenzaba un anillo de crecimiento y donde terminaba el otro (Fig. 22a, b), impidiendo datar con exactitud la edad de cada organismo. Sin embargo, la edad se estimó con el modelo de Von Bertalanffy (Fig. 23), en función de la longitud hocico cloaca de cada organismo (Cuadro 13).

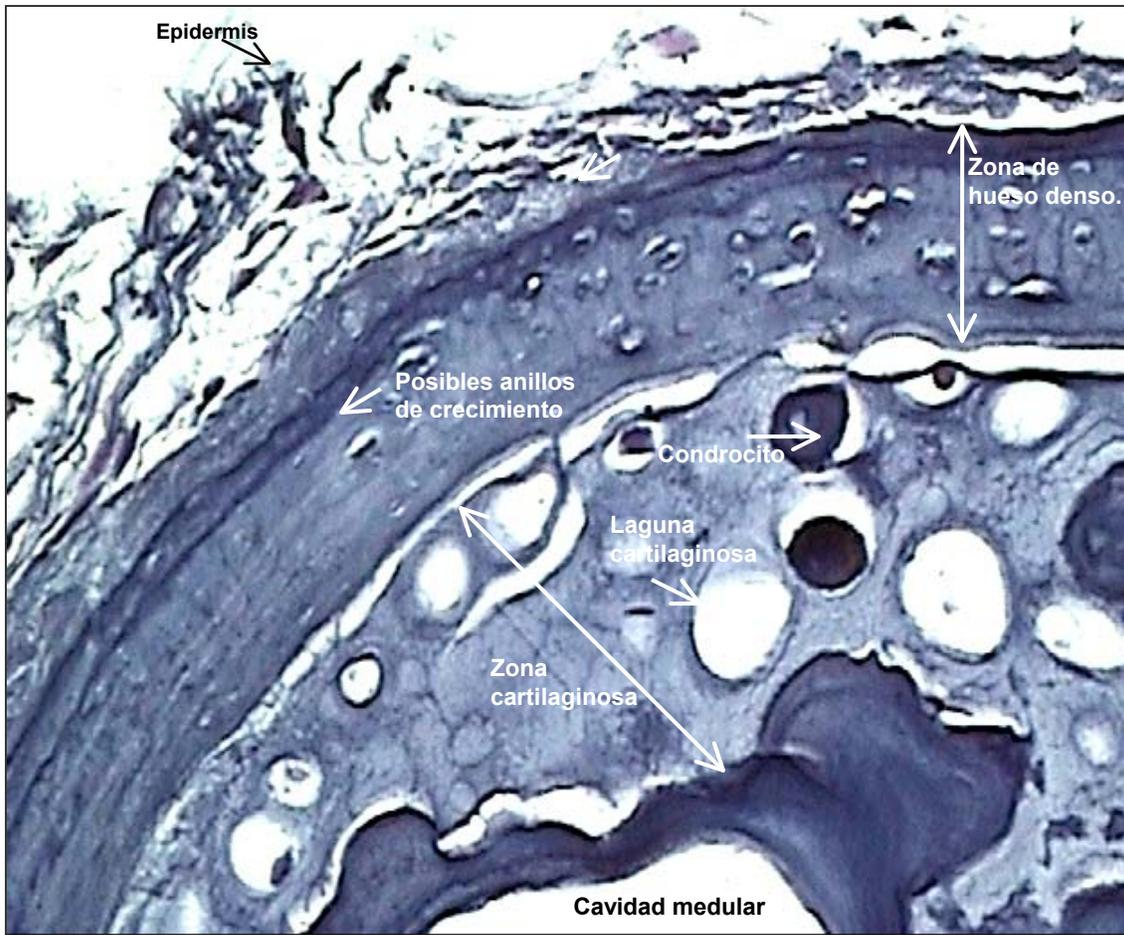


Figura 19. Sección transversal de una falange del segundo dedo de la pata anterior de un organismo adulto de *Ambystoma mexicanum* teñido con Hematoxilina-Eosina, visto a un aumento de 20X. Las flechas señalan las distintas estructuras óseas y esqueléticas presentes en la muestra.

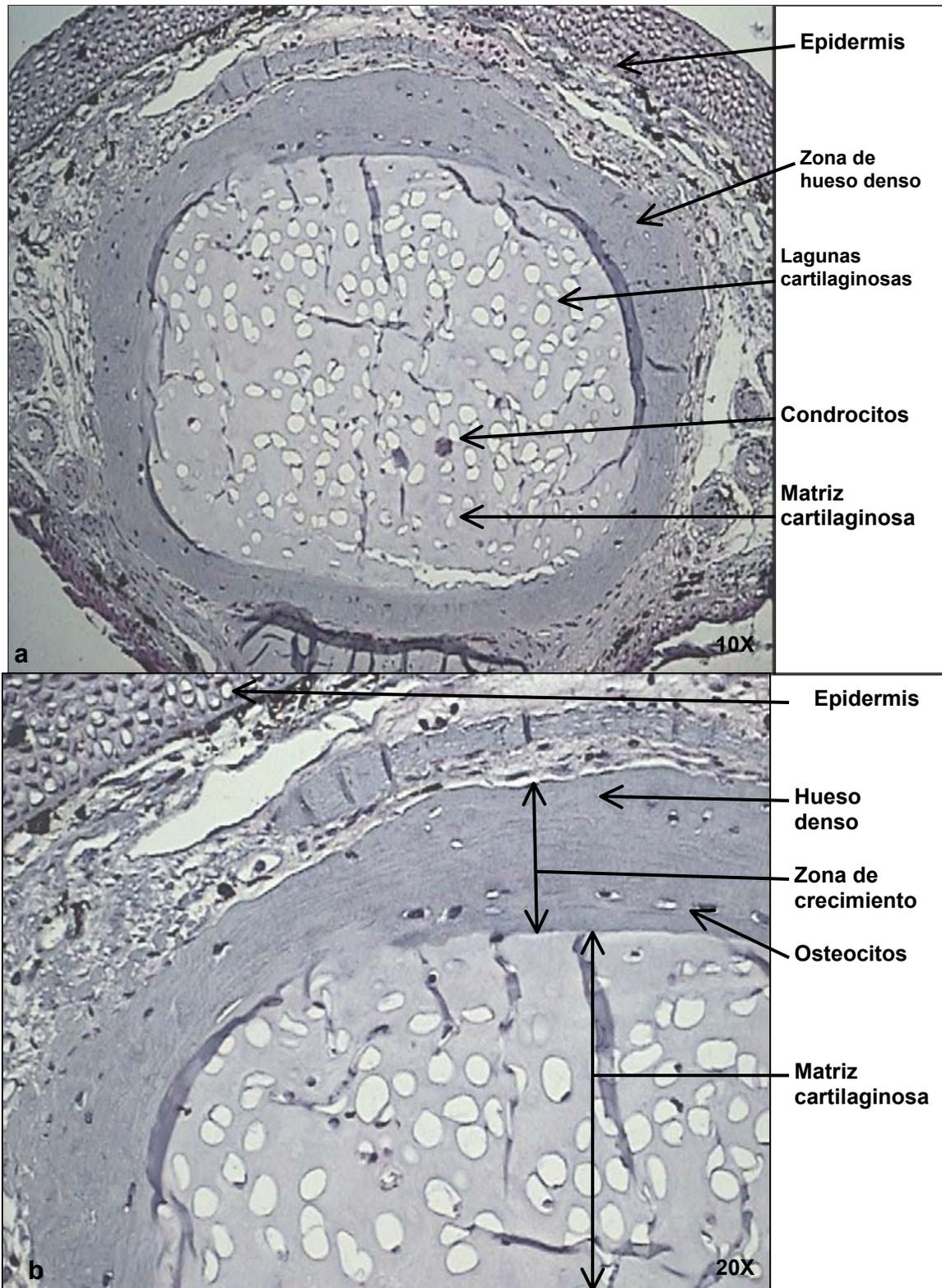


Figura 20. Sección transversal de 5µm de una falange de un macho (de 560 días de edad, según el modelo de Von Bertalanffy) de la especie *A. mexicanum* teñido con Hematoxilina–Eosina. Micrografías a) 2002-1-1-10X. C.C.-2. y b) 2002-1-1- 20X. C.C.-3.

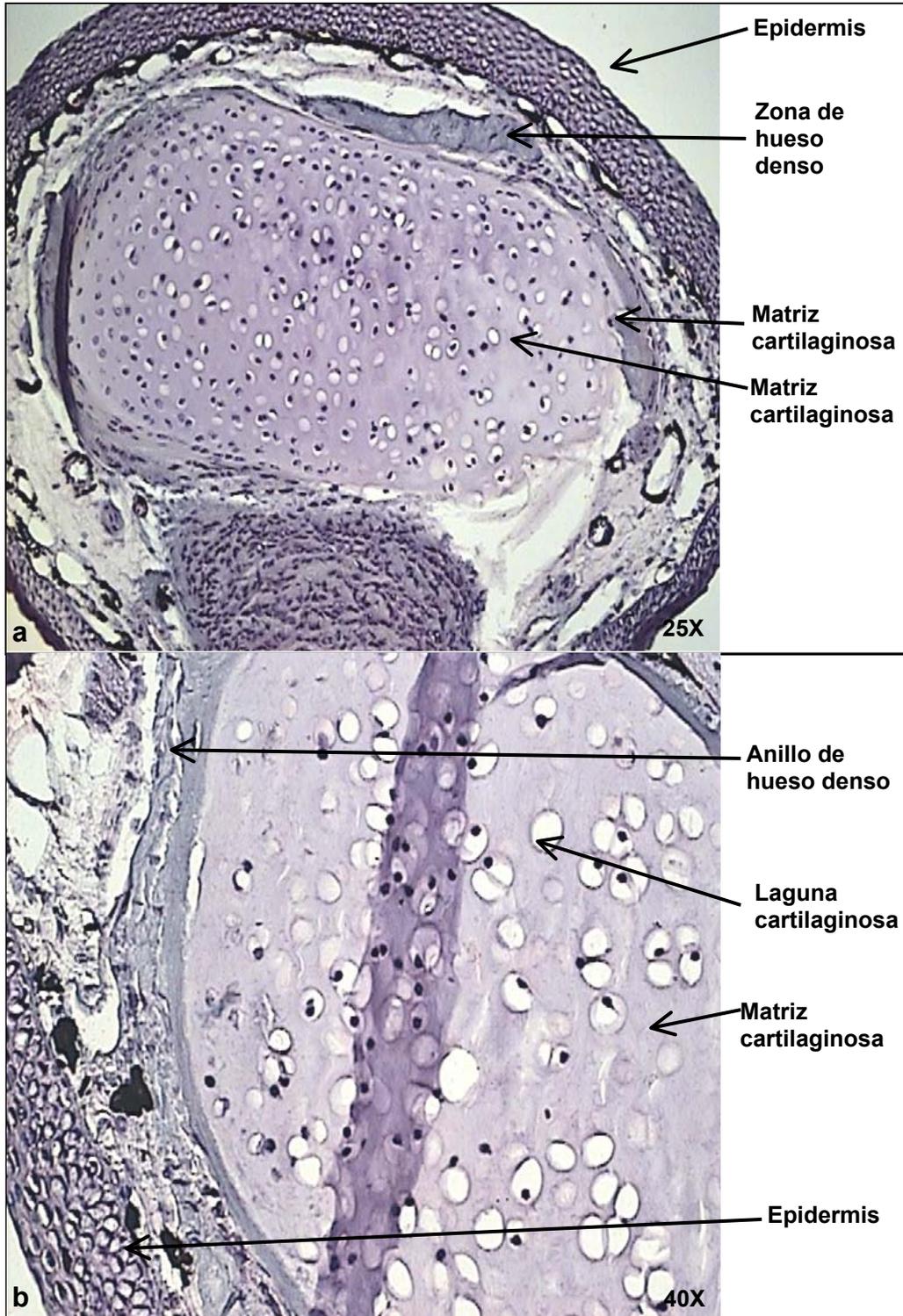


Figura 21. Sección transversal de 5 μ m de una falange de un juvenil no identificable sexualmente (de 120 días de edad, según el modelo de Von Bertalanffy) de la especie *A. mexicanum* teñido por Hematoxilina–Eosina. Micrografías a) 2002-4-/ 1. 25X. C.C. 1. y b) 2002-4-/ 1. 40X. C.C. 2.

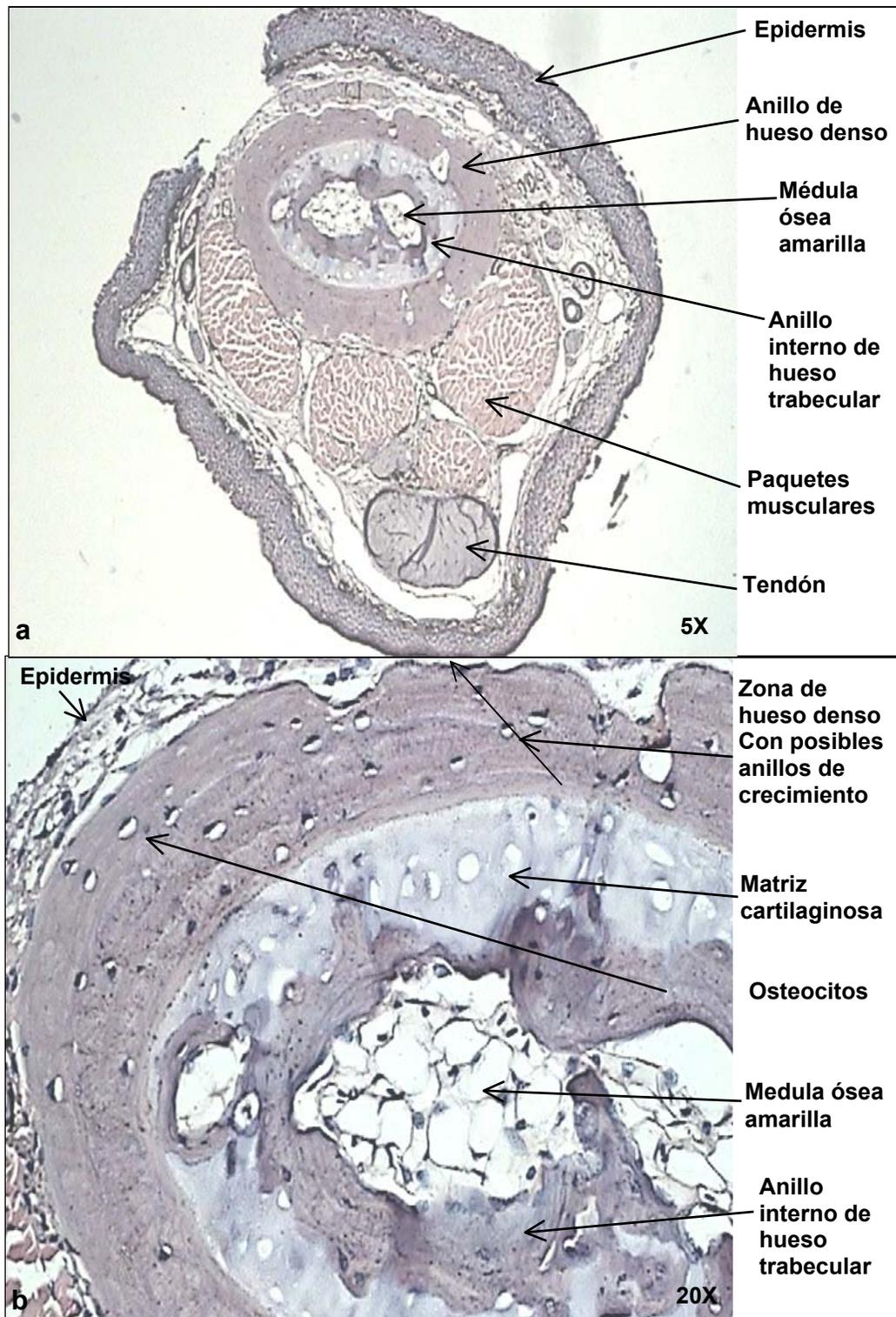


Figura 22. Sección transversal de 5 μ m de una falange de una hembra de (de 492 días de edad, según el modelo de Von Bertalanffy) de la especie *A. mexicanum*, teñido por Hematoxilina – Eosina visto a un aumento de 5X y 20X respectivamente. Micrografías: a) 2003-5-2-5X.C.C.-2. b) 2003-5-2-20X.C.C.-1

Cuadro 12. Edad máxima reportada (en años) para varios ambistómidos norteamericanos en condiciones naturales estimada por su talla (¹), datada por esqueletocronología (²), o registrada en condiciones experimentales (³) según lo reportado por varios autores.

Especie	Edad	Referencia
<i>Ambystoma tigrinum tigrinum</i> ¹	3	Semlitsch (1983)
<i>Ambystoma macrodactylum krausei</i> ²	10	Russell <i>et al.</i> (1996)
<i>Ambystoma tigrinum mavortium</i> ²	2	Larson <i>et al.</i> (1999)
<i>Ambystoma californiense</i> ²	10	Trenham <i>et al.</i> (2000)
<i>Ambystoma macrodactylum krausei</i> ³	5	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma macrodactylum sigillatum</i> ³	5	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma texanum</i> ³	5	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma opacum</i> ³	4	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma talpoideum</i> ³	2	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma maculatum</i> ³	25	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma tigrinum</i> ³	10	Carey y Judge (2000)
<i>Ambystoma tigrinum</i> ³	25	Carey y Judge (2000)

Diferencias entre medidas biomorfométricas. Las pruebas estadísticas de Levene y de Kolmogorov-Smirnov mostraron respectivamente que los datos morfometría de los 52 organismos medidos poseían homogeneidad en sus varianzas y se comportaban de manera normal (Kolmogorov-Smirnov; $p = 0.001$). El análisis de varianza (ANOVA) demostró que existían diferencias significativas en las medidas morfométricas entre machos, hembras y organismos no identificables sexualmente de *A. mexicanum* [longitud total ($F_{2, 47} = 49.8$; $p < 0.0001$), longitud hocico cloaca ($F_{2, 47} = 22.0$; $p < 0.0001$), longitud de la cola ($F_{2, 47} = 37.6$; $p < 0.0001$), masa ($F_{2, 47} = 46.25$; $p < 0.0001$); Cuadro 13]. La prueba post hoc de Tukey para determinar entre que sexo existen dichas diferencias, mostró que sólo los organismos no identificables sexualmente difieren de machos y de hembras en la longitud total ($T = 0.945$; $p = 0.0001$), longitud hocico cloaca ($T = 0.829$; $p = 0.0001$), longitud de la cola ($T = 0.957$; $p = 0.0001$) y la masa ($T = 0.416$; $p = 0.0001$) mientras que machos y hembras no difieren entre si, en sus medidas morfométricas [longitud total ($T = 0.0$; $p = 0.0001$), longitud hocico cloaca ($T = 0.0$; $p = 0.0001$), longitud de la cola ($T = 0.0$; $p = 0.0001$), y la masa ($T = 0.0$; $p = 0.0001$)]. En el

cuadro 14 se cotejan las medidas morfométricas registradas en este trabajo, con respecto a las reportadas por varios autores en estudios previos.

Cuadro 13. Promedio; desviación estándar; máximo y mínimo de las medidas morfométricas (cm): longitud total (LT); longitud hocico-cloaca (LHC); longitud de la cola (LC) y masa (g), de machos (18), hembras (15) y no identificables sexualmente (17) de *Ambystoma mexicanum* (N= 52).

	Machos				Hembras				no identificables			
	\bar{X}	S	Max	Min	\bar{X}	S	Max	Min	\bar{X}	S	Max	Min
LT	23.1	4.2	32.0	14	22.8	2.4	26.5	19.0	13.8	2.2	16.5	10.0
LHC	12.6	3.8	25.5	7.8	12.1	1.4	14.0	10.0	7.5	1.2	10.0	6.0
LC	10.5	2.1	13.0	6.2	10.7	1.4	13.5	9.0	6.4	1.3	8.0	3.7
Masa	86.7	29.2	129	30.0	96.9	23.2	132.0	55.8	25.9	13.2	49.0	8.0

Cuadro 14. Promedio; desviación estándar; máximo y mínimo de las medidas morfométricas (cm): longitud total (LT); longitud hocico-cloaca (LHC) únicamente para adultos maduros sexualmente (machos y hembras), de *Ambystoma mexicanum* según lo reportado por varios estudios.

Referencia	Medida	\bar{X}	S	Max	Min
Calderón <i>et al.</i> (1989)	LHC	10.4	13.0	9.0	10.4
	LT	11.1	14.5	5.0	11.1
Graue (1998)	LHC	12.4	1.1	14.4	10.2
	LT	-	-	-	-
Ensastigue (2003)	LHC	13.0	-	-	-
	LT	22.0	-	-	-
Presente estudio	LHC	19.9	5.2	32	10
	LT	10.7	3.3	25.5	6

Relación talla-edad. La relación talla-edad se estimó con la longitud total de 52 de los 53 ajolotes capturados en Xochimilco durante la temporada 2002-2003 dentro y fuera del horario de colecta (un organismo escapó antes de tomar su morfometría). Con base en la LT se realizó una extrapolación con respecto a la edad aproximada que tendría cada organismo expresada en días (Fig. 23), tomando como base la curva de crecimiento de Von Bertalanffy obtenida en condiciones experimentales para la misma especie por Prado (1996, en Zambrano, 2004) con los siguientes parámetros:

$$L(t) = 35 \left[1 - e^{-0.0029(t-3.95)} \right]$$

Donde: $L_{\infty} = 35$ cm; $-K = 0.0029$; $t_0 = -3.95$ cm (Zambrano, 2004).

A la proyección obtenida con el modelo de Von Bertalanffy se le sobrelaparon los valores de LT de cada uno de los organismos capturados ubicando su posición en la proyección de Von Bertalanffy (Fig. 23) estableciendo su edad probable. El índice de Pearson entre la longitud total (LT) y la edad calculada para los 52 organismos medidos fue de $r = 1.00$ (Fig. 23). Lo mismo sucedió cuando se realizó el mismo análisis separando a los machos ($r = 0.97$; $r^2 = 0.94$), las 15 hembras ($r = 0.82$; $r^2 = 0.67$) y los organismos no identificables sexualmente ($r = 0.85$; $r^2 = 0.72$).

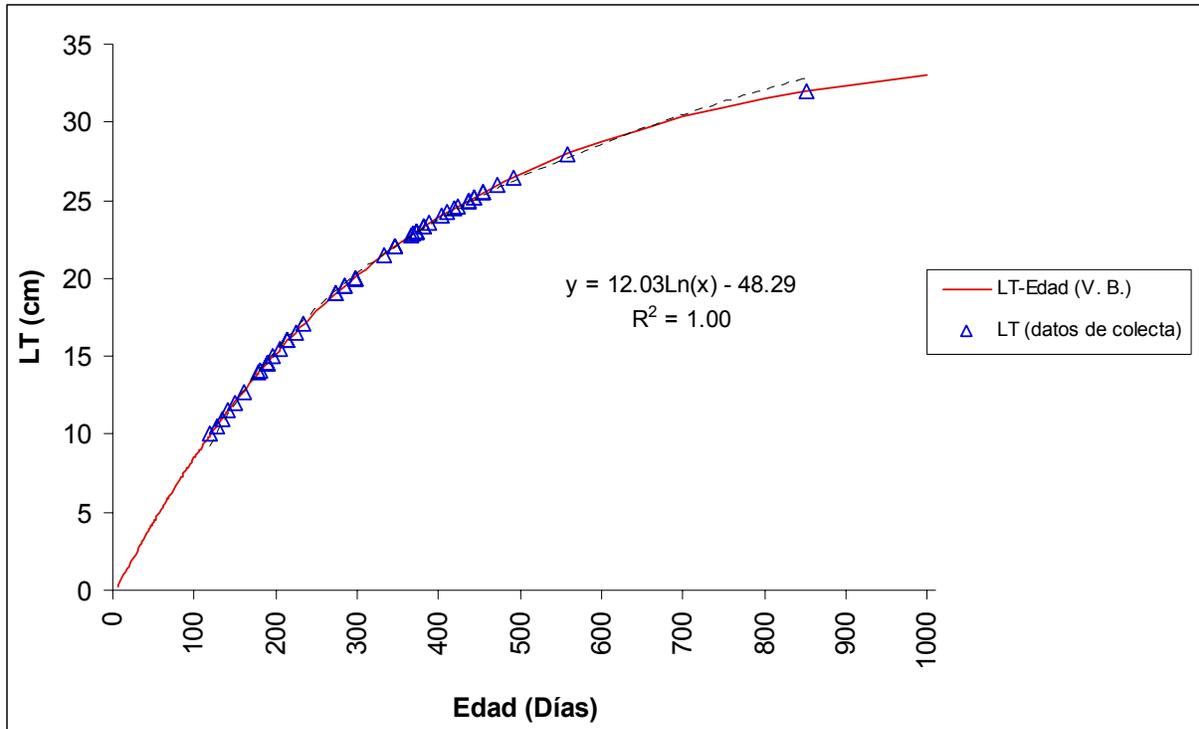


Figura 23. Edades expresadas en días de los organismos capturados durante la temporada de colecta 2002-2003 en Xochimilco sobrelapados en la curva de crecimiento obtenida por Prado (en Zambrano, 2004).

Estructura de edades de la población. Al estimar la edad de cada organismo capturado con la extrapolación LT-Edad en el modelo de Von Bertalanffy (Fig. 23), fue posible construir la estructura de edades de la población (Fig. 24). La edad promedio de la población fue de 10 meses (313 días) indicando que la población es joven. El 96% de los organismos capturados (50) de los que fue posible determinar su edad (Fig. 23 y 24), se ubicaron entre los 120 y 500 días de edad. Solo un organismo alcanzó una edad estimada de 559 días y otro, de 852 días (Fig. 24; Cuadro 15). No se encontraron diferencias significativas entre el promedio de las edades de machos y hembras (Cuadro 15) de *A. mexicanum* ($T_{0.05, 31} = 2.0 > T = 0.3$), aunque sus varianzas presentaron heteroscedasticidad ($F_{0.05, 17, 14} = 2.33 < F = 3.87$) (Zar, 1996; Zar, 1999).

Cuadro 15. Estimación de la edad para machos (18), hembras (15) y organismos no identificables sexualmente (17) de *A. mexicanum* calculada en función de curva de Von Bertalanfy generada por Zambrano (2004). Edad media total de la población = 313 días.

Edad (días)	Machos				Hembras				No identificables			
	\bar{X}	S	Max	Min	\bar{X}	S	Max	Min	\bar{X}	S	Max	Min
	391	147	852	181	372	68	492	274	179	34	224	120

La distribución en las frecuencias de edad no contempla las categorías de organismos menores de 6 cm de longitud hocico cloaca (Fig. 24). Esto puede deberse a que organismos de estas tallas poseen menores probabilidades de ser capturados por la de la luz de malla (1/2 pulgada) de la atarraya con la que se realizó la colecta.

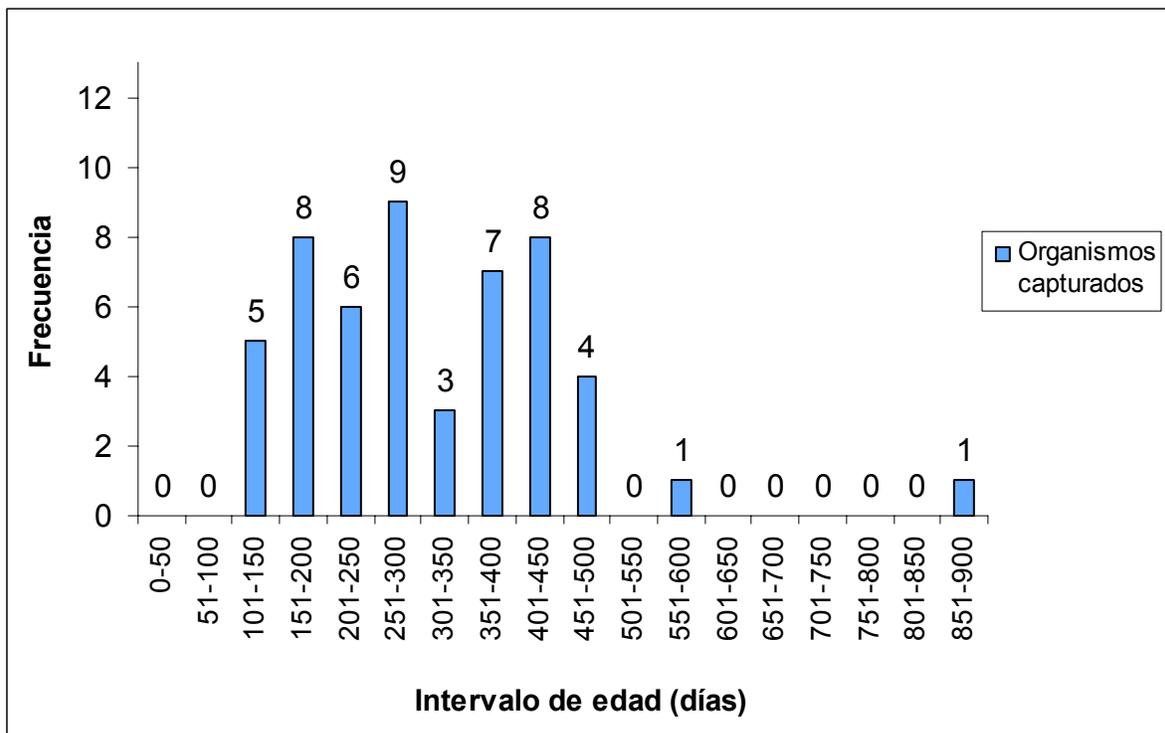


Figura 24. Categorías de edad (expresada en días) de los organismos de *A. mexicanum*.

DISCUSIÓN

Densidad y área muestreada

A pesar de que se han generado miles de investigaciones a nivel experimental sobre el ajolote *Ambystoma mexicanum*, son escasas las investigaciones que se han realizado sobre la demografía básica de sus poblaciones naturales. Los principales trabajos previos con los que es posible comparar los resultados de densidad poblacional de *Ambystoma mexicanum* obtenidos en el presente estudio son los de Calderón *et al.* (1989) y Graue (1998). Durante su investigación Graue (1998) realizó dos muestreos, uno preliminar durante 10 meses de muestreo (agosto de 1992 a mayo de 1993), consideró 20 “estaciones” de colecta, y capturó 25 organismos en 2,375 m² muestreados (0.2 has), con lo que se calcula una densidad poblacional para *A. mexicanum* de 0.01 organismo/m² (1.0 organismo/100 m². Apéndice 7). Durante su muestreo, principal (octubre de 1995 a septiembre de 1996), capturó 76 ajolotes, en 11404.8 m², en 12 estaciones de colecta. Reportó una densidad poblacional para la especie de 0.006 organismo/m² (Apéndice 7 b). Unificando ambos muestreos, en total la autora muestreó durante 22 meses, abarcando 13,779.8 m².

En el presente estudio, durante la temporada de colecta 2002-2003 (con 52 salidas en 16 meses de muestreo), se muestrearon 4.5 has (44, 991 m²), que representa el 0.20% del área de los canales (Farías, 1984). Nuestro estudio abarcó 31,211 m² más que la totalidad de área muestreada por Graue (1998) y cuadruplicamos además el número de localidades muestreadas, con 44 sitios (Cuadros 4 y 5). A pesar de esto, sólo capturamos 43 ajolotes (sin contar los 10 capturados por pescadores fuera del horario de colecta), 57% menos que los 101 ajolotes capturados por Graue (1998) durante toda su investigación.

Con los datos cuantitativos reportados por Calderón *et al.* (1989) se calculó una densidad poblacional para *A. mexicanum* de 1 organismo/50 m², (Apéndice 5). Para 1993 disminuyó a 1

organismo/100 m² (Graue, 1998; Apéndice 7) y continuó disminuyendo para 1996 a 1 organismo/167 m² (Graue, 1998; Apéndice 7). Finalmente para el 2003 disminuyó a 1 organismo/1000 m² (Apéndice 2). La tendencia negativa en la densidad poblacional de *A. mexicanum*, dentro del intervalo 1989-2003 (Fig. 13) muestra que la especie en condiciones naturales se encuentra en los niveles de densidad poblacional más bajos de los últimos 14 años, disminuyendo drásticamente. Esto acentúa la urgente necesidad de proponer un plan de manejo para la especie y medidas para la restauración de su hábitat. Considerando que *A. mexicanum* es una especie en peligro de extinción se recomiendan estudios demográficos cada cinco años los cuales reporten detalladamente la evolución del estado de conservación de esta especie en condiciones naturales, como sucede para *A. macrodactylum* de Alberta California E.U. (Graham y Powell, 1999).

Cabe mencionar que 18 de las 20 localidades muestreadas por Graue (1998) durante su estudio preliminar (1992-1993) y cada una de las 12 localidades de su muestreo principal (1995-1996) fueron consideradas en el presente estudio; sin embargo, la densidad poblacional obtenida por la autora en su investigación no incluye al canal Puente de Urrutia, sitio en el cual en nuestro estudio se capturaron 22 ajolotes (51%) de los 43 capturados dentro del horario de colecta, situándose como el sitio más abundante de toda la zona lacustre de Xochimilco (Fig. 11). En dicho sitio, 20 ajolotes fueron capturados aleatoriamente en dos días de colecta: 14 organismos el 16 de junio de 2003, y 6 organismos el 12 de septiembre de 2003. Esta cifra es significativa si la comparamos con la colecta en los principales canales y lagunas de mayor tamaño (Cuemanco, Japón, Nacional, el Bordo, la Asunción, la Virgen, entre otros) en los que sólo se capturaron uno o dos organismos como máximo durante toda la temporada de colecta. Además, en 30 sitios (25 canales y 5 lagunas) que representan el 68% de los 44 muestreados, no se capturó ningún ajolote (Cuadros 4, 5 y Fig. 12). De la misma manera Graue (1998), no logró capturar ningún ajolote en 9

de sus 20 estaciones de colecta durante su muestreo preliminar, distinguiendo áreas de mayor y menor concentración de ajolotes en la zona lacustre, fenómeno que explicó debido a la contaminación asociada a la zona urbana y agrícola. Estudios genéticos podrían determinar si existen cohortes aisladas entre sí dentro de los 189 Km de canales y lagunas de la zona lacustre (Fariás, 1984), y si dicho aislamiento ha afectado el flujo génico de la población de *Ambystoma mexicanum* lo que provocaría pérdida de la variabilidad genética. Esto fue advertido por Graue (1998) durante su estudio electroforético realizado entre 1992-1993.

Los 21 ajolotes restantes excluyendo a los capturados en Puente de Urrutia (Cuadros 4 y 5) fueron capturados únicamente en 11 canales (31% de los 36 muestreados) y tres lagunas (37.5% de las ocho lagunas muestreadas; Cuadro 5). No se consideran los siete organismos capturados fuera del horario de muestreo, de los cuales se desconoció su sitio de colecta (Cuadro 4). Ningún otro estudio previo en los que se realizaron muestreos directos se obtuvo tal cantidad de organismos en una sola localidad como fue en Puente de Urrutia (Beltran, 1987; Calderón *et al.*, 1989; Vergara, 1990; Heralecky, 1990; Graue, 1998; Ensastigue, 2003). Por esta razón, si se excluyera a la localidad Puente de Urrutia de los muestreos (tanto el número de lances realizados y la cantidad de organismos capturados ahí), por considerarla un “out layer”, la densidad poblacional obtenida en este estudio para la zona lacustre de Xochimilco entre 2002 y 2003 sería de 0.0005 organismo/m²; es decir (por factor de conversión) 1 organismo/2000 m² (Apéndice 3). Este valor indica que la densidad poblacional de *Ambystoma mexicanum* ha disminuido drásticamente.

La abundancia de *Ambystoma mexicanum* en el canal Puente de Urrutia puede atribuirse a las características del mismo. Probablemente por tratarse de un canal cerrado fue donde se colectó el menor número de los peces exóticos carpa y tilapia (Valiente-Riveros, 2006). No es un canal turístico ni posee la afluencia de tránsito que presentan los canales principales pues se

encuentra alejado de estos (Figs. 3 y 4). Se ubica en la zona semiurbana según los criterios de Bojórquez (1994) y las chinampas que lo rodean se utilizan principalmente para el cultivo de plantas de ornato y hortalizas. Los factores físico-químicos de esta localidad se comportan de manera similar a los de las demás zonas del lago (Cuadro 11; Zambrano, 2004). Puente de Urrutia es un canal aislado que le permitiría a *A. mexicanum* tener las condiciones necesarias para llevar a cabo su desarrollo y llegar a la edad adulta.

La densidad poblacional obtenida en el presente estudio de 1 organismo/1000 m² (Apéndice 2) tiene un orden de magnitud menor, en comparación a la registrada para otras poblaciones de ambistómidos mexicanos y norteamericanos en condiciones naturales. *Ambystoma rivulare*, en la reserva de la Biosfera de la sierra de Chincúa Mich., es considerada en la actualidad como una población estable de ambistómidos y de las mejor conservadas. Se ubica en un área sin signos aparentes de perturbación, y posee una densidad de 2 organismos/m², llegándose a encontrar en un día de muestreo hasta 46 organismos en un solo remanso. García (2003 b), reportó una densidad de 0.895 organismo/m² para *Ambystoma ordinarium* en el municipio de agua Zarca, Morelia, Mich., hábitat que presentaba perturbación moderada. Montaña (1995) en un muestreo aleatorio reportó haber colectado 136 organismos de *A. tigrinum* con red de arrastre en un año de colecta, en la laguna de Totolcingo Tlaxcala. Shaffer (1989) mencionó que los ambistómidos en condiciones óptimas pueden alcanzar densidades altas como *A. tigrinum* en el lago de Atexcac, en Puebla, con una densidad de 10 organismos/m². Para los ambistómidos norteamericanos, Trenham *et al.* (2000) mencionó que en siete años que abarcó su muestreo, capturó 2552 organismos de *A. californiense* en un sistema de 12 charcas en donde la principal poseía un área 700 m².

Al graficar la frecuencia de ajolotes capturados anualmente y comparándolos con el muestreo anual realizado por Graue entre 1995-1996, se evidencia la disminución en la

abundancia de los ajolotes capturados por mes a lo largo del año (Fig. 12). Mientras que Graue (1998) capturaba en promedio seis ajolotes por mes en sus estaciones de colecta, en el presente estudio sólo lograron capturarse en promedio tres organismos mensualmente en 2002 y cuatro en 2003. Además, en cinco meses no logramos capturar ningún organismo, a pesar de haberse realizado ocho muestreos durante los mismos (Cuadro 6; Fig. 12).

Los parámetros demográficos de las poblaciones periféricas a Xochimilco, como Tláhuac, Chalco y Mixquic son prácticamente desconocidas. Todos los estudios anteriores (Calderón y Rodríguez, 1986; Smith, 1989a; Calderón, 1989; Sánchez *et al.*, 1995) así como el presente estudio se centran en la zona lacustre de Xochimilco y sólo reportan la presencia de esta especie en las otras zonas (Zambrano, 2004).

Finalmente, hasta el día de hoy no existe investigación alguna que demuestre o rechace la hipótesis reportada por Smith (1989a) sobre la posibilidad de que la población silvestre de *A. mexicanum*, coexista simpátricamente con *A. tigrinum*, sin que esto implique hibridización de sus poblaciones. La hibridización entre *A. mexicaum* y *A. tigrinum* solo ha sido demostrada en condiciones experimentales (Brandon, 1972; Brandon y Altig, 1977). Durante el presente estudio no se encontraron indicios concluyentes que demostraran la presencia de *A. tigrinum* en la zona lacustre de Xochimilco. Utilizando análisis genéticos, ya se ha reportado la existencia de poblaciones híbridas reproductivas de ambistómidos de Illinois en E.U., como *Ambystoma tremblayi* y *Ambystoma platineum* (Sessions, 1982; Morris y Brandon, 1984; Zug, 2001).

Esfuerzo de captura

En el presente trabajo, el índice de esfuerzo de captura obtenido de 0.022 organismos/lance, equivalente por factor de conversión a 1 organismo/45 lances (Apéndice 4), fue mayor al obtenido por Calderón *et al.* (1989), de 1 organismo/7 lances (Apéndice 5; Cuadro 8), sin dejar de considerar que Calderón (*et al.*, 1989) realizó un muestreo no aleatorio de tres días, en dos localidades. Además, nuestro índice de esfuerzo de captura (Apéndice 4), también fue mayor al reportado por Graue (1998) entre 1992 y 1993 igual a 1 organismo/14 lances (Apéndice 8; Cuadro 8); y también fue mayor al obtenido por Graue (1998) entre 1995 y 1996 de 1 organismo/8 lances (Cuadro, 8). Sin embargo, la autora realizó 4 lances por localidad un número menor al nuestro, pero obtuvo un mayor número de organismos en menor tiempo (seis ajolotes por mes en promedio, mientras que en nuestro muestreo obtuvimos tres ajolotes por mes en promedio) (Fig. 12; Cuadro 6). El aumento en un 15% en el esfuerzo de captura para coleccionar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco corrobora la disminución en la densidad poblacional de *A. mexicanum* en la zona, al menos en los últimos 14 años a la fecha (1989-2003).

Proporción de sexos

Al lograr identificar el sexo de los organismos colectados, es posible estimar la proporción de machos y hembras en la población. En el presente estudio, la población silvestre de *A. mexicanum* representó ambos sexos equitativamente (Fig. 14) con una proporción 1:1. Calderón *et al.* (1989) también reportó para *A. mexicanum* una proporción sexual 1:1, mientras que Vergara (1990) reportó para la misma especie una proporción de sexos sesgada hacia las hembras 1:2 usando sexado quirúrgico, aunque el tamaño de su muestra fue pequeña (N= 20). De la misma manera para *A. mexicanum*, Graue (1998) encontró un sesgo hacia las hembras con una proporción 1:2 durante 1995-1996.

En otros ambistómidos como *A. dumerilii* (Brandon, 1970; Huacuz, 2002); *A. tigrinum* (Montaño, 2003) y *A. californiense* (Trenham *et al.*, 2000) se han reportado proporciones 1:1 en condiciones naturales. El último autor refiere que la proporción sexual 1:1 de la población se mantuvo durante seis años. Semlitsch (1983) reportó que en una población de *A. tigrinum tigrinum* en Carolina del sur en E.U., la proporción sexual variaba anualmente y en cada estanque estudiado.

Por otro lado Reyes (2003) reportó para *A. altamirani* una proporción sesgada hacia los machos de 3:1 y Huacuz (2003) para *A. rivularae* reportó una proporción sexual 1:2 a favor de las hembras. Finalmente, García (2003b) reportó para *A. ordinarium* que sus proporciones sexuales se mantienen cercanas al 1:1, presentando un ligero aumento en el número de machos durante la época de reproducción, y una proporción mucho mayor de hembras cercana a 3:1 durante la época de reposo reproductivo. La variación en los resultados de todos estos estudios en el género *Ambystoma* sugiere que se deben realizar muestreos anuales para monitorear si la proporción de sexos de la población silvestre de *A. mexicanum* en Xochimilco se mantiene constante u oscila año con año.

Por otra parte al realizar una estimación de la proporción de adultos reproductivos de una población en un intervalo de tiempo específico, es posible estimar la cantidad de hembras reproductivas por macho existentes en dicho sitio, lo que se ve reflejado en la cantidad de oportunidades reproductivas existentes (Trenham *et al.*, 2000). Esto a su vez repercute en la cantidad de organismos que se incorporan anualmente a la población. Shaffer (1989) señala que probablemente la mayoría de las especies de ambistómidos poseen una marcada temporada reproductiva. Tal es el caso de *A. dumerilii* (Brandon, 1970) cuya actividad de sus gónadas sexuales, evidenciada por el abultamiento de las cloacas en los machos, está sincronizada con el inicio de la estación de lluvias en el lago de Pátzcuaro, Michoacán. Graue (1998) reportó que *A.*

mexicanum podría estarse reproduciendo durante los meses de enero a abril. Debido a lo irregular de nuestra temporada de colecta, y a la escasa cantidad de organismos capturados por mes (Cuadro 6) no es posible determinar si la época de lluvias en Xochimilco (Fig. 6) o la temporada invernal (Figs. 5 y 6) influyen en el comportamiento reproductivo de *A. mexicanum*. Tampoco es posible confirmar o rectificar, que la temporada reproductiva de *A. mexicanum* ocurre únicamente entre los meses de enero a abril como propone Graue (1998). La autora no realizó un estudio de seguimiento gonadal para determinar la estacionalidad reproductora de *A. mexicanum*. Su estimación se basa en la suposición de que dos organismos juveniles capturados en los meses de abril a julio habrían eclosionado tres meses atrás, por la estacionalidad reproductiva observada en algunos especímenes en condiciones seminaturales, y por la observación de puestas de huevos de *A. mexicanum* encontradas en febrero de 1995.

A diferencia de los estudios de seguimiento del desarrollo gonadal realizados en *A. tigrinum* (Montaño, 1995; 2003), *A. tigrinum mavortium* (Larson *et al.*, 1999) y *A. dumerilii* (Brandon, 1970) durante un ciclo anual, hasta el día de hoy no se ha realizado un estudio de seguimiento gonadal anual en condiciones naturales para *A. mexicanum*, que permita establecer definitivamente la estacionalidad reproductora de esta especie (Armstrong *et al.*, 1989). Sin embargo, en varios estudios su estacionalidad reproductiva se ha inferido por observaciones indirectas, ocasionales y especulaciones (Calderón y Rodríguez, 1986; Calderón *et al.*, 1989; Smith 1989b).

Varios autores han asociado el descenso en la temperatura como factor estimulante de la reproducción para varias especies de urodelos ubicando la época reproductiva en invierno (Brandon, 1970; Duellman y Trueb, 1986; Shaffer, 1989). Sin embargo, Montaño (2003) reportó que *A. tigrinum* de la laguna de Totolcingo en Tlaxcala, no presenta el patrón reproductor estacional típico de los urodelos, sino una potencialidad reproductora que tendía a ser continua a

lo largo del año. En nuestra propia experiencia, durante nuestros muestreos capturamos organismos machos de *A. mexicanum* con las cloacas evidentemente ensanchadas, en los meses de febrero, marzo, junio, septiembre, octubre y noviembre, entre 2002 y 2003 (Cuadro 6 y Fig. 12), que evidencia la actividad de los seis pares de gónadas cloacales que actúan solo cuando existe actividad reproductiva (Nace *et al.*, 1974; Duellman y Trueb, 1986). Esto implica que *A. mexicanum* posee potencialidad reproductiva fuera de la época invernal. Así mismo capturamos 16 organismos juveniles de 120 a 224 días de edad (Cuadro 15) distribuidos en los meses de octubre y noviembre de 2002, y marzo, mayo, junio y septiembre de 2003 (Cuadro 6; Fig. 12), lo cual implicaría que *A. mexicanum* se mantiene reproductivo en varios meses del año. Graue (1998) a su vez señala la necesidad de rectificar la condición reproductiva anual de *A. mexicanum*. Un estudio actualizado podría ampliar la temporada reproductiva de esta especie.

Debe considerarse que si *A. mexicanum* se reprodujera anualmente, debido a su baja densidad la probabilidad de apareamiento disminuiría drásticamente considerando que viven en un hábitat fragmentado y de gran extensión (2200 has; Farías, 1984), con canales alejados entre si, como Cuemanco y Japón, o incomunicados como Puente de Urrutia (Fig. 2 y 3). La captura ocasional y clandestina de adultos reproductivos o hembras grávidas (obs. pers., 2003) influyen aun más en la baja densidad poblacional de la especie que a largo plazo podrían originar la aparición de endogamia y con ello la disminución en la adecuación, variabilidad genética y supervivencia poblacional prevista por Graue (1998).

Vale la pena subrayar la alta proporción de organismos no identificables sexualmente (Fig. 14) que representan el 37% del total de los organismos capturados. Doce de 17 (el 71%) provienen del canal Puente de Urrutia (Cuadro 4; Fig. 11) y once de ellos fueron capturados en una sola salida (16 junio de 2003), que podría significar que todos provenían de una misma cohorte.

Ambystoma mexicanum en condiciones experimentales llega a la madurez sexual entre los ocho meses y los dos primeros años de edad. Antes de eso resulta poco confiable determinar el sexo de un ambistómido únicamente por sus características sexuales externas secundarias, y se requiere realizar la identificación del sexo por sexado quirúrgico (Vergara, 1990). Aun llegado a la madurez sexual, *A. mexicanum* presenta caracteres sexuales secundarios poco evidentes (Vergara, 1990) por lo que existe el riesgo de incurrir en posibles errores de sexado. Morfológicamente es relativamente fácil confundir a machos juveniles no identificables sexualmente con machos fuera de la temporada reproductiva o en reposo reproductivo (García, 2003), con hembras no grávidas. En este sentido Huacuz (2003) reportó para *A. rivulare* que organismos no identificables sexualmente por morfología, al realizarles el sexado quirúrgico, en muchos casos tampoco era posible determinar su sexo debido a que sus gónadas estaban indiferenciadas. Para evitar introducir un sesgo en las proporciones sexuales de la población, en el presente estudio, los organismos capturados se agruparon como organismos maduros sexualmente (machos y hembras) y no identificables sexualmente. Esta última categoría se hace necesaria cuando no es adecuado realizar el sexado quirúrgico por tratarse de una especie amenazada. En este estudio es primordial conservar la vida de cada organismo capturado por tratarse de una especie en posible riesgo de extinción. Por estas mismas razones García (2003) incluyó la categoría de “indefinido sexualmente” dentro de las proporciones sexuales de una población silvestre de *A. ordinarium* en río Chiquito, Mich.

Según nuestros resultados las medidas morfométricas LT, LHC, LC y la masa corporal (Cuadro 13) no son características definitivas para la identificación del sexo en *A. mexicanum*. Lo mismo ha sido reportado para otros ambistómidos en condiciones naturales (García, 2003). El ensanchamiento de las cloacas y de la cintura son los dos únicos caracteres sexuales secundarios externos disponibles en el género *Ambystoma* para el sexado de los organismos colectados. Sin

embargo, algunos autores no consideran que estos caracteres son poco confiables, principalmente durante el primer año de edad incurriendo en errores de sexado. La poca distinción entre hembras y juveniles podría explicar las proporciones sexuales sesgadas hacia las hembras reportadas por algunos autores que basaron su criterio de sexado únicamente en dichos caracteres. Calderón *et al.* (1989) incluyeron dentro de su proporción sexual a un organismo juvenil de *A. mexicanum* con una LHC de 5.0 cm, talla que según nuestros análisis (Cuadro 13) evidenciaría que dicho ajolote no superaría el año de edad por lo que no es posible identificar su sexo por caracteres sexuales secundarios. Calderón *et al.* (1989), sin embargo, no refieren haber utilizado el sexado quirúrgico. Graue (1998) por su parte, reportó un sesgo hacia las hembras (24 machos/ 52 hembras) en la distribución de la proporción sexual para *A. mexicanum*, durante su muestreo anual (1995-1996). Refirió que la causa de este sesgo podría deberse a un agente feminizante contenido en las contaminadas aguas de la zona lacustre de Xochimilco. Dichos agentes químicos “podrían ocasionar que los embriones en desarrollo de *Ambystoma mexicanum*, se diferencien como hembras, o que por alguna razón desconocida propicie la sobrevivencia selectiva de estas”. Cabe mencionar que las reversiones sexuales por agentes bioquímicos en ambistómidos, solo han sido reportadas en condiciones experimentales (Zug, 2001; Duelman y Trueb, 1986). Además, Graue (1998) no realizó la identificación del sexo de los organismos por sexado quirúrgico, sino por la apreciación de los caracteres sexuales secundarios. La longitud hocico cloaca (LHC) reportada por la autora, de al menos 10 organismos (de entre 8 a 10 cm), corresponden a la talla de organismos inmaduros sexualmente según lo encontrado en el presente estudio, con una edad de 120 días a 224 días (Cuadro 15) y una LHC promedio de 7.5 cm (Cuadro 13). Al ajustar estas mismas tallas al modelo de Von Bertalanffy (Zambrano, 2004) indican que los 10 organismos juveniles colectados por Graue (1998) entre 1995 y 1996 poseían menos de un año de edad, siendo organismos juveniles. En ellos aún no se presentan caracteres

sexuales secundarios por lo que no es posible determinar su sexo solo apreciando el abultamiento en sus cloacas. La misma autora refiere que las larvas capturadas con una LHC de 8 cm, en los meses de abril a julio, tenían una edad aproximada de tres meses.

Las confusiones en el análisis de las proporciones sexuales por el empleo de caracteres poco confiables evidencia la urgente necesidad de generar una técnica de sexado no letal para las especies del género *Ambystoma*. Esta técnica debe permitir obtener la proporción sexual de la población de manera rápida, sencilla y confiable, que no dependa del criterio arbitrario de un observador, que permita sexar a una gran cantidad de organismos a la vez de todas las categorías de edad y sea económicamente viable. Es posible apoyarse en técnicas no invasivas ya existentes, como las citogenéticas, obteniendo el cariotipo de cada organismo colectado. Esto es posible con una modificación de la técnica propuesta por Danni (1977) para sexar larvas de *A. mexicanum* y *A. dumerilii*, ya que el género *Ambystoma* posee cromosomas sexuales ZW para machos y ZZ para hembras previamente reportados por Humphrey (1945 en Callan, 1966).

Medidas morfométricas y madurez sexual

Contrario a lo reportado por Vergara (1990) para *A. mexicanum*, en el presente estudio la observación del conjunto de las características sexuales secundarias externas-cualitativas: presencia o ausencia de ensanchamiento de las cloacas y la complexión de las cinturas, permitieron identificar el sexo y el probable estado reproductivo de los organismos colectados. Estas características fueron identificadas en machos reproductivos desde una longitud total (LT) de 14 cm y una longitud hocico cloaca (LHC) de 7.8 cm, mientras que las hembras alcanzaron una LT mínima de 19 cm y una LHC mínima de 10 cm (Cuadro 13). También contrario a lo reportado por Ensastigue (2003) para *A. mexicanum*, en el presente estudio no fue posible encontrar diferencias significativas entre hembras y machos en ninguna de las medidas

morfométricas con el análisis de varianza: LHC, LC, LT o la masa (Cuadro 13). De esta manera corroboramos la ausencia de dimorfismo sexual con respecto a la talla y masa en *A. mexicanum*, característica común en varios ambistómidos (Huacuz, 2002; Huacuz, 2003; García, 2003). La prueba post hoc de Tukey mostró diferencias significativas únicamente entre organismos no identificables sexualmente vs. machos y hembras adultas en la longitud total promedio (Cuadro 13). En este sentido, Montaña (1995) reportó diferencias significativas entre organismos inmaduros sexualmente y adultos reproductivos en distintos parámetros merísticos para *A. tigrinum* de Totolcingo, Tlax.

Huacuz (2003) reportó para *A. rivulare* como juveniles “indiferenciados sexualmente” a organismos con tallas de LHC de 3.0 a 5.9 cm y adultos neoténicos con una LHC desde 6.0 a 9.0 cm, para los machos y de 4 a 10 cm para las hembras. De la misma manera Brandon (1970) reportó que larvas juveniles de *Ambystoma dumerilii* de entre 10.8 cm a 12.2 cm eran inmaduros sexualmente, mientras que los adultos neoténicos alcanzaban tallas de LHC mayores de 12.2 cm. Calderón *et al.* (1989) registraron tallas de LHC para machos y hembras de *A. mexicanum* en su hábitat natural de 9.0 cm a 13.0 cm, y un juvenil con una LHC de 5.0 cm y una LT de 11.0 cm. Por su parte Graue (1998), reportó para machos y hembras de *A. mexicanum*, una LHC máxima de 14 cm y una mínima de 8 cm. Brandon (1970) tampoco logró encontrar diferencias significativas en las medidas morfométricas entre 68 machos y 67 hembras de *A. dumerilii*. En el presente estudio no se realizó sexado quirúrgico, para evitar afectar negativamente a la población.

Los adultos reproductivos de *A. mexicanum* capturados en Xochimilco en el presente estudio presentaron una LT, LHC y edad promedio (Cuadros 13 y 14), comprendidas dentro del intervalo de talla y edad reproductiva (Cuadro 14) reportada por varios autores para la misma especie (Armstrong, 1989; Calderón *et al.*, 1989; Graue, 1998; Ensastigue, 2003). Sin embargo,

la mayoría de los ambistómidos neoténicos estrictos y facultativos, alcanzan la madurez sexual a una menor talla. Tal es el caso de *A. dumerilii* que Brandon (1970) reportó que todos los organismos con una LHC mayor de 12.2 cm eran adultos reproductivos, registro corroborado por Huacuz (2002) para machos y hembras de la misma especie. Huacuz (2003) reportó para *A. rivulare* una LHC reproductiva de 4 a 10 cm para las hembras y de 6 a 9 cm en los machos; Reyes (2003) reportó para *A. altamirani* organismos adultos con una LHC promedio de 6.4 cm; García (2003) reportó para *A. ordinarium* una LHC reproductiva de 5.6 cm, y Semlitsch (1983) reportó para *A. tigrinum tigrinum* una LHC reproductiva promedio de 9.4 cm y una mínima de 8 cm.

En condiciones experimentales las hembras reproductivas de *A. mexicanum*, muestran una relación directamente proporcional, entre la talla alcanzada y la cantidad de huevos por puesta, mientras que al superar los 6 años de edad disminuye la viabilidad de los huevos (Armstrong *et al.*, 1989). En este trabajo la LHC y la edad promedio de los organismos juveniles colectados (Cuadros 13 y 15) se encuentra justo antes de alcanzar la madurez sexual, mientras que hembras y machos en edad y talla reproductiva (Cuadros 13 y 15) están poco representados en toda la zona (Fig. 24), en comparación con poblaciones de ambistómidos mexicanos mejor conservadas (Huacuz, 2003; García, 2003). Esto indicaría que la actividad reproductiva de la población de *A. mexicanum* en Xochimilco solo se ejerce en un corto intervalo de tiempo, recién llegados a la madurez sexual y su segundo año de edad, no alcanzando a ejercer todo su potencial de vida reproductiva óptima que es de 5 a 6 años (Armstrong *et al.*, 1989). Esto cobra relevancia si consideramos que Trenham *et al.* (2000) reportaron que para que una población silvestre de *A. californiense* se perpetuara durante su tiempo de vida, el rendimiento reproductivo de una hembra promedio debía producir como mínimo un macho y una hembra que sobreviviesen para reproducirse. Determinaron que una hembra promedio se reproducía al menos una vez y su

rendimiento reproductivo era de aproximadamente 12 descendientes por hembra (entre F₁ y F₂). Los autores encontraron que aún cuando no exista migración de organismos ni drástica fluctuación de los parámetros demográficos de la población, la disminución del rendimiento reproductivo por hembra, podría ocasionar por si solo la extinción local de la especie.

Anatomía patológica externa

A pesar de que la zona lacustre de Xochimilco es una de las áreas más contaminadas del Valle de México (Farías, 1984; Bojórquez, 1994; Rojas, 1995; Alatraste y Vilchis, 1997; Sandoval, 2003) y de que los anfibios son uno de los grupos animales más susceptibles a padecer enfermedades relacionadas con la contaminación de su hábitat (Zug, 2001) no encontramos externamente en ninguno de los ajolotes capturados, padecimientos cutáneos como los reportados por Maya (2003) para *A. mexicanum* en condiciones experimentales (ulceras, dermatitis, micosis etc.). Sólo 12 organismos que representan el 23% mostraron alguna patología externa apreciable (Cuadro 9).

Cinco de los 12 organismos provenían de la zona II o semiurbana y los siete restantes de la zona III o agrícola (Bojórquez, 1994). Los ectoparásitos, la pérdida de peso excesiva y pérdida de extremidades fueron padecimientos comunes entre machos y hembras para ambas zonas. La escasa cantidad de organismos capturados (Cuadro 6) en solo 11 canales y tres lagunas, no permite establecer una relación causa-efecto, entre lo contaminado de una zona y la cantidad de organismos capturados en ella (Cuadros 4 y 5).

El sesgo en la distribución de *A. mexicanum* hacia la zona agrícola y semiurbana encontrada en el presente estudio (Cuadro 4 y 5) corrobora parcialmente los resultados reportados por Graue (1998), que ubicaba la mayor cantidad de organismos en la zona agrícola contrastando con la zona urbana y turística. Sin embargo, el reducido número de organismos

capturados impide relacionar contundentemente la contaminación presente en cada zona con las enfermedades observadas en cada organismo. En este húmedal la calidad del agua fluctúa a través del año disminuyendo en época de secas (Fig. 7; Sandoval, 2003) debido a la alta densidad que alcanzan agentes patógenos como *Pseudomonas*, *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* en la zona turística y urbana (Sandoval, 2003). Estos agentes infecciosos también fueron reportados por Redondo (1999) como causantes de enfermedades en *A. mexicanum* y que en la zona lacustre llegan a estar por arriba del 90% en los niveles máximos de contaminación permitidos por los estándares de calidad del agua (Sandoval, 2003).

Los metales pesados: Fe, Zn, Ni, Cr, Pb, Cu, Co, Mn, Cd, Fe, Al y Br, también alcanzan altas concentraciones en el agua (Rangel, 1981) y sedimentos (Flores, 1982) de la zona lacustre de Xochimilco. Dichos metales pesados también están presentes en los tejidos de la fauna acuática (González *et al.*, 1995) incluyendo el tejido muscular, hígado y piel de *A. mexicanum*, por lo que representan un riesgo potencial para su población (González, 2006). Varios autores, ya han reportado los efectos perjudiciales directos e indirectos del Cd, Fe, Al y Br, (Nebeker *et al.*, 1995; Laposata y Dunson, 1998), así como el de distintos contaminantes como los pesticidas Guthion (Nebeker *et al.*, 1998) y el Carbaryl (Metts *et al.*, 2005) en ambistómidos norteamericanos. También se ha reportado que variaciones drásticas en los factores fisicoquímicos del agua por contaminantes como el pH, la conductividad y la temperatura (Horne y Dunson, 1995), son factores determinantes en la sobrevivencia, reproducción, fertilidad de los huevos, viabilidad de los embriones, disminución en el crecimiento, mortalidad de sus larvas y su distribución. Lefcort *et al.* (1997), demostraron que el aceite de motor tiene efectos tóxicos en *A. tigrinum* y *A. opacum* y los hace más susceptibles de infectarse por *Saprolegnia parasitica*, bacteria patógena que paulatinamente afectaba el crecimiento y sobrevivencia de ambas especies.

Debido a que *A. mexicanum* es una especie amenazada, no nos fue posible sacrificar organismos para profundizar en el diagnóstico por medio de un estudio histopatológico y anatómico interno. En este sentido, Heralecky (1990) reportó que ajolotes de esta misma especie que lucían sanos, al realizarles un análisis histopatológico, mostraron ser portadores de lesiones tisulares en varias partes del cuerpo, provocadas por infección de la bacteria *Aeromonas hydrophila*. El severo daño tisular no se hace evidente en la epidermis hasta muy avanzada la infección y una vez manifestada a nivel cutáneo, el tiempo de vida del ajolote es de aproximadamente de 24 a 48 horas. Esta bacteria es también considerada por Schlotter y Ward (1991) y Uribe-García (2002) como uno de los principales agentes infecciosos de *A. mexicanum* en el laboratorio. Es reportada por Rodríguez (2002) como constituyente habitual de la microbiota intestinal de la tilapia *Oreochromis aureus* y es común en el agua donde es cultivada. *O. aureus* está presente en los canales de Xochimilco en altas densidades (Zambrano, 2004; Valiente-Riveros, 2006) probablemente elevando las densidades de esta bacteria en el agua. Así, Sandoval (2003) reportó la presencia del género *Aeromonas* en la zona lacustre de Xochimilco en altas concentraciones.

Siete ajolotes capturados mostraron un apéndice externo (Fig. 15a, b) que podría tratarse de un gusano ancla o *Lernea sp.*, ectoparásito común de algunos peces (Fig. 16c, d) y reportado para *A. mexicanum* por Ensastigue (2003) en su pie de cría. En acuarios suelen encontrarse comúnmente en ambistómidos alimentados con peces infectados. A la fecha ningún estudio ha determinado cómo los parásitos y enfermedades oportunistas afectan a *A. mexicanum* en condiciones naturales (Heralecky, 1990; Uribe-García, 2002; Ensastigue, 2003; Maya, 2003) o la posibilidad de una zoonosis entre *A. mexicanum* y los parásitos presentes en las distintas especies de peces introducidas en Xochimilco desde hace décadas (Valiente-Riveros, 2006).

No existen investigaciones que determinen si la alimentación de *A. mexicanum* en condiciones naturales es deficiente; sin embargo, en el presente estudio se capturó a un organismo esquelético y otros cuatro en condiciones similares (Cuadro 9). Ninguno de estos ajolotes presentó síntomas de lordosis y xifosis característicos de una alimentación deficiente en condiciones de laboratorio como los describe Uribe-García (2002). Shaffer (1989) sugiere que los ambistómidos en nuestro país se ubican generalmente como el depredador máximo en el cuerpo de agua que ocupan, considerándolos ecológicamente similares a los peces depredadores de otros cuerpos de agua. La revisión del contenido estomacal de *Ambystoma mexicanum* realizada por Zambrano (2004) y Valiente-Riveros (2006) reveló que la dieta de esta especie en la zona lacustre de Xochimilco se compone principalmente de insectos y en menor cantidad de peces pequeños. Esto implica que la dieta de *A. mexicanum* en condiciones naturales es poco variada, al compararse con el amplio espectro de presas constituyentes de la dieta reportada para *Ambystoma altamirani* (Reyes, 2003).

Finalmente la proporción de organismos de *A. mexicanum* enfermos en la zona lacustre de Xochimilco, fue alta (Cuadro 9) si la comparamos con otros ambistómidos mexicanos de humedales no perturbados como *A. rivulare* en la Sierra de Chincua, Mich. Huacuz (2003) no reporta en sus análisis alguno de los padecimientos antes mencionados para *A. mexicanum* en condiciones naturales.

Esqueletocronología

La tinción dicrómica (Estrada *et al.*, 1982; Aguilar *et al.*, 1996) implementada en el método de esquelocronología realizado permitió evidenciar eficazmente las distintas estructuras esqueléticas presentes en las falanges de *A. mexicanum*. Al no ser necesario sacrificar a los organismos capturados, esta técnica permite mantener sin modificaciones la estructura de edades

de la población estudiada (Echeverría, 1991; Rossell y Sheehan, 1998), lo que hace de este método una herramienta útil para el análisis de especies en peligro de extinción como *A. mexicanum*. Asimismo, la amputación de falanges permite marcar a los organismos capturados de todas las categorías de edad, de manera temporal ya que regeneran el dedo perdido, y no tiene un efecto significativo en su crecimiento y sobrevivencia (Heralecky, 1990; Ott y Scott, 1999; obs. pers.). Esto permite que estudios demográficos subsecuentes puedan dar continuidad al estudio de la dinámica poblacional de la especie (Trenham *et al.*, 2000).

El patrón de osificación de las secciones transversales de las falanges de *A. mexicanum* observados en este estudio fueron interpretados como anillos de crecimiento (Figs. 19-22). Estos son similares a los anillos de crecimiento encontrados en las falanges de ambistómidos norteamericanos como *Ambystoma macrodactylum* (Fig. 25) (Russell *et al.*, 1996), *Ambystoma talpoideum* (Rossell y Sheehan, 1998), *Ambystoma tigrinum mavortium* (Larson *et al.*, 1999) y *Ambystoma californiense* (Trenham *et al.*, 2000) y *Rana tigrina* de climas templados (Suresh y Pancharatna, 2001). Un estudio posterior en condiciones naturales o seminaturales permitiría calibrar la técnica esqueletocronológica aquí propuesta, determinando si los anillos de crecimiento encontrados en las falanges de *A. mexicanum* se forman anualmente, y si existe sustitución de marcas tempranas de retención del crecimiento, evitando así sobreestimar o subestimar la edad de un organismo (Castanet, 1974; Trenham *et al.*, 2000). De los 46 ajolotes en los que fue posible implementar el método esqueletocronológico, los anillos óseos en organismos juveniles no se presentan, y en organismos adultos los anillos pueden ser heterogéneos y discontinuos y difíciles de diferenciar entre sí. Las secciones observadas de *A. mexicanum* en el presente trabajo, presentan un patrón de osificación similar al de la micrografía de un organismo de tres años de edad de *A. macrodactylum* (Fig. 25b) reportada por Russell (1996).

En contraposición a la acidofilia (afinidad por la eosina) que demostraría la presencia dominante de material óseo denso, la presencia de basofilia (afinidad por la hematoxilina) en todas las secciones de las falanges de *A. mexicanum*, evidenció el papel preponderante que tiene el tejido cartilaginoso en las falanges de esta especie, principalmente en las categorías juveniles (Fig. 21a, b). En este sentido Solórzano-Aguílera (en proceso) reportó, que en organismos de *A. lermanense* aclarados y teñidos evidenciaron que conforme la edad del organismo aumenta, la cantidad de tejido óseo denso aumenta con respecto al tejido cartilaginoso.

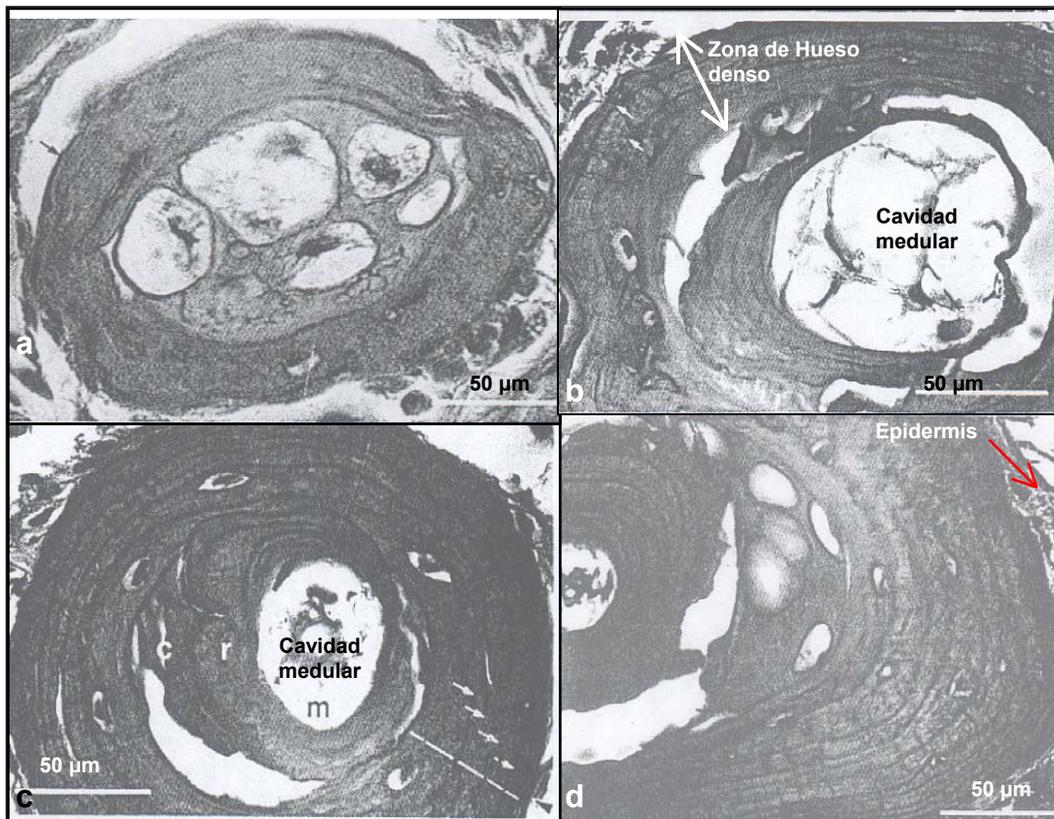


Figura 25. Secciones transversales de una de las falanges de una de las patas de *Ambystoma macrodactylum krausei* de: a) menos de un año de edad. b) tres años de edad. c) cinco años de edad y d) 10 años de edad (Russell *et al.*, 1996).

El tejido óseo en las falanges de todos los organismos de *A. mexicanum* juveniles no identificables sexualmente (Cuadro 13) capturados en el presente estudio, estaba conformado mayormente de tejido cartilaginoso (Fig. 21b). Presentaban un perímetro delgado de hueso denso

que la delimitaba (Fig. 21a), mientras que los adultos, presentaban una zona cartilaginosa de menor tamaño, seguida de un perímetro variable de hueso denso (Fig. 20 y 22).

A. mexicanum se restringe a un hábitat acuático durante todo su ciclo de vida desde su estado larvario, hasta la madurez sexual (Armstrong y Malacisnki, 1989; Duhon, 1997; Zug, 2001). La presencia dominante del tejido cartilaginoso en las falanges de esta especie y probablemente en todo su sistema óseo, se podría deber a que no requiere de un sistema óseo constituido mayoritariamente por hueso denso para su soporte. El tejido cartilaginoso le confiere mayor flexibilidad y menor peso. Debido a que no se capturaron organismos mayores de tres años de edad (Fig. 24), no es posible corroborar si la sustitución de tejido cartilaginoso se lleva a cabo en su totalidad en esta especie como sucede con sus conespecíficos neoténicos facultativos (Fig. 25), o se mantiene (Figs. 19-22) debido a su condición neoténica estricta, o la sustentabilidad mecánica que el medio acuático le proporciona.

Varios autores (Castanet, 1974; Russell *et al.*, 1996; Trenham *et al.*, 2000) han reportado que para que en organismos poiquiloterms la tasa de depositación del material óseo disminuya formando marcas de retención del crecimiento, que contrastan con los anillos de crecimiento, es necesario que en su hábitat ocurran marcados periodos estacionales o ciclos de sequía o lluvias. Sin embargo, nuestros resultados corroboran lo registrado por Suresh y Pancharatna (2001) quienes sugieren que la formación de marcas de crecimiento óseo en anfibios de climas templados es el resultado de fluctuaciones anuales en la temperatura ambiente, aún cuando no experimentan marcados veranos o inviernos o periodos de inactividad (hibernación o estivación).

El registro de los parámetros atmosféricos muestra que la precipitación y la temperatura en la zona lacustre de Xochimilco oscilan a lo largo de los meses (Figs. 4-7). En los meses de primavera y verano: abril a julio (Fig. 4-7), la oscilación de la temperatura a lo largo del día, no es tan pronunciada siendo la mínima de 16 °C de las 03:00 a las 19:30 hrs y la máxima de 28 °C

de las 12:00 a las 18:00 hrs (Fig. 7). En cambio en los meses de invierno: noviembre, diciembre y enero, la oscilación diaria es más pronunciada llegando a ser la temperatura mínima de 3 °C entre las 03:00 y a las 19:30 hrs y la máxima de 21 °C de las 12:00 a las 18:00 hrs (Fig. 7). Además en los meses invernales, el número de días con bajas temperaturas aumenta (Fig. 5). En los canales y lagunas de Xochimilco en los nueve meses monitoreados de 7:00 a 13:00 hrs, a lo largo del mes el pH (Fig. 17), la conductividad (Fig. 18) y particularmente la temperatura a nivel superficial y a un metro de profundidad, se encontró dentro de un intervalo (13 °C - 22 °C), pero muestran una marcada fluctuación a lo largo del año (Fig. 16). Aunque la zona lacustre de Xochimilco no presenta cambios tan drásticos como temperaturas por debajo de los 0 °C en meses invernales o desecación del cuerpo de agua en época de secas (Bojórquez, 1994; Magaña, *et al.*, 2006), pensamos que las diferencias en la temperatura promedio del agua entre una temporada del año y otra, proporcionaría la suficiente estacionalidad para que *A. mexicanum* presente las marcas de crecimiento y de retención del crecimiento observadas en los tejidos óseos de sus falanges (Figs. 20-22). Sin embargo, estas marcas son poco claras por lo que complica su conteo.

La técnica esqueletocronológica aquí propuesta puede ser incorporada como una herramienta no letal para el estudio y monitoreo de la estructura de edades, de las poblaciones de ambistómidos mexicanos. Paulatinamente permitirá comprender los patrones de osificación del género, así como datar la edad promedio, máxima y mínima alcanzada por este en México en condiciones naturales.

Estructura de edades de la población

La mayoría de los organismos fueron capturados en distintos canales, en distintas fechas (Cuadro 6, Fig. 11), en ocasiones aislados entre si (Puente de Urrutia p. ejem.), por lo que cada barra en el histograma de frecuencias (Fig. 24) podría representar a organismos de cohortes diferentes.

La estructura de la población de *A. mexicanum* por clases de edad (días) en el presente estudio, muestra un sesgo hacia las categorías juveniles menores de un año de edad, en donde solo 22 organismos (42%) rebasan el año de edad (Fig. 24). Semlitsch (1983) determinó para una población silvestre de *A. tigrinum* del este de los E.U., que una población reproductora con estabilidad en la distribución de las frecuencias de talla, reflejaría una población en la que el reemplazo dinámico de los organismos adultos, por juveniles está garantizado. Este proceso podría verse truncado en la población silvestre de *A. mexicanum* de Xochimilco, ya que los organismos en edad (Cuadro 15, Fig. 24) y talla (Cuadro 13) reproductiva escasean y no alcanzan a ejercer toda su capacidad reproductora. La vida media de la población fue de 313 días y solo uno de los 52 organismos capturados alcanzó la edad de tres años. Esto difiere de lo reportado para otras poblaciones de ambistómidos mejor conservadas como la de *A. dumerilii* (Brandon, 1970).

Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre la edad alcanzada por machos y hembras de *A. mexicanum* entre 2002 y 2003, mismo fenómeno reportado por Trenham (2000) para una población silvestre de *A. californiense*. Sin embargo, la edad máxima de la población de 856 días *A. mexicanum* estimada en el presente estudio (Cuadro 15) con el modelo de Von Bertalanffy (Fig. 23), está por debajo de la edad máxima reportada para ambistómidos de hábitats más conservados (Cuadro 12) como *A. californiense* que alcanza de 2 a 5 años (Trenham *et al.*, 2000) y *A. macrodactylum* que alcanza de 5 a 10 años (Russell *et al.*,

1996). En condiciones de laboratorio ocho especies de ambistómidos registraron un intervalo de edad de 2 a 25 años (Cuadro 12) y Armstrong *et al.* (1989) y Borland (comp. pers. 2003) reportaron que *A. mexicanum* puede alcanzar de 10 a 22 años de edad en condiciones de laboratorio.

El corto intervalo de vida de *A. mexicanum* en condiciones naturales, así como el sesgo en su estructura de edades, podría deberse a los distintos factores descritos por varios autores. Entre estos están la captura clandestina de organismos adultos (Calderón y Rodríguez, 1986), mortandad de organismos juveniles debido al contagio de enfermedades infecciosas (Heralecky, 1990; Mckey, 2002), competencia interespecífica por peces exóticos (Zambrano, 2004; Valiente-Riveros, 2006) y captura ocasional de organismos y sus puestas por máquinas recolectoras de lirio (Heralecky, 1990; Beltran, 1987) entre otros factores.

La declinación de poblaciones de ambistómidos por depredación de peces exóticos ha sido documentada por varios autores. Brandon (1970) reportó que *A. dumerilii* era depredado por el pez exótico *Micropterus salmoides* en el lago de Pátzcuaro, Mich. Monello y Wright (1999), a su vez, demostraron que la depredación sobre los huevos de anfibios por la carpa introducida *Carassius auratus* en poblaciones silvestres en el norte de Idaho en E.U. ocasionó el decremento y la eliminación de sus poblaciones. Monello y Wright (2001) confirmaron en condiciones experimentales que *C. auratus* puede acabar con *A. macrodactylum* únicamente por el consumo de sus huevos ya que lo hace en grandes cantidades (71%) y en un corto periodo de tiempo (25 huevos/ 4 días). La carpa tuvo una preferencia sobre los huevos de *A. macrodactylum* aun cuando tuviera alimento alternativo disponible *ad libitum*.

Finalmente, debido a que el crecimiento de un organismo está en función de condiciones ambientales como disponibilidad del alimento, efecto de la contaminación, susceptibilidad a enfermedades (Andrews, 1982; Gutiérrez y Sánchez, 1997), la relación tamaño-edad podría no

ser tan estrecha, como lo menciona Trenham *et al.* (2000) para *A. californiense*. Utilizando únicamente las distribuciones de tamaño pude incurrirse en errores de datación de la edad. Por lo que la aplicación del modelo matemático de Von Bertalanffy (Fig. 23) nos permitió hacer una estimación más exacta de la edad de cada organismo.

Factores fisicoquímicos

A pesar del alto grado de eutrofización y contaminación que posee la zona lacustre de Xochimilco (Alatríste y Vilchis, 1997; Graue, 1998; Sandoval, 2003) por el vertimiento de aguas residuales e industriales desde hace 50 años (Farías, 1984; Bojórquez, 1994), los factores fisicoquímicos pH, conductividad y temperatura del agua de esta zona se encuentran dentro de los límites de tolerancia para la sobrevivencia y reproducción de los organismos (Zambrano, 2004). El comportamiento de los promedios mensuales del pH (Fig. 17), la temperatura (Fig. 16) y la conductividad (Fig. 18) es el mismo en toda la columna de agua aunque puede variar de un canal a otro (Zambrano 2004). A pesar de los constantes cambios de los que ha sido objeto en su hidrodinámica a lo largo de su historia, el pH y la temperatura del agua se mantienen dentro del intervalo reportado por Calderón *et al.* (1989) y Shaffer (1989) para los canales de Xochimilco de 16-20°C y un pH de 7.4-8.4. Aunque los valores de conductividad reportados por Shaffer (1989) de 975 a 1650 $\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$ han disminuido drásticamente de entre 0.8 a 1.0 $\mu\text{Sc}/\text{cm}^2$ promedio mensual (Fig. 18). Esto mismo sucede para los demás factores fisicoquímicos de la zona lacustre de Xochimilco. Los valores anuales promedio (Cuadro 11) son similares a los reportados para hábitats más conservados, como es el caso del hábitat de *A. rivulare* en la laguna de Chincua Mich., ubicado en una Reserva de la Biosfera, supuestamente libre de perturbación y uno de los sitios menos contaminados ocupados por un ambystómido en México (Huacuz, 2003). Los valores de pH permanecen similares de neutro a básico para ambas zonas, mientras que la

conductividad se mantiene muy por debajo de lo reportado por varios autores (Cuadro 11) para la mayoría de los hábitats, aún en aquellos que presentan un grado de perturbación moderada (García, 2003).

A pesar de que la zona lacustre de Xochimilco es un cuerpo de agua perenne, la oscilación de los factores fisicoquímicos de a lo largo del año (Figs. 16-18) es diferente de los ecosistemas acuáticos con marcada estacionalidad en los que habitan algunos ambistómidos norteamericanos y algunos en México. En estos se registran temperaturas iguales o menores a los cero grados centígrados en invierno con la consecuente disminución de los recursos alimenticios, o la retracción o desecación del cuerpo de agua en época de secas. La condición neoténica de *Ambystoma mexicanum* se explicaría al no presentarse simultáneamente en su hábitat natural todos los factores externos considerados como desencadenantes de la metamorfosis anfibia: aumento de la temperatura del agua, disminución en la disponibilidad de alimento, hábitat con una elevada altitud sobre el nivel del mar, congelamiento o desecación del cuerpo de agua, disminución drástica en la concentración de oxígeno disuelto y estrés (Nace *et al.*, 1974; Duellman y Trueb, 1986; Zug, 2001). La condición neoténica estricta inducible de *Ambystoma mexicanum* también se debe a la ausencia de factores endocrinos, ya que la glándula pituitaria no libera hormona tiroidea activa (TSH) que estimule a su glándula tiroidea (Gilbert, 1985).

CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran una drástica disminución en la densidad poblacional de *Ambystoma mexicanum* de hasta 1 organismo/1000 m² en la zona lacustre de Xochimilco, durante el intervalo 1989-2003, lo cual sugiere que esta especie podría encontrarse en peligro de extinción en su hábitat natural.
- El aumento en el índice de esfuerzo de captura para *Ambystoma mexicanum* de 1989 a 2003 corrobora la drástica disminución de la especie en su hábitat natural.
- *Ambystoma mexicanum* se distribuye de manera diferencial en la zona lacustre de Xochimilco, existiendo una mayor abundancia en la zona agrícola y semiurbana con respecto a la zona urbana y turística.
- No se encontraron diferencias significativas en la proporción de sexos de la población silvestre de *Ambystoma mexicanum*. Machos y hembras se encontraron equitativamente representados (18:15).
- No se encontraron diferencias significativas entre los promedios de las medidas morfométricas (LHC, LC, LT) y la masa de adultos reproductores machos y hembras de *A. mexicanum*. Solo los organismos no identificables sexualmente difieren de machos y de hembras en cada uno de estos parámetros.
- El análisis de la anatomía patológica externa de organismos capturados de *Ambystoma mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco mostró que el 23% de los organismos capturados estaban afectados por algún padecimiento. No se encontró ninguno de los padecimientos descritos para esta especie en condiciones experimentales.
- La estructura de edades de la población de *Ambystoma mexicanum* en condiciones naturales entre 2002-2003 mostró un sesgo hacia la categoría juvenil y recién llegada a la madurez sexual de 120 a 500 días de edad y menor de 18 cm de LHC.

- El modelo matemático de Von Bertalanffy permitió estimar la edad de cada organismo capturado de *Ambystoma mexicanum*. En condiciones naturales esta especie alcanza la madurez sexual entre el primero y el segundo año de edad.
- No se encontraron diferencias significativas entre la edad alcanzada de machos y hembras de *Ambystoma mexicanum* en condiciones naturales. Siendo la edad máxima alcanzada por esta especie en su hábitat natural de 3 años y la edad promedio de 313 días.
- El método histológico de esqueletocronología permitió evidenciar las distintas estructuras óseas presentes en las falanges del segundo dedo de las patas anteriores de *Ambystoma mexicanum*. Sin embargo, no fue posible datar la edad de los organismos capturados mediante el método de esqueletocronología.
- Nuestros resultados de esqueletocronología, y la oscilación de la temperatura del agua registrada en la lectura de los factores fisicoquímicos de la zona lacustre de Xochimilco corroboran lo registrado por Suresh y Pancharatna (2001) sobre que la formación de marcas de crecimiento óseo en anfibios de climas templados es el resultado de fluctuaciones anuales en la temperatura ambiente, aún cuando no experimentan marcados veranos o inviernos o periodos de inactividad (hibernación o estivación).
- Son necesarios análisis genéticos para determinar la hipótesis de que *Ambystoma mexicanum* comprenda una población híbrida con *Ambystoma tigrinum*. Durante esta investigación no encontramos evidencias de simpatria geográfica entre ambas especies en la zona lacustre de Xochimilco.
- Resulta imprescindible generar para *Ambystoma mexicanum*, y en general para el género *Ambystoma*, un método de sexado no letal, económicamente viable, que no dependa del criterio arbitrario de un observador, y que permita el sexado de una gran cantidad de organismos en el campo.

REFERENCIAS

- Aguilar, M.; Coutiño, B. y Salinas, P. 1996. Manual General de Técnicas Histológicas e Histoquímicas. 1ª Edición. Las Prensas de Ciencias. México D.F. 130 pp.
- Aguilar, X.; García, M. y Casas, G. 2004. Estatus de conservación de *Ambystoma lermanense*, Taylor (1940), en el estado de México. Resúmenes del VIII Reunión Nacional de Herpetología. División Académica de Ciencias Biológicas Universidad Nacional Juárez Autónoma de Tabasco. Pág. 45.
- Alatríste, J. y Vilchis, M. 1997. La estructura Superficial de la Subcuenca de Tecocomulco (Noroeste de la cuenca de México). Págs. 99-115 en (Jiménez, J., ed.). Estudios para la conservación y el aprovechamiento sustentable en la Subcuenca de Tecocomulco, Hidalgo. Memorias de la 1ª Reunión de la Comisión Multidisciplinaria para la conservación del lago de Tecocomulco. México. 112 pp.
- Andrews, R. 1982. Patterns of growth in reptiles. Págs. 200-211 en (Gans, C., y Pough, F., eds.) Biology of the Reptilia. Academic Press, London. Vol. 13. 300 pp.
- Armstrong, J. y Malacinski, G. 1989. Developmental Biology of the Axolotl. Oxford University Press. Nueva York. 320 pp.
- Armstrong, J.; Duhon, S. y Malacinski, G. 1989. Raising the Axolotl in captivity. Págs. 220-227 en (Armstrong, J. y Malacinski, G., eds). Developmental Biology of the Axolotl. Oxford University Press. Nueva York. 320 pp.
- Beltran, B. 1987. Etapas del ciclo vital del *Ambystoma mexicanum*. Protocolo de investigación. UAM-Xochimilco, México D.F. 44 pp.
- Brandon, R. 1970. Size range, at maturity, and reproduction of *Ambystoma (bathysiredon) dumerilii* (Dugués). A paedogenetic mexican salamander endemic to lake Pátzcuaro, Michoacán. Copeia. 2: 385-388 pp.
- Brandon, R. A. 1972. Hybridization between the Mexican salamanders *Ambystoma dumerilii* and *Ambystoma mexicanum* under laboratory conditions. Press, London. Herpetologica 28:199-207 pp.
- Brandon, R. y Altig R. 1977. Interspecific hybridization among Mexican and United States salamanders under laboratory conditions. Herpetologica 33:133-152 pp.
- Brandon, R. 1989. Natural history of the Axolotl and its relationship to other ambystomatid salamander. Págs. 13-21 en (Armstrong, J., y Malacinski, G., compiladores). Developmental Biology of the Axolotl. Oxford University Press. Nueva York. 320 pp.
- Bojórquez, J. 1994. Informe de la calidad del agua de los canales de Xochimilco, en relación al proyecto de Rescate Ecológico de Xochimilco. 417 pp.

- Calderón, I. y Rodríguez, M. 1986. Estado de conservación de las especies del género *Ambystoma* (Amphibia: Caudata) de algunos lagos y lagunas del eje neovolcánico central. Tesis profesional, ENEP Iztacala, UNAM, México D.F. 55 pp.
- Calderón, R.; Páez, F.; Pérez, P., y Yáñez, C. 1989. Aspectos biológicos de los ambistómidos localizados en algunos canales de Xochimilco. Trabajo trimestral. UAM-Xochimilco. México, D.F. 15 pp.
- Callan, H. 1966. Chromosomes and nucleoli of the axolotl, *Ambystoma mexicanum*. Journal of Cell Science. 10: 85-108 pp.
- Cano, A. 1994. Metamorphic stages in *Ambystoma mexicanum*. Axolotl Newsletter. Indiana University. Axolotl Colony, Indiana 23: 64-71 pp.
- Carey, J. y Judge, D. 2000. Longevity Records: Life Spans of Mammals, Birds, Amphibians, Reptiles, and Fish. Monographs on Population Aging, 8. Odense University Press. Germany. 214 pp. Disponible en red: <http://www.demogr.mpg>.
- Casas, G. 1984. La Herpetología en México. Naturaleza. 4: 216-224 pp.
- Castanet, J. 1974. Etude histologique des marques squelettiques de croissance chez *Vipera aspis* (L.) (Ophidia, Viperidae). Zoologica Scripta. 3: 137-151 pp.
- Castanet, J.; Meunier, F., y Ricqlés, A. 1977. L'enregistrement de la croissance cyclique par le tissu osseux chez les vertébrés poikilothermes: données comparatives et essai de synthèse. Bulletin Biologique de la France et de la Belgique. 111 (2):183-302 pp.
- Castillo-Rojas, G.; Mazari-Hiriart, M., y López-Vidal, Y. 2004. *Helicobacter pylori*: Focus on CagA and VacA major virulence factors. Salud pública de México. 46: 538-548 pp.
- CITES. 2003. Informe de actividades que México desarrolló en el periodo comprendido de febrero de 2002 a febrero de 2003. En: Convention on international trade in endangered species of wild fauna and flora. Forty-ninth meeting of the standing committee Geneva (Switzerland) Reports of regional representatives. North America. 27-29 pp. Disponible en red: <http://www.cites.org>
- Cuaderno Estadístico Delegacional INEGI. 2001. Delegación Xochimilco. México D.F. 108 pp.
- Danni, T. 1977. Etude comparée du caryotype de deux espèces d' *Ambystoma*: *A. dumerilii* et *A. mexicanum* (Shaw). Rev. Brasil. Biol., 37(3): 635-642.
- Duellman, W. y Trueb, L. 1986. Biology of Amphibians. The Johns Hopkins University Press. Londres. 670 pp.
- Duhon, S. 1997. The Axolotl and its native habitat –Yesterday and today. Axolotl Newsletter. Indiana University. Axolotl Colony, Indiana. 26: 14-17 pp.

- Echeverría, D. 1991. Esqueletocronología: un método para la estimación de la edad en anfibios y reptiles. Boletín de la Asociación Herpetológica. Buenos Aires Argentina. 6: 1-10 pp.
- Ensastigue, J. 2003. Cultivo experimental del ajolote (*Ambystoma mexicanum*), guía para su conservación en el Parque Ecológico de Xochimilco. Tesis profesional, FES Zaragoza, UNAM, México D.F. 68 pp.
- Estrada, E.; Peralta, L., y Rivas, P. 1982. Manual de Técnicas Histológicas. AGT. Editor. México D.F. 1ª Edición. México D.F. 140 pp.
- Farías, J. 1984. Xochimilco. Colección de delegaciones políticas. Gobierno del Distrito Federal. México D.F. 152 pp.
- Fernández, C. y Luxmoore, R. 2004. The value of the wildlife trade. WCMC Publications 51 pp. Disponible en red: www.unep-wcmc.org
- Flores, 1982. Determinación de algunos metales tóxicos en sedimentos del lago de Xochimilco. Tesis profesional, IPN, México D.F. 106 pp.
- Flores-Villela y Navarro, A. 1993. Biología y problemática de los vertebrados en México. Ciencias. UNAM, México. 7: 33- 42 pp.
- Flores-Villela. 1998. Herpetofauna de México: distribución y endemismo. Págs. X-x en (Ramamoorthy, T.; Bye, R.; Lot, A., y Fa, J., compiladores). Diversidad biológica de México. Orígenes y distribución. Inst. Biología. UNAM. México D.F. 251-278 pp.
- Frías, P. 2005. *Rana montezumae* en el Jardín Botánico de la UNAM. Estudios Fenológicos y detección de enfermedades y malformaciones. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 76 pp.
- Frost, D. 2004. Amphibian Species of the World 3.0. An Online Reference. The American Museum of Natural History. USA. Disponible en red: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.php>.
- García, P. 2003. Características de hábitat y atributos demográficos de *Ambystoma ordinarium* Taylor 1940 (Amphibia: Caudata) en agua Zarca, municipio de Morelia. Tesis de Maestría. Facultad de Biología, UMSNH, México Morelia. 68 pp.
- Gilbert, S. 1985. Biología del desarrollo. Ed. Omega. México D.F., 724 pp.
- González A., Camarillo, R., Mendoza, F., Mancilla, M. 1986. Impact of expanding human populations on the herpetofauna of the Valley of Mexico. Herpetological Review. 17 (1): 30-31 pp.

- González, E.; Méndez, T., y Arana, F. 1995. Estudio preliminar sobre la concentración de metales pesados en “Charal”, “Acocil” y “Ajolote”, principales especies endémicas comestibles, de la zona lacustre de Xochimilco. II seminario internacional de investigadores de Xochimilco. México D.F. 30 pp.
- González, J. 2004. Primer informe de gobierno del jefe delegacional en Xochimilco. De octubre de 2003 a septiembre de 2004. Disponible en red: <http://www.gob.mx>.
- González, S. 2006. Evaluación *in situ* del efecto biológico de metales en el ajolote *Ambystoma mexicanum*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 96 pp.
- Gosh, S.; Roy, S.; Pferfer, A.; Schmitt, M.; Verma, I.; Bryant, S.; Gardiner, D. 2001. Advances in Functional Analysis in Urodele Amphibians. Axolotl Newsletter. Indiana University, Axolotl Colony, INDIANA 29: 365-370 pp.
- Graham, K., y Powell, G. 1999. Status of the long-toed salamander *Ambystoma macrodactylum* in Alberta. Alberta Wildlife status report No. 22. 19 pp.
- Graue, V. 1998. Estudio demográfico y genético de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* en el lago de Xochimilco. Tesis doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F. 108 pp.
- Gutiérrez, J. y Sánchez, F. 1998. Matemáticas para las ciencias naturales. Sociedad matemática mexicana. México. D.F. 590 pp.
- Gutiérrez, E.; Ruiz, E.; Huerto, R.; Uribe, E., y Martínez, M. 1997. Avances y perspectiva del control del lirio acuático en México. En: Memoria de la Reunión Regional sobre control Integrado del lirio Acuático. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Cuernavaca, México. pp. 23. Disponible en red: www.fao.org/ag/AGp/agpp/IPM/Weeds/Download/mex.pdf
- Heralecky, T. 1990. Seguimiento del ciclo reproductivo de *Ambystoma mexicanum*. Protocolo de servicio social. UAM Xochimilco, México D.F. 96 pp.
- Horne, M. y Dunson W. 1995. Effects of low pH, metals, and water hardness on larval amphibians. New York. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 29 (4) 500-505 pp.
- Huacuz, D. 2001. Estado de conservación del género *Ambystoma* en Michoacán, México. UMSNH, UNAM, SEMARNAT, México Morelia Michoacán. 50 pp.
- Huacuz, D. 2002. Plan de Manejo del achoque de Pátzcuaro Michoacán *Ambystoma dumerilii*. México. UMSNH, UNAM, SEMARNAT, México Morelia Michoacán. 60 pp.

- Huacuz, D. 2003. Estado de conservación de *Ambystoma rivulare* Taylor, (1940) en el santuario de Sierra de Chincua de la reserva de la Biosfera "Mariposa Monarca". *Biológicas*. 5: 51-63 pp.
- Huidobro, L. 2003. Selección de artes de pesca. Págs. 95-97 en (De la Lanza, G., compiladora). Manual para la colecta, el manejo y las observaciones de campo para bioindicadores biológicos de calidad del agua. AGT Editor, S.A. México. D.F. 223 pp.
- Jones, C. 2002. Water quality model for the reintroduction of the axolotl (*Ambystoma mexicanum*) into the Canals of Xochimilco, Mexico City. Tesis profesional. Universidad de Trent, Canadá. 80 pp.
- Lambaer-Arroyo, D. 2003. Estructura y composición química y anillos de crecimiento de la uña de *Kinosternon integrum*, por microscopía de luz y microscopía electrónica de barrido. Tesis profesional, Facultad de ciencias, UNAM, México D.F. 99 pp.
- Larson, K.; Duffy, W.; Johnson, E.; Donovan, M., y Lannoo, M. 1999. Paedocannibal morph barred tiger salamanders (*Ambystoma tigrinum mavortium*) from Eastern South Dakota. *The American Midland Naturalist*. 141 (1): 124-139 pp.
- Laposata, M. y Dunson W. 1998. Effects of Boron and Nitrate on Hatching Success of Amphibian Eggs. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 35 (4) 615-619 pp.
- Lefcort, H.; Hancock, K.; Maur, K.; Rostal, D. 1997. The effects of used motor oil, silt, and the water mold *Saprolegnia parasitica* on the growth and survival of salamanders (genus *Ambystoma*). New York. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 32(4) 383-388 pp.
- Lot, A. y Novello, A. 2004. Iconografía y estudio de plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores. Instituto de Biología UNAM. Dirección general de divulgación de la ciencia. 206 pp.
- Magaña, V.; Vázquez, G.; González, Ma. del R.; Moreno M.; 2006. Programa de Estaciones Meteorológicas de Bachillerato Universitario (PEMBU). México, D.F. Xochimilco. Estación meteorológica ENEP1-Gabino Barreda. Disponible en red: <http://pembu.atmosfcu.unam.mx/php/pembu.php>
- Maya, M. 2003. Estudio histopatológico de algunas enfermedades y lesiones en la colonia de ajolotes (*Ambystoma mexicanum*) del laboratorio de la FES Iztacala. Tesis profesional, FES Iztacala, UNAM, México D.F. 59 pp.
- Mckay, J. 2003. An evaluation of captive breeding and sustainable use of the mexican axolotl *Ambystoma mexicanum*. Tesis de maestría. Instituto Durrell de conservación y Ecología, Universidad de Kent en Canterbury, Londres. 38 pp.

- Méndez-Juárez, B. 2003. Aspectos de la estrategia reproductora en la especie vivípara *Sceloporus serrifer*. Tesis profesional, FES Iztacala, UNAM, México D.F. 63 pp.
- Metts, B.; Hopkins, W. y Nestor, J. 2005. Interaction of an insecticide with larval density in pond-breeding salamanders (*Ambystoma*). *Freshwater Biology*. 50: 685-696 pp.
- Montaño, J. 2003. Correlación morfométrica de las glándulas Pineal, Tiroides e Hipófisis con la morfología gonadal de *Ambystoma tigrinum* (Amphibia: Caudata) durante un ciclo anual. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 72 pp.
- Montaño, J. 1995. Estructura de la glándula tiroides en los estadios larvales y adultos de *Ambystoma tigrinum* durante un ciclo anual Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 48 pp.
- Monello, R. y Wright, R. 1999. Amphibian habitat preferences among artificial ponds in the Palouse region of northern of Idaho. *Journal of Herpetology*, 33: 298-303 pp.
- Monello, R. y Wright, R. 2001 Predation by goldfish (*Carassius auratus*) on eggs and larvae of the eastern long-toed Salamander (*Ambysoma macrodactylum columbianum*). *Journal of Herpetology*, 35 (2) 350-353 pp.
- Morris, M. y Brandon, R. 1984. Gynogenesis and hibridization between *Ambystoma platineum* and *Ambystoma texanum* in Illinois. *Copeia*. 2: 324-337 pp.
- Nace, G.; Culley, D.; Emmons, M.; Gibbs, E. 1974. Amphibians: Guidelines for the Breeding, Care and Management of Laboratory Animals. National Academy of Sciences, Washington, D.C. Institute for Laboratory Animal Research (ILAR). 156 pp. Disponible en red: http://darwin.nap.edu/openbook.php?record_id=661&page=R1
- Nebeker, A.; Schuytema, G.; Ott, S. 1995. Effects of cadmium on growth and bioaccumulation in the northwestern salamander *Ambystoma gracile*. New York, Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 29 (4) 492-499 pp.
- Nebeker, A.; Schuytema, G.; Griffis, W.; Cataldo, A. 1998. Impact of Guthion on survival and growth of the frog *Pseudacris regilla* and the salamanders *Ambystoma gracile* and *Ambystoma maculatum*. New York, Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 35(1) 48-51 pp.
- NOM-059-ECOL-2001; Sección de Anfibios y Reptiles. Gaceta Ecológica. SEMARNAP.
- Ott, J. y Scott, D. 1999. Effects of Toe-clipping and PIT-taggin on growth and survival in metamorphic *Ambystoma opacum*. *Journal of Herpetology*. 33 (2) 343-348 pp.
- Rangel, M. 1981. Determinación de algunos metales tóxicos en aguas del lago de Xochimilco. Tesis profesional, IPN, México D.F. 57 pp.
- Redondo, N. 1999. Aislamiento de bacterias asociadas con infecciones en cultivo de ajolote (*Ambystoma mexicanum*). *Hidrobiológica*, 9 (1): 9-14 pp.

- Reyes, G. 2003. Hábitos alimentarios de la salamandra *Ambystona altamirani* en un bosque templado del Estado de México. Tesis profesional, FES Iztacala, UNAM, México D.F: 55 pp.
- Rodríguez, Ma. 2002. Frecuencia de aislamiento de *Aeromonas hydrophila* a partir del tracto intestinal de *Oreochromis aureus* (Tilapia) en cultivo y del agua en que habitan. 1^{er} congreso iberoamericano virtual de acuicultura. 947- 957 pp. Disponible en red: <http://www.civa2002.org>.
- Rojas, T. 1995. Presente pasado y futuro de las chinampas. Centro de investigaciones y estudios superiores en Antropología social. Patronato del parque ecológico de Xochimilco. México D.F. 324 pp.
- Rossell, R. y Sheehan, J. 1998. Comparison of histological staining procedures for skeletochronological studies (*Ambystoma talpoideum*). Herpetological Review, 29 (2): 90-95 pp.
- Russell, A.; Powell, L.; Hall, D. 1996. Growth and age of Alberta long-toed salamanders (*Ambystoma macrodactylum krausei*): a comparison of two methods of estimation. Canadian Journal of zoology, 74 (3): 397- 412 pp.
- Sandoval, J. 2003. Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco D.F. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 65 pp.
- Sandoval, E.; Rojas, A.; Guzmán, C.; Carmona, L.; Ponce, R.; León C.; Loyola C.; Vallejo, M.; Medina, A. 2005. Técnicas aplicadas al estudio de la anatomía vegetal. Instituto de Biología. UNAM, Cuadernos 38. México, D.F. 278 pp.
- Sánchez, R.; Aguirre, A.; Becerra, B. y Cabrera, D. 1995. Ecología de la comunidad herpetológica del humedal de Tláhuac. Págs. 359-365 en (Edwin-Stephan., eds) Segundo seminario internacional de investigadores de Xochimilco. Tomo II. México D.F. 470 pp.
- Scott, P. 1984. Axolotls. Ed. T.F.H. Publications. E.U. 94 pp.
- Schlotter, R. y Ward, B. 1991. Bacterial study in axolotls. Axolotl Newsletter. Indiana University, Axolotl Colony, Indiana. 20: 36-38 pp.
- Semlitsch, R. 1983. Structure and Dynamics of two breeding populations of the Eastern Tiger Salamander, *Ambystoma tigrinum*. Copeia, 3: 608-616 pp.
- Sessions, S. 1982. Cytogenetics of diploid and triploid salamanders of the *Ambystoma jeffersonianum* complex. Journal Chromosoma, 84 (5): 599-621 pp.

- Shaffer, B. 1989. Natural History, Ecology, and Evolution of the Mexican “Axolotls”. Axolotl Newsletter. Indiana University, Axolotl Colony, E.U. 18: 5-11 pp.
- Smith, H. y Smith, R. 1971. Synopsis of the Herpetofauna of Mexico. Volume I. Analysis of the literature on the mexican axolotl. University of Colorado. Colorado. 245 pp.
- Smith, H. 1989 a. Discovery of the axolotl and its early history in biological research. Págs. 3-12 en (Armstrong, J. y Malacinski, G. eds). Developmental Biology of the Axolotl. Oxford University Press. Nueva York. 320 pp.
- Smith, H. 1989 b. The axolotl in its Native Habitat. Axolotl Newsletter. Indiana University, Axolotl Colony, Idiana. 18: 12-16 pp.
- Solórzano-Aguílera, A. En proceso. Descripción de los Ambystomas del Paleolago de Santa María Amajac del estado de Hidalgo. FES Zaragoza, UNAM. México, D.F.
- Suresh, M. y Pancharatna, K. 2001. Ocurrance of growth marks in the cross section of phalanges and long bones of limbs in tropical anurans. Herpetological Review, 32 (3): 165- 167 pp.
- Trenham, P.; Shaffer, B.; Koenig, W. y Stromberg, M. 2000. Life history and demographic variation in the California tiger salamander (*Ambystoma californiense*). Copeia, 2: 365 – 377 pp.
- Urbietta, V. 1979. Estudios ultra estructurales del pulmón en *Ambystoma lacustris* durante su metamorfosis. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 122 pp.
- Uribe-García, A. 2002. Aislamiento y caracterización de bacterias patógenas de *Ambystoma mexicanum*. Tesis profesional, FES Iztacala, UNAM, México D.F. 46 pp.
- UNEP-WCMC. 2004. Draft-Report. Notes on the development of rapad assessment techniques for the review of animal taxa. 14 pp.
- Valiente-Riveros, E. 2006. Efecto de los peces introducidos en Xochimilco, en la población del ajolote. Tesis de maestría, Inst. Biología, UNAM, México, D.F.
- Vergara, J. 1990. Contribución al estudio del aparato reproductor masculino en el Anfibio-Urodelo: *Ambystoma mexicanum*. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 50 pp.
- Zambrano, L. 2004. Abundancia y estructura poblacional del Axolótl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Informe final del proyecto AS004. Instituto de biología, UNAM, México D.F. 35 pp.
- Zar, J. 1996. Biostatistical analysis. 3^a ed. Prentice Hall. New Jersey. 121 pp.
- Zug, G.; Vitt, L. y Caldwell, J. 2001. Herpetology. An introductory Biology of Amphibians and Reptiles. Second Edition. Academic press. E.U. 630 pp.

APÉNDICES

Apéndice 1

Área total muestreada para cada temporada de colecta. La atarraya al ser lanzada adopta la forma de una circunferencia. Debido a que se utilizaron atarrayas con radios diferentes, el área muestreada se calculó por separado par cada una de las temporadas.

Fórmula del área de un círculo.

$$A = \pi(r)^2$$

- a) Unidad de área cubierta por la atarraya para la primera temporada de colecta (31/01/2002 a 15/04/2003). Como no fue posible obtener el radio de apertura promedio por lance de ésta red se obtuvo la apertura aproximada, calculándola de la siguiente manera:

Por factor de conversión o regla de tres

$$A_1 = a \left[\frac{r}{b} \right]$$

A_1 : área cubierta por la atarraya para esa temporada de colecta.

a : apertura de la red al 75% en cada lance (valor asignado de manera arbitraria).

r : radio de la atarraya, para esa temporada de colecta.

b : apertura de la red al 100% en cada lance.

Sustitución:

$$A_1 = 75\% \left[\frac{3.5m}{100\%} \right] = 2.6m$$

Unidad de área de la primera temporada de colecta.

$$U.A._1 = \left[(\pi)(r)^2 (NL_1) \right]$$

$U.A._1$: Unidad de área para la primera temporada de colecta.

π : 3.1416.

r : radio de apertura aproximada calculado para esa red.

NL_1 : Número de lances totales para la primera temporada de colecta.

Sustitución

$$U.A._1 = \left[(\pi)(2.6)^2 (1596) \right] = 33,894.59674m^2$$

Por tanto la unidad de área muestreada para la primera parte (31 de enero de 2002 a 15 de abril de 2003) de la temporada de colecta fue de 33,894.596 m².

b) Área cubierta por la segunda atarraya para la segunda temporada de colecta (14/05/2003 al 01/10/2003). Debido a que la atarraya no se abrió al 100% en cada lance, se decidió, realizar varios lances en tierra firme y tomar la longitud del radio de cada lance para posteriormente obtener un promedio de la apertura de la red (radio promedio).

$$\bar{r} = \left[\frac{\sum r}{NL} \right]$$

Donde:

\bar{r} = Longitud promedio del radio de la red en metros.

$\sum r$ = Suma de la longitud del radio de la atarraya de todos los lances realizados para este cálculo.

NL = No de lances realizados para este cálculo.

Sustitución

$$\bar{r} = \left[\frac{17.4}{6} \right] = 2.9m$$

Por tanto la apertura de radio promedio (\bar{r}) utilizada para calcular la unidad de área para la segunda temporada de colecta (14/05/2003 01/10/2003) es de: 2.9m.

Unidad de área para la segunda temporada de colecta

$$U.A._2 = \left[(\pi)(\bar{r})^2 (NL_2) \right]$$

$U.A._2$: Unidad de área para la segunda temporada de colecta.

π : 3.1416.

\bar{r}^2 : Promedio de apertura del radio calculado para esa red.

NL_2 : Número de lances totales para la segunda temporada de colecta

Sustitución:

$$U.A._2 = \left[(\pi)(2.9)^2 (320) \right] = 8,454.67392m^2$$

Por tanto la unidad de área muestreada para en la segunda temporada de colecta 14 de mayo de 2003 a 1º de octubre de 2003, fue de: 8,454.67 m².

Finalmente el área total muestreada durante la temporada de colecta 2002-2003 fue de:

$$U.A._1 + U.A._2 = \left[33,894.59674m^2 + 8,454.67392m^2 \right] = 42,349.3m^2$$

Cuadro 16. Diámetro y el radio de apertura expresado en metros de la atarraya de seis lances realizados en tierra firme para la segunda temporada de colecta, así como el promedio de cada uno, lo cual nos permitiría calcular el radio promedio de apertura de esta atarraya.

Lance	Diámetro	Radio
1	6.43	3.2
2	4.24	2.1
3	5.7	2.8
4	6.0	3.0
5	6.0	3.0
6	6.43	3.2
Suma	34.8	17.4
\bar{X}	5.8	2.9

Apéndice 2

Densidad poblacional (organismos capturados/ unidad de área).

$$D = \left[\frac{N_{sp_i}}{(U.A._1 + U.A._2)} \right]$$

D = Densidad.

$U.A._1$ = Unidad de área para la primera temporada de colecta

$U.A._2$ = Unidad de área para la segunda temporada de colecta

N_{sp_i} = Número total de organismos de la especie “ i ” capturados (2002-2003).

Sustitución

$$D = \left[\frac{N_{Spi}}{(U.A._1 + U.A._2)} \right] = \left[\frac{43}{33,894.59674m^2 + 8,454.67392m^2} \right] = \left[\frac{43}{42349.3 m^2} \right] = 0.001 \text{ organismo}/m^2$$

Por tanto la densidad poblacional, de *A. mexicanum* para la temporada de colecta 2002-2003 en la zona lacustre de Xochimilco, es de 0.001 organismo/ m^2 , siendo el área total muestreada de la zona lacustre de Xochimilco de 42349.27 m^2 (4.2 has).

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos metros cuadrados son necesarios muestrear para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1m^2}{0.001 \text{ organismo}} \right] = 1000 m^2$$

Por tanto, para capturar a un organismo de la especie *A. mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco, es necesario muestrear como mínimo un área de 1000 m^2 (1/ 1000 m^2).

Apéndice 3

Densidad poblacional. Utilizando la fórmula del apéndice 2. Se excluyen los 22 ajolotes capturados en el canal Puente de Urrutia y los 10 capturados fuera del horario de muestreo, durante 2002-2003 en el presente estudio, así como los 120 de lances totales realizados en este canal, por considerar a esta localidad como un “out layer”.

Sustitución

$$D = \left[\frac{N_{Spi}}{(U.A._1 + U.A._2)} \right] = \left[\frac{21}{26,461.5m^2 + 14,531.4m^2} \right] = \left[\frac{21}{40,992.9m^2} \right] = 0.0005 \text{ organismo}/m^2$$

Por tanto la densidad poblacional, de *A. mexicanum* para la temporada de colecta 2002-2003 en la zona lacustre de Xochimilco, sin considerar a los ajolotes capturados en el canal Puente de Urrutia ni el número de lances realizados en este mismo, es de 0.0005 organismo/m², y el área total muestreada de la zona lacustre de Xochimilco sería de 40,992.9 m² (4.0 has).

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos metros cuadrados son necesarios muestrear para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco sin considerar al canal Puente de Urrutia.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 m^2}{0.0005 \text{ organismo}} \right] = 2,000m^2$$

Por tanto, para capturar a un organismo de la especie *A. mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco sin considerar al canal Puente de Urrutia dentro de los muestreos, sería necesario muestrear como mínimo un área de 2000 m². Lo que da como resultado una densidad poblacional de 1 organismo/ 2000 m².

Apéndice 4

Esfuerzo de captura

Índice que nos permite estimar que cantidad de lances son necesarios realizar como mínimo para capturar un organismo de la especie *A. mexicanum* en una época determinada.

$$EC = \left[\frac{Nsp_i}{NLT} \right]$$

EC = Esfuerzo de captura

Nsp_i = Número de organismos capturados durante toda la temporada de colecta.

NLT = Número de lances totales realizados durante toda la temporada de colecta.

Sustitución

$$EC = \left[\frac{43}{1916} \right] = 0.022 \text{ organismo/ lance}$$

Por tanto el esfuerzo de captura para la temporada de colecta 2002-2003, fue de 0.022 organismo de la especie *A. mexicanum* por un lance de atarraya de 3.5 m y 4 m de radio y una luz de malla de una pulgada y 2 cm.

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos lances son necesarios para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 \text{ lance}}{0.022 \text{ organismo}} \right] = 45 \text{ lances}$$

Es necesario realizar como mínimo 45 lances con una atarraya de 3.5 m ó 4.0 m de radio y una luz de malla de 2.0 cm ó de una pulgada para obtener un organismo de la especie *A. mexicanum*, en la zona lacustre de Xochimilco.

Apéndice 5

Densidad poblacional de Calderón *et al.* (1989)

Calderón *et al.* (1989), no calculó la densidad poblacional de su muestreo en mayo de 1989, sin embargo reporta los datos con los cuales es posible estimar la densidad poblacional de *A. mexicanum* en esa época. Muestreó durante tres días, en el canal Atlilolco y la laguna de Texhuilo, realizó 178 lances con una atarraya de 3 m de diámetro, muestreando 708 m², y colectó 26 ajolotes (*A. mexicanum*).

$$D = \left[\frac{N_{sp_i}}{(U.A.)} \right]$$

D = Densidad poblacional.

$U.A.$ = Unidad de área muestreada.

N_{sp_i} = Número de organismos de la especie “ i ” capturados durante su muestreo.

Sustitución

$$D = \left[\frac{N_{Spi}}{(U.A.)} \right] = \left[\frac{26}{708 \text{ m}^2} \right] = 0.04 \text{ organismo/m}^2$$

Por tanto la densidad poblacional, de *A. mexicanum* obtenida a partir de los datos reportados por Calderón *et al.* (1989) para el canal de Atlilolco y la laguna de Texhuilo durante mayo de 1989 en la zona lacustre de Xochimilco, es de 0.04 organismos/m².

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos metros cuadrados son necesarios muestrear para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco con lo datos reportados por Calderón *et al.* (1989).

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 \text{ m}^2}{0.02 \text{ organismo}} \right] = 1 \text{ organismo} / 50 \text{ m}^2$$

Por tanto, para capturar a un organismo de la especie *A. mexicanum* en ambos sitios de la zona lacustre de Xochimilco, en mayo de 1989 era necesario muestrear como mínimo un área de 50 m².

Apéndice 6

Esfuerzo de captura de Calderón *et al.* (1989).

Utilizando la misma fórmula del apéndice 4, pero con los datos reportados por Calderón *et al.* (1989), es posible estimar el esfuerzo de captura de *A. mexicanum* en mayo de 1989. Con tres días de colecta, en el canal Atlilolco y la laguna de Texhuilo, realizó 178 lances, muestreó 708 m², y colectó 26 ajolotes (*A. mexicanum*).

Sustitución

$$EC = \left[\frac{Nsp_i}{NLT} \right] = \left[\frac{26}{178} \right] = 0.146 \text{ organismo / lance}$$

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos lances son necesarios para capturar a un ajolote en el canal Atlilolco y la laguna de Texhuilo en mayo de 1989.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 \text{ lance}}{0.146 \text{ organismo}} \right] = 7 \text{ lances}$$

Era necesario realizar como mínimo siete lances para obtener un organismo de la especie *A. mexicanum*, en el canal Atlilolco y la laguna de Texhuilo, durante mayo de 1989.

Apéndice 7

a) Densidad poblacional de Graue (1998). La autora no calculó la densidad poblacional para *A. mexicanum* en su muestro preliminar (1992-1993). Sin embargo, reportó los datos con los cuales es posible calcularla. En dicho muestreo capturó 25 organismos de la especie *A. mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco (realizó 122 lances y abarcó 2375 m²). Utilizando la fórmula de densidad poblacional del apéndice 5, es posible estimar la densidad poblacional.

Sustitución:

$$D = \left[\frac{N_{Spi}}{(U.A.)} \right] = \left[\frac{25}{2375m^2} \right] = 0.01 \text{ organismo}/m^2$$

Por tanto la densidad poblacional de *A. mexicanum* durante 1992-1993 en la zona lacustre de Xochimilco, era de 0.001 organismo/m², y el área total muestreada por Graue (1998), durante su muestro preliminar fue de 2375 m² (0.2has).

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos metros cuadrados eran necesarios muestrear para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco entre 1992 a 1993, con los datos de Graue (1998).

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 m^2}{0.01 \text{ organismo}} \right] = 100 m^2$$

El esfuerzo de captura para *A. mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco durante 1992-1993 es de 1 organismo/ 100 m², según los datos de Graue (1998).

b) Densidad poblacional de Graue (1998). La densidad poblacional reportada por Graue (1998) para el periodo 1994-1995 fue de 0.006 organismo/m² (realizó 576 lances y capturó 76 organismos). Por factor de conversión:

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 m^2}{0.006 \text{ organismo}} \right] = 167 m^2$$

La densidad poblacional para *A. mexicanum* en la zona lacustre de Xochimilco durante 1995-1996 era de 1 organismo/ 167 m², según los datos de Graue (1998).

Apéndice 8

a) Esfuerzo de captura de Graue (1998).

Utilizando la misma fórmula del apéndice 4, pero con los datos reportados por Graue (1998), es posible estimar el esfuerzo de captura de *A. mexicanum* entre 1992-1993. La autora realizó 122 lances y colectó 25 ajolotes en su muestreo preliminar.

Sustitución

$$EC = \left[\frac{Nsp_i}{NLT} \right] = \left[\frac{25}{122} \right] = 0.2 \text{ organismo / lance}$$

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos lances son necesarios para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco en entre 1992-1993.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 \text{ lance}}{0.2 \text{ organismo}} \right] = 5 \text{ lances}$$

Por tanto era necesario realizar como mínimo 5 lances para obtener un organismo de la especie *A. mexicanum*, en la zona lacustre de Xochimilco, entre 1992 a 1993.

b) Esfuerzo de captura de Graue (1998).

Utilizando la misma fórmula del apéndice 4, pero con los datos reportados por Graue (1998), es posible estimar el esfuerzo de captura de *A. mexicanum* entre 1995-1996. La autora realizó 576 lances y colectó 76 ajolotes en su muestreo principal.

Sustitución

$$EC = \left[\frac{Nsp_i}{NLT} \right] = \left[\frac{76}{576} \right] = 0.13 \text{ organismo / lance}$$

Por factor de conversión o regla de tres (FC)

Cálculo necesario para estimar cuántos lances son necesarios para capturar a un ajolote en la zona lacustre de Xochimilco en entre 1995-1996.

$$FC = 1 \text{ organismo} \left[\frac{1 \text{ lance}}{0.13 \text{ organismo}} \right] = 8 \text{ lances}$$

Por tanto era necesario realizar como mínimo 8 lances para obtener un organismo de la especie *A. mexicanum*, en la zona lacustre de Xochimilco, entre 1995 a 1996.