



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE BIOLOGÍA
ECOLOGÍA

DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE *Ambystoma mexicanum* Y SU RELACIÓN CON LAS VARIABLES LIMNÉTICAS DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

KAREN LEVY GÁLVEZ

TUTOR PRINCIPAL: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ
INSTITUTO DE BIOLOGÍA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DRA. ELIZABETH ORTEGA MAYAGOITIA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM

DR. JOSÉ JAIME ZÚÑIGA VEGA
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

Ciudad Universitaria, C.d. Mx. JUNIO 2017



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.

Lic. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión del Subcomité por Campo de Conocimiento de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 23 de enero de 2017, se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** de la alumna **LEVY GÁLVEZ KAREN** con número de cuenta **406100193** con la tesis titulada "**Distribución actual de *Ambystoma mexicanum* y su relación con las variables limnéticas de los canales de Xochimilco**", realizada bajo la dirección del **DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ**:

Presidente: DRA. MARISA MAZARI HIRIART
Vocal: DRA. GABRIELA PARRA OLEA
Secretario: DR. JOSÉ JAIME ZUÑIGA VEGA
Suplente: DR. JORGE CIROS PÉREZ
Suplente: DRA. NANDINI SARMA

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, Cd. Mx., a 27 de abril de 2017.



DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA



c.c.p. Expediente del (la) interesado (a).

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca número 288740.

A mi Tutor Principal:

Dr. Luis Zambrano González

A los miembros del Comité Tutor:

Dra. Elizabeth Ortega Mayagoitia

Dr. José Jaime Zúñiga Vega

Índice

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	
Anfibios en riesgo	3
Axolote mexicano	4
Hábitat y estado de conservación	5
Antecedentes	6
Pregunta de investigación y objetivos	8
Métodos	
Sitio de estudio	9
Colecta de datos	11
Censo de <i>Ambystoma mexicanum</i>	12
Variables limnológicas	13
Resultados	
Censo de <i>Ambystoma mexicanum</i>	15
Caracterización de las variables abióticas de Xochimilco	17
Análisis de Componentes Principales	22
Discusión	
Situación actual del axolote	26
Condiciones limnológicas	27
Estrategias y recomendaciones	29
Conclusión	31
Bibliografía	32
Anexos	
Anexo I Colectas históricas de <i>Ambystoma mexicanum</i>	39
Anexo II Variables limnológicas de cada sitio	45
Anexo III Diferencias significativas entre sitios	46

Resumen

Las poblaciones de anfibios están disminuyendo drásticamente en todo el mundo. El axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*) es una salamandra neoténica microendémica del Valle de México que se distribuye actualmente en Xochimilco y Chalco que se encuentra en peligro de extinción. El hábitat del axolote enfrenta una gran presión por la urbanización, así como actividades agrícolas, turismo y presencia de especies exóticas. En consecuencia se ha registrado una disminución dramática en el número de capturas de axolote en los últimos años sugiriendo un declive poblacional. El objetivo de este estudio es conocer la distribución y ocurrencia de *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco mediante un censo basado en detección de organismos y su relación con las variables limnológicas del sistema. El muestreo se llevó a cabo de marzo a julio de 2013 en 35 sitios representativos de la heterogeneidad del sistema lacustre de Xochimilco. Se realizó un total de 1,055 lances de atarraya, 1,031 puntos de muestreo de parámetros limnológicos y 74 puntos de muestreo de nutrientes. Se registraron dos detecciones visuales de *A. mexicanum*, una en el canal Texhuilo y otra en la Pista de Remo y Canotaje “Virgilio Uribe”. Sin embargo, no fue posible capturar ejemplares de la especie. Se estimó una ocurrencia de 99.1 ind/km². Esto indica que la ocurrencia de axolotes ha disminuido 98.3% desde el año 1996. Los dos sitios de avistamiento presentaron condiciones limnológicas similares a otros sitios de la zona chinampera de Xochimilco. Los sitios en donde se registraron detecciones visuales actuales presentan condiciones abióticas distintas a los sitios de capturas previas. Estos resultados corroboran el escenario de la posibilidad de extinción de la especie durante la siguiente década. Para evitarlo, es necesario que se tomen acciones urgentes encaminadas a la restauración del último remanente del hábitat del axolote en vida silvestre.

Abstract

Amphibian populations are decreasing drastically around the world. The axolotl (*Ambystoma mexicanum*) is a microendemic neotenic salamander from the Valley of Mexico distributed in Xochimilco and Chalco, but in danger of extinction. The habitat of the axolotl is facing great pressure, due to urbanization as well as agricultural activities, tourism and the presence of exotic species. Consequently, there has been a dramatic decrease in the number of axolotl catches in recent years, suggesting a population decline. The objective of this study was to determine the distribution and occurrence of *A. mexicanum* in the channels of Xochimilco by means of a census based on the detection of organisms and its relation with the limnological variables of the system. Sampling was carried out from March to July 2013 in 35 sites representative of the heterogeneity of Xochimilco. A total of 1,055 throws of a traditional atarraya net were made, 1,031 sampling points for physicochemical parameters and 74 sampling points for nutrients. Two visual detections of *A. mexicanum* were recorded, one on the Texhuilo channel and another on the Pista de Remo y Canotaje "Virgilio Uribe". However, it was not possible to capture any specimen. An occurrence of 99.1 ind/km² was estimated. This indicates that the occurrence of axolotls has decreased 98.3% since 1996. The two sighting sites present similar limnological conditions to other sites in the chinampa region of Xochimilco. The sites where the current visual detections were registered presented different abiotic conditions than the previous catch sites. These results support the possibility of extinction of the species in the next decade. To avoid this, it is necessary to take urgent actions aimed at the restoration of the last remnants of the wild habitat of the Mexican axolotl.

Introducción

Anfibios en riesgo

Las poblaciones de anfibios están disminuyendo drásticamente en todo el mundo (Stuart *et al.*, 2004; Deichmann *et al.*, 2010). Por ejemplo, más de un tercio del total de las especies están en riesgo de extinción (IUCN, 2008). Actualmente existen 1229 especies de anfibios consideradas en peligro de extinción y en peligro crítico, y 39 extintas en su hábitat natural (IUCN, 2010). Debido al ritmo acelerado de las pérdidas, la determinación de las causas es muy compleja. Se ha reconocido que la pérdida de hábitat es el principal factor, siendo mayor en regiones tropicales y semi tropicales que albergan una gran riqueza de anfibios (Frías-Álvarez *et al.*, 2010). Sin embargo, algunos estudios se han centrado en comprender porqué muchas poblaciones han disminuido aun en hábitats aparentemente prístinos. A esto se le ha denominado *declive enigmático* porque no se ha podido determinar una causa específica (Deichmann *et al.*, 2010). Algunos factores que pueden estar involucrados en este fenómeno son: la contaminación, la calidad del hábitat, el cambio climático, las enfermedades fúngicas y la radiación ultravioleta (Pounds, 2001; Blaunstein *et al.*, 2003; Lips *et al.*, 2006).

México también ha sufrido este declive poblacional de anfibios, lo que resulta particularmente grave si se toma en cuenta que ocupa el quinto lugar en riqueza de anfibios a nivel mundial (372 especies y 250 especies endémicas; Frías-Álvarez *et al.*, 2010). Esta cifra ha aumentado conforme se han ido describiendo más especies (Frías-Álvarez *et al.*, 2008). Las causas de la disminución poblacional de anfibios en México incluyen la destrucción del hábitat, la contaminación y la introducción de especies exóticas (Blaustein *et al.*, 2011).

Se ha reconocido que una de las familias más vulnerables es la Ambystomatidae (*Amblyx* = copa o taza; *stoma* = boca), que es endémica de Norteamérica (Shaffer, 1989). En México existen registros de 17 especies pertenecientes a esta familia. Una de ellas es la emblemática *Ambystoma mexicanum* (Axolote de Xochimilco), una salamandra neoténica microendémica del Valle de México que se distribuye actualmente en Xochimilco y Chalco, y se cree que originalmente se distribuía en los seis lagos que conformaban esta cuenca: Chalco, México, Texcoco, Xaltocan, Xochimilco y Zumpango (Duhon, 1997). La NOM-059-SEMARNAT-2010 coloca al axolote de Xochimilco en la categoría de “especie en peligro de extinción”.

Axolote mexicano

Ambystoma mexicanum se caracteriza por ser de color oscuro, con motas grises-verduzcas, branquias externas en forma de abanico, y una cauda larga y gruesa (Figura 1). La cabeza es grande y el hocico es ancho y aplanado. Carece de párpados móviles y los ojos son de color amarillo iridiscente. Alcanza una longitud de hasta 30 cm y llega a pesar 300 g. Adquiere la madurez sexual al año de edad y se reproduce por medio de espermatozoides que la hembra fertiliza internamente; ovoposita entre 100 y 600 huevos que tardan entre 12 y 18 días en eclosionar. Esta reproducción ocurre sin necesidad de la metamorfosis, reteniendo sus características larvarias (neotenia) (Armstrong *et al.*, 1989; Shaffer, 1989; Huacuz, 2002; Mena-González y Servín-Zamora, 2014). Es una especie carnívora que en las primeras etapas de su ciclo de vida se alimenta de crustáceos, larvas de insectos, caracoles, anfípodos y zooplancton (Chaparro-Herrera *et al.*, 2011). En etapa adulta consume principalmente peces, acociles y otros invertebrados, lo que lo convierte en un depredador (Zambrano y Valiente, 2008).



Figura 1. Fotografía de un ejemplar de *Ambystoma mexicanum* en cautiverio. Foto: Daniel Manzur.

Hábitat y estado de conservación

El hábitat del axolote enfrenta una gran presión de urbanización, así como actividades agrícolas (a cielo abierto o en invernaderos) y pecuarias, turismo y presencia de especies exóticas.

Actualmente, el agua de Xochimilco está contaminada en gran medida por la descarga directa de drenajes (Crossley, 2004), los desechos de los invernaderos (Merlin *et al.*, 2012), y por la acumulación de metales pesados, bacterias y otras sustancias en el sedimento (Bojórquez y Amaro, 2003; Mazari-Hiriart *et al.*, 2008). Las plantas de tratamiento que arrojan agua al sistema funcionan de manera deficiente (Sandoval, 2003). Asimismo, el crecimiento urbano genera que toda el agua residual que se produce se vierta directamente a los canales debido a que no existe red de drenaje. La urbanización es uno de los principales problemas del sistema lacustre de Xochimilco. Por ejemplo, el 65% de los asentamientos irregulares se encuentran en la zona de conservación del Área Natural Protegida. Así, el área de rescate y preservación ecológica disminuyó del 87% en 1980 al 42.2% en 1997 (Zambrano y Valiente, 2008). Además, el sistema agrícola de producción chinampera en ciertas zonas se ha ido sustituyendo por invernaderos, los cuales utilizan grandes cantidades de agroquímicos para su producción que se lixivian y se incorporan al agua de los canales (Torres-Lima y Burns, 2002). Otro de los factores que actualmente impacta a la población de axolotes es la presencia de especies exóticas de peces (carpa y tilapia), las cuales representan el 98% del total de la biomasa de vertebrados (Valiente-Riveros, 2006). Estas especies, además de depredar a los axolotes, también ocasionan cambios en la estructura trófica del sistema y alteran la calidad del agua debido a la resuspensión constante del sedimento durante el forrajeo, al efecto de cascada trófica, y al aumento de los nutrientes de desecho debido a su gran tamaño poblacional (Zambrano y Valiente, 2008).

En consecuencia, se ha registrado una disminución dramática en el número de capturas de axolote en los últimos años (Zambrano *et al.*, 2007; Contreras *et al.*, 2009). La etapa más susceptible para los axolotes es el primer año de vida (Manzur-Trujillo, 2015). Durante esta etapa, la calidad de agua es crucial para su supervivencia debido a que si ésta es deficiente se favorece el crecimiento de hongos en los huevos y disminuye la viabilidad de eclosión (Zambrano y Valiente, 2008). Durante las primeras etapas del ciclo de vida, los huevos y crías recién eclosionadas de los axolotes son depredados por otros organismos, principalmente carpas (Zambrano *et al.*, 2010). Otro factor importante es la pesca clandestina, ya que un organismo de cuatro meses puede ser

capturado con atarrayas fácilmente, lo cual impide que los axolotes alcancen la madurez sexual que ocurre aproximadamente al año de vida (Zambrano y Valiente, 2008). La combinación de estos factores puede explicar por un lado, la distribución tan heterogénea de los organismos y, por otro lado, la fuerte disminución de sus registros en las últimas dos décadas.

Antecedentes

Se han elaborado estudios que registran la acelerada disminución en el número de capturas de *A. mexicanum* sugiriendo un declive poblacional. Entre 1992 y 1996, se llevó a cabo un censo de axolotes en el que se colectaron 101 individuos a lo largo del sistema lacustre estimando una ocurrencia de 6,000 ind/km² (Graue, 1998). Entre 2002 y 2004 se llevó a cabo un estudio para conocer la densidad de axolotes en Xochimilco. En él se recorrieron 62 canales y ocho lagos y se calculó una ocurrencia de 1,200 ind/km² (Zambrano *et al.*, 2007). En un nuevo censo realizado en 2007 y 2008, la ocurrencia se calculó en tan sólo 100 ind/km² (Contreras *et al.*, 2009).

Con base en el segundo censo se modeló la distribución potencial de *A. mexicanum* a partir de parámetros limnológicos del agua de los canales de Xochimilco, encontrando tan sólo 11 sitios probables de distribución. Estos sitios tienen características poco favorables para la ocurrencia de la especie, pues están aislados entre sí, son muy reducidos y se encuentran dispersos en el sistema. Aun así, los sitios se localizan principalmente en zonas en las que predomina el uso de suelo chinampero (Contreras *et al.*, 2009).

En 2007, Zambrano y colaboradores llevaron a cabo un análisis de viabilidad poblacional (con datos de capturas de 2002 y 2003) que simula los cambios poblacionales de *A. mexicanum* bajo distintos escenarios para poder estimar el riesgo de extinción. Este estudio muestra grandes oscilaciones en la tasa de crecimiento proyectado de la población del axolote, lo que podría explicar la acelerada disminución poblacional en las últimas dos décadas. Por ejemplo, una pequeña reducción en la tasa de supervivencia en la etapa de huevo o larva podría aumentar la probabilidad de extinción hasta el 100% en un periodo de 20 años. Esto sugiere que la falta de fuentes de alimento y el aumento de la depredación por parte de especies exóticas pueden llevar a la extinción al axolote. Con base en estos resultados, se encontró que la mejor estrategia para recuperar la población de axolote es aumentar la tasa de supervivencia de los huevos y las larvas. Esto puede lograrse mediante la restauración del hábitat, la erradicación de especies invasoras y el

mejoramiento de la calidad del agua, previo a la implementación de posibles programas de reintroducción. Por lo tanto, si las condiciones en las que vive el axolote en Xochimilco se han mantenido constantes, entonces se esperaría que la especie se encuentre encaminada a su extinción en los próximos años.

Ante esta alarmante situación se han realizado importantes esfuerzos con el objetivo de recuperar las poblaciones de axolotes en los canales de Xochimilco. Por ejemplo, en 2004 inició un proyecto en el que colaboraron el Instituto de Biología de la UNAM y la Delegación Xochimilco con la intención de extraer mediante una pesca intensiva las especies exóticas para disminuir sus poblaciones (Zambrano y Valiente, 2008). La pesca intensiva se ha mantenido de manera intermitente entre 2004 y el presente año. Desde 2011 hasta la fecha se ha impulsado un modelo para la conservación del axolote que consiste en recuperar la vocación chinampera del suelo de Xochimilco al mismo tiempo que se generan refugios en donde no habitan especies exóticas y que constituyen un hábitat favorable para las especies nativas como el axolote, acociles y charales. El objetivo de este modelo es que la conservación biológica se realice al mismo tiempo que se mejoren los ingresos económicos de los chinamperos mediante la implementación de un sistema de mercado sin intermediarios y de comercio justo (Zambrano *et al.*, 2012). Además, se evitan medidas como la reintroducción, ya que se sabe que esta estrategia podría causar un cuello de botella genético, la transmisión de algunas enfermedades y el desplazamiento de organismos silvestres (CONABIO, 2011). Sin embargo, recientemente, la Delegación de Xochimilco junto con la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal y el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC/UAM-X) han impulsado la reintroducción masiva de axolotes en los canales a través del Programa de Conservación del Ajolote. Se cuenta con información de las siguientes: en mayo de 2013 se liberaron 1,000 axolotes; en marzo de 2014 se liberaron 40; y en abril de 2015 se liberaron 500 (Flores, 2013; El Universal, 2014; SEMARNAT, 2015).

Bajo este escenario es urgente realizar un monitoreo que permita evaluar la distribución actual de esta especie en Xochimilco, así como conocer la calidad actual del agua del sistema. Asimismo, un nuevo censo permite sugerir si las acciones de conservación que se han impulsado en Xochimilco han tenido un efecto favorable en la población silvestre de axolotes o si el axolote continúa en vías de extinción.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es la distribución actual de axolotes en Xochimilco? ¿En qué zonas se distribuyen? y ¿Qué variables limnológicas están relacionadas con su detección?

Objetivo

Conocer la distribución y ocurrencia de *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco mediante un censo de organismos y el análisis de variables limnológicas.

Objetivos particulares

Determinar la distribución y ocurrencia actuales de *Ambystoma mexicanum*.

Contrastar la información obtenida con las colectas históricas desde 1992 hasta 2008.

Evaluar las variables limnológicas en las diferentes zonas de Xochimilco para conocer las características actuales del sistema.

Evaluar cómo se relacionan las variables limnológicas actuales con los sitios de detección actuales y con los sitios de colectas históricas.

Métodos

Sitio de estudio

El sistema lacustre de Xochimilco se encuentra dentro del Valle de México y se localiza en la Delegación Política de Xochimilco al sur de la Ciudad de México. Forma parte del Área Natural Protegida “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, cuyas coordenadas geográficas extremas son 19°15'11” y 19°19'15” de latitud Norte; y 99°00'58” y 99°07'08” de longitud Oeste (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006; Valiente-Riveros, 2006). Actualmente, este sistema lacustre está reducido a una serie de canales someros y pequeños lagos (algunos alcanzan hasta 6 metros de profundidad) que han sido modificados por el hombre desde tiempos prehispánicos. Se estima que la longitud total de los canales es de 203 kilómetros. La fuente principal de agua que alimenta estos canales y lagos es agua residual tratada que proviene de tres plantas de tratamiento: Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco (Valiente-Riveros, 2006), así como aporte de agua de lluvia.

Xochimilco posee un valor cultural y ecológico único, pues es uno de los últimos remanentes de la naturaleza lacustre del Valle de México. Culturalmente, Xochimilco encierra una gran historia que se remonta a tiempos prehispánicos, así como a técnicas tradicionales de importancia mundial como la chinampería. Su gran valor le ha conferido el título de Patrimonio Mundial Natural y Cultural de la Humanidad por la UNESCO. Al ser uno de los últimos refugios lacustres en el Valle de México, es uno de los sitios más importantes de la región para las aves migratorias. Así, Xochimilco es considerado desde 2004 como Humedal Representativo cuya importancia es prioritaria en términos de conservación por la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (Ramsar List, 2017).

El sistema lacustre de Xochimilco es heterogéneo con respecto al uso de suelo y por lo tanto, la calidad del agua es diferencial. Zambrano y colaboradores (2009) propusieron una regionalización del sistema basándose en ambos factores (uso de suelo, turbidez, conductividad, pH, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes y análisis bacteriológicos). De acuerdo con esta clasificación, el sistema lacustre de Xochimilco se divide en cuatro zonas: A. Chinampera, B. Chinampera/urbana, C. Urbana y D. Turística (Figura 2). En la zona Chinampera, el uso de suelo está relacionado con la chinampería y la ganadería, además la urbanización es en forma

dispersa, por lo que la calidad del agua es la mejor en el sistema. La zona Chinampera/urbana es una zona en la que se lleva a cabo la chinampería, pero existen también zonas urbanizadas y chinampas abandonadas, por lo tanto, la calidad del agua es intermedia. Además, en esta zona se encuentra la Pista de Remo y Canotaje “Virgilio Uribe” (de aquí en adelante denominada Pista). En la zona Urbana, el uso de suelo es principalmente urbano como asentamientos tanto regulares como irregulares aunque en ella aún existen algunas chinampas activas. Esta zona posee la peor calidad del agua del sistema. La zona Turística se encuentra urbanizada en su totalidad y las principales actividades son el turismo y la agricultura mediante invernaderos con una calidad de agua relativamente mala (Zambrano *et al.*, 2009; Zambrano *et al.*, 2012).

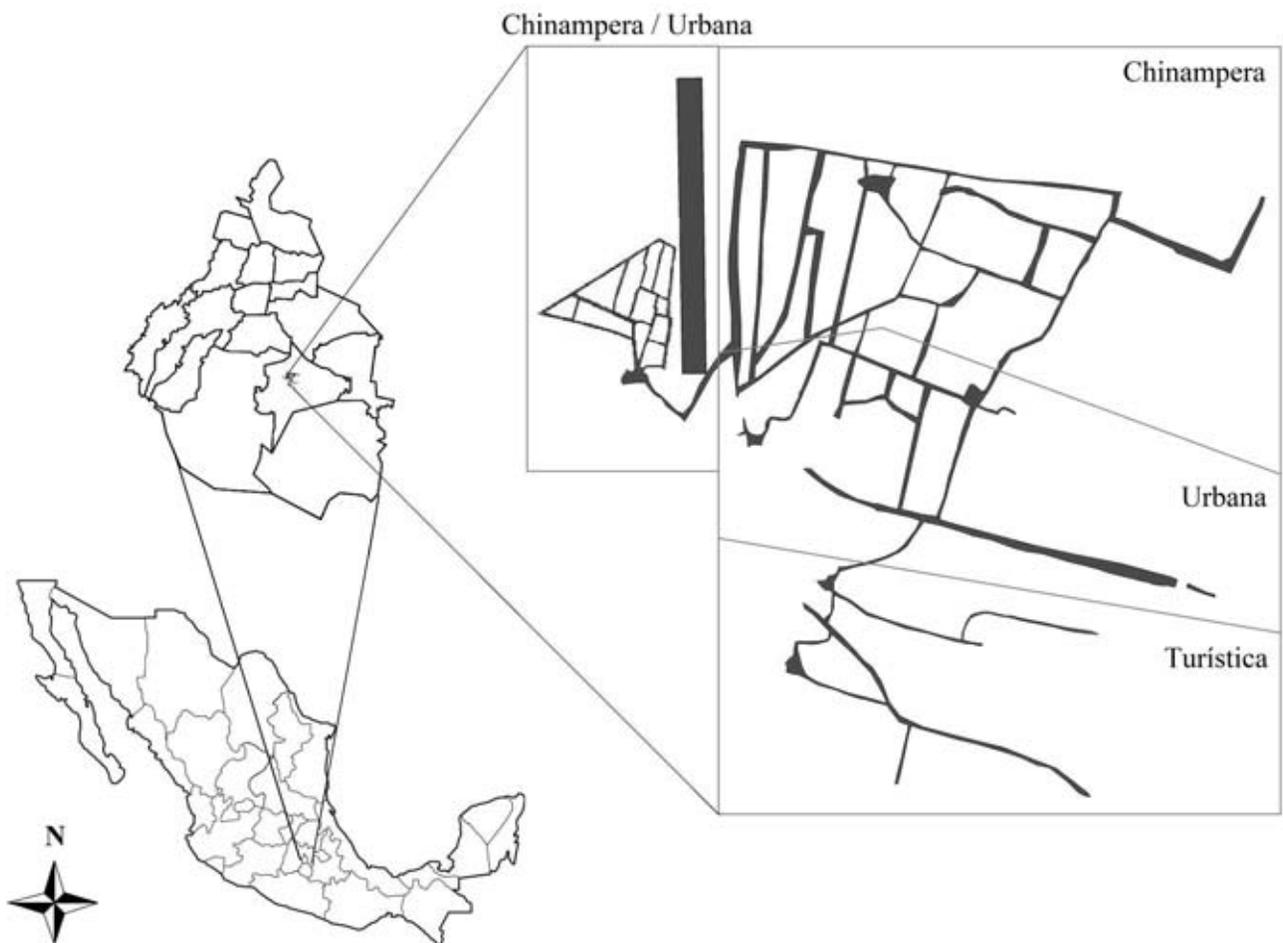


Figura 2. Ubicación geográfica de los canales de Xochimilco y su regionalización, de acuerdo con Zambrano y colaboradores (2009).

Colecta de datos

Se eligieron 35 sitios representativos de la heterogeneidad del sistema lacustre de Xochimilco (Figura 3; Figura 4A). Para ello se tomaron en cuenta todos los sitios de distribución potencial de axolotes (DP), los análisis previos de los parámetros limnológicos del agua, los sitios previos de captura de axolotes y los sitios en los que se considera que las condiciones para su ocurrencia son adecuados (Valiente-Riveros, 2006; Contreras *et al.*, 2009). Además, se tomó en cuenta la experiencia de los pescadores locales para determinar los sitios de muestreo, la temporada y las horas del día. El censo de axolotes y la medición de parámetros limnológicos se llevaron a cabo del 6 de marzo al 4 de julio de 2013. Se realizaron 31 visitas a campo con una duración promedio de 2.1 ± 0.9 horas por día entre las 7:30 a.m. y las 11 a.m.

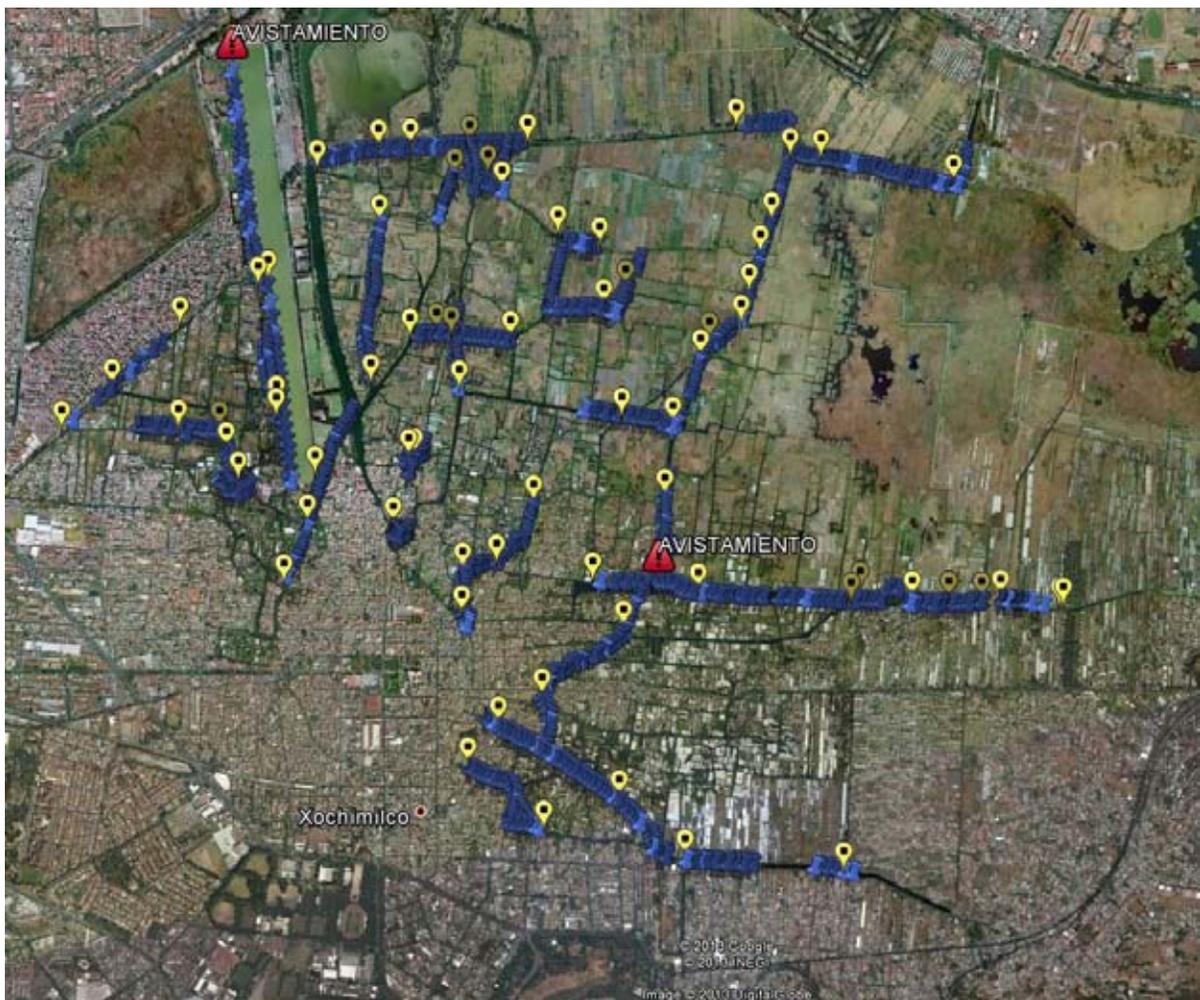


Figura 3. Sitios de medición de variables limnológicas en el sistema lacustre de Xochimilco. Cada punto azul representa un lance de atarraya y un punto de medición de variables limnológicas. Cada marca amarilla representa un punto de colecta de muestras para analizar los nutrientes. Las marcas rojas representan los puntos de detección visual (avistamiento) de *Ambystoma mexicanum*. 1

*Censo de *Ambystoma mexicanum**

El censo de axolotes se llevó a cabo mediante el uso de atarraya. Debido a que los canales de Xochimilco tienen diferente tamaño, se utilizaron dos medidas de atarraya, una con un diámetro de 7 m y otra con un diámetro de 4.4 m, ambas con una luz de malla de 1 pulgada. La elaboración de las redes y el muestreo se realizaron con ayuda de un pescador de Xochimilco con una experiencia de más de 15 años en el muestreo de axolotes (Figura 4B). Se efectuaron mínimo 40 lances de atarraya por día de muestreo abarcando el canal o laguna correspondiente. También se realizaron lances adicionales en los casos en los que se registró alguna detección visual o en los casos en los que el pescador consideró que fueran necesarios.



Figura 4. Fotografía del sitio de estudio (A) y del método de muestreo por medio de atarraya (B).

Variables limnológicas

Se midieron los parámetros limnológicos del agua en cada uno de los puntos en los que se efectuó un lance de atarraya. Debido a que los canales son poco profundos (101 ± 46 cm.) y no presentan estratificación, estas mediciones se realizaron aproximadamente a 30 centímetros por debajo de la superficie de agua. Los parámetros limnológicos que se midieron en cada sitio fueron: salinidad, turbidez, conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno. Estos datos se obtuvieron mediante el uso de una sonda multiparamétrica marca HANNA (HI9829). Para medir la transparencia y la profundidad se utilizó un disco de Secchi. La distancia al disco de Secchi se utilizó para calcular la transparencia relativa del agua (%), que se refiere al porcentaje de la diferencia entre la profundidad de visibilidad del disco de Secchi y la profundidad total. Asimismo, se tomaron muestras de agua para conocer la concentración de tres nutrientes: amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) y fosfatos (P- PO_4) en sitios de colecta previa de dichas variables para su comparación. El análisis de nutrientes lo realizó la empresa IDECA, S.A. de C.V., dedicada al análisis de la calidad del agua. Los métodos analíticos utilizados por esta empresa son: para amonio, NMX-AA-026-SCFI-2001; para nitratos, NMX-AA-079-SCFI-2001; y para fosfatos, NMX-AA-029-SCFI-2001. Todos los sitios de colecta fueron georreferenciados con un GPS marca Garmin (Map 62s).

Procesamiento y análisis de datos

La presencia de axolotes se calculó considerando una distribución homogénea de la especie en el sistema y, dado que no se obtuvieron ejemplares por medio del método de captura, se tomaron en cuenta las detecciones visuales. Se utilizó el total del área de muestreo en todos los canales y lagos, y en todas las fechas. Se estimó el área total muestreada con base en el diámetro de las atarrayas (chica: 4.4 m; grande: 7m) y el número de lances totales (chica: 878; grande: 177). La ocurrencia se calculó mediante la relación entre el número de avistamientos (2) y el área total muestreada ($20,165.34 \text{ m}^2$). Finalmente el resultado se transformó a km^2 para compararlo con las densidades calculadas en estudios previos. Para recapitular y sintetizar la información de las colectas históricas de axolotes en Xochimilco se utilizaron las bases de datos y resultados publicados por: Graue, (1998); Zambrano *et al.* (2004); Zambrano *et al.* (2007); y Contreras *et al.* (2009).

Para cada punto de muestreo se obtuvieron datos de los parámetros limnológicos cada tres segundos durante un minuto, aproximadamente. Esos datos fueron promediados para obtener un solo dato por cada punto de muestreo. Posteriormente, los puntos de muestreo de los parámetros limnológicos a lo largo de cada canal o lago fueron promediados para ser graficados y así obtener una comparación entre los sitios. Se incluyeron los resultados de la concentración de nutrientes de cada sitio. Para conocer si existen diferencias significativas entre los sitios de muestreo se realizó una prueba de Kruskal–Wallis para cada una de las variables limnológicas. Posteriormente, para conocer si existen diferencias significativas entre los sitios de avistamiento (Pista y Texhuilo) y el resto de los canales, se realizó una serie de pruebas pareadas de Mann-Whitney aplicando la corrección de Bonferroni, utilizando el software Palaeontological Statistics (PAST; Palaeontological Association). Las variables que se utilizaron para este análisis fueron: profundidad, transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales. No fue posible realizar este análisis para los datos de nutrientes, debido a que únicamente se tomó una muestra por sitio.

Se realizó un análisis de componentes principales para: (1) conocer las variables limnológicas que representan la mayor variación entre los sitios de muestreo; (2) conocer la similitud entre sitios de acuerdo con sus características abióticas; (3) conocer qué zona(s) (de acuerdo con la regionalización de Zambrano *et al.*, 2009) presenta(n) características similares a los sitios de detección visual de *A. mexicanum*; e (4) ilustrar los cambios históricos en los sitios de colecta de la especie. Para realizar una comparación visual, se trazaron los polígonos correspondientes a la envoltura convexa para cada grupo de datos, es decir el área mínima que cubre todos los puntos y los agrupa dentro de un mismo polígono.

Resultados

*Censo de *Ambystoma mexicanum**

Se registraron dos detecciones visuales de *A. mexicanum*, una en el canal Texhuilo y otra en la Pista. Estas detecciones se refieren al avistamiento del “boqueo” característico de la especie cuando sube a la superficie durante la realización de los muestreos. Sin embargo, no fue posible capturar ejemplares de la especie. En total se realizaron 1,055 lances (878 con atarraya de 4.4 metros y 177 con atarraya de 7 metros), 1,031 puntos de muestreo de parámetros limnológicos y 74 puntos de muestreo de nutrientes (Tabla 1). Con base en los datos de detección visual se estimó una ocurrencia de 99.1 ind/km². Esto indica que la ocurrencia de axolotes ha disminuido 98.3% desde el año 1996 (Figura 5; Tabla 2; Anexo I).

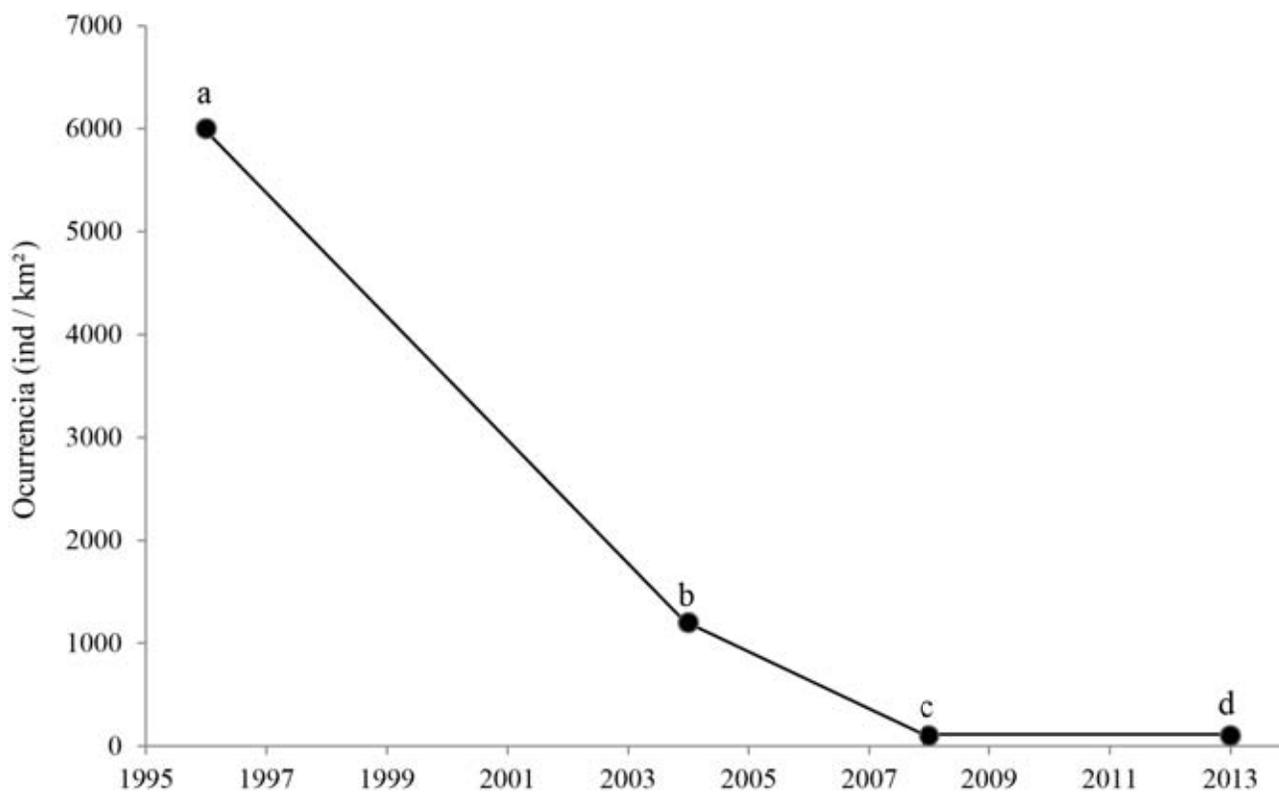


Figura 5. Cambios en la ocurrencia de *Ambystoma mexicanum*. **a** = 6000 ind/km² (Graue, 1998); **b** = 1200 ind/km² (Zambrano et al., 2007); **c** = 100 ind/km² (Contreras et al., 2009); **d** = 99.1 ind/km² (presente estudio utilizando datos de detección visual).

Tabla 1. Resumen de los sitios de colecta, número de lances, número de muestras de variables limnológicas y número de muestras de nutrientes tomados en el sistema lacustre de Xochimilco en el periodo comprendido entre el 6 de marzo y el 4 de julio de 2013.

Zona	Fecha	Sitio	Longitud (km)	Lances	LIM	Nutrientes	Axolote	
							Detección visual	Captura
CHIN	8, 17 y 22 de mayo	Canal El Bordo	0.35	49	49	7	0	0
CHIN	8 y 9 de mayo	Canal Japón	0.97	56	56	1	0	0
CHIN	18 de abril	Canal Güerolodo	0.82	44	44	2	0	0
CHIN	24 de mayo	Canal Atizapa	0.24	21	21	0	0	0
CHIN	23 de mayo	Laguna Tlilac	0.30	42	42	3	0	0
CHIN	5 de junio	Canal Otenco	0.50	45	45	5	0	0
CHIN	24 y 29 de mayo	Canal Almoloya	0.74	41	41	2	0	0
CHIN	29 de mayo	Canal La Virgen	0.26	21	21	0	0	0
CHIN	30 de mayo	Laguna La Virgen	0.21	41	41	2	0	0
CHIN	8 de mayo	Canal Tlicuili	0.24	19	19	2	0	0
CHIN	2 de mayo	Canal Paso de Águila	0.94	45	45	5	0	0
CHIN/URB	18 de junio	Canal El Bordo Chico	1.66	5	15	3	0	0
CHIN/URB	19 de junio	Canal Cuacualco	0.75	42	42	2	0	0
CHIN/URB	21 de junio	Laguna Del Toro	0.41	41	41	1	0	0
CHIN/URB	27 de junio	Canal Amelaco	0.85	13	16	3	0	0
CHIN/URB	3 de mayo	Canal Nacional	0.93	43	43	2	0	0
CHIN/URB	25 de junio	Pista	2.19	49	49	3	1	0
URB	1 de mayo	Canal Ampampilco	0.35	22	22	1	0	0
URB	1 de mayo	Laguna Texhuilo	0.32	21	21	1	0	0
URB	24 de abril	Canal Texhuilo	0.51	43	43	1	1	0
URB	31 de mayo	Canal Infiernito	0.17	23	23	3	0	0
URB	31 de mayo	Laguna Asunción	0.13	21	21	1	0	0
URB	26 de abril	Laguna San Diego	0.11	7	7	1	0	0
URB	26 de abril	Canal Costepexpan	0.32	19	19	1	0	0
URB	26 de abril	Canal Tochipa	0.19	11	11	1	0	0
URB	26 de abril	Canal San Pedro	0.20	10	10	1	0	0
URB	6 y 7 de marzo	Canal Apatlaco	1.92	61	61	9	0	0
URB	6 de marzo	Canal Puente de Urrutia	0.31	20	20	3	0	0
URB	7 y 8 de marzo	Canal La Santísima	0.68	32	32	1	0	0
TUR	13 y 14 de marzo	Canal Caltongo	0.25	10	10	1	0	0
TUR	13 de marzo	Canal Turístico	1.00	44	44	1	0	0
TUR	13 de marzo	Laguna Nativitas	0.09	14	14	1	0	0
TUR	19 de abril	Canal Santa Cruz	0.82	43	43	1	0	0
TUR	14 de marzo	Laguna Xaltocan	0.41	22	0	1	0	0
TUR	14 de marzo	Canal San Cristóbal	0.27	15	0	2	0	0
Total			20.41	1055	1031	74	2	0

*Zonas: CHIN=Chinampera; CHIN/URB=Chinampera/Urbana; URB=Urbana; TUR=Turística. LIM= medición de parámetros limnológicos.

Tabla 2. Número de individuos de *Ambystoma mexicanum* capturados en los diferentes censos históricos en las cuatro zonas de Xochimilco y el Parque Ecológico Xochimilco. Se incluye el esfuerzo de captura (número de lances) y la ocurrencia total de cada censo.

Año / Zona	Chinampera Urbana	Chinampera	Urbana	Turística	Parque Ecológico Xochimilco	Número de lances	Ocurrencia (ind/km ²)
1992-1993	0	13	1	11	-		
1995	3	12	0	-	-	~68	6,000
1996	6	38	17	-	-		
2002	5	12	3	0	-		
2003	4	3	22	0	1	~1848	1,200
2004	-	-	4	-	-		
2008	0	1	0	0	0	690	100
2013	*	0	*	0	-	1055	99.1

Censos: 1992-1993, 1995-1996 (Graue, 1998); 2002-2004 (Zambrano *et al.*, 2004; Zambrano *et al.*, 2007); 2008 (Contreras *et al.*, 2009); 2013 (presente estudio). * = Detección visual.

Caracterización de las variables abióticas de Xochimilco

El sistema lacustre de Xochimilco presenta una heterogeneidad espacial en todas las variables limnológicas. En términos generales, el sistema tiene las siguientes características (promedio general \pm desviación estándar): profundidad (97.36 ± 45.18 cm), transparencia (31.52 ± 12.13 cm), temperatura (20.78 ± 1.77 °C), pH (7.86 ± 0.57), oxígeno disuelto (3.58 ± 2.99 mg/L), conductividad (763.22 ± 112.71 μ S/cm), Sólidos disueltos totales (316.39 ± 148.30 mg/L), fosfatos (1.87 ± 0.77 mg/L), nitratos (0.29 ± 0.63 mg/L) y Amonio (0.99 ± 0.94 mg/L). En otras palabras, una temperatura templada, una turbidez marcada, pH que va de neutro a básico y, en general, baja concentración de oxígeno disuelto y de nutrientes (Anexo II, Anexo III).

El canal Turístico presenta la mayor profundidad (236.66 ± 29.74 cm) de los sitios de muestreo, mientras que Puente de Urrutia se presenta la menor profundidad (37 cm) debido a que este canal tiene muchos escombros y ramas en el fondo que dificultan la precisión de profundidad, además de que posee una zona muy somera (Figura 6A). El único sitio que presentó una transparencia total fue Puente de Urrutia (37 cm) (Figura 6B). Los sitios de detección visual de axolote tienen un porcentaje de transparencia menor al 30%, es decir que son sitios con una turbidez

relativamente alta. Los sitios con una mayor temperatura son la Pista (23.68 ± 0.69 °C) y el Canal Infiernito (23.65 ± 0.25 °C), mientras que la menor temperatura se registró en Puente de Urrutia (15.24 ± 0.70 °C) (Figura 6C). Los cambios en la temperatura a lo largo del sistema están influenciados por la profundidad, las condiciones meteorológicas y las descargas diferenciales de agua en el sistema, por lo que es posible decir que es heterogénea entre sitios.

La Pista presentó el pH más básico (9.70 ± 0.13) de todos los sitios (Figura 7A; Anexo II). En contraste, El Bordo Chico registró un pH casi neutro (7.16 ± 0.14). La Pista es un sitio con un flujo continuo de agua debido al paso constante de canoas deportivas, lo que lo hace uno de los sitios con mayor concentración de oxígeno disuelto (9.57 ± 1.96 mg/L) (Figura 7B; Anexo II). El oxígeno disuelto es una de las variables que registró mayor heterogeneidad entre los sitios con concentraciones que van desde 0.03 hasta 12.4 mg/L. Los sitios con la mayor conductividad Puente de Urrutia (1091.81 ± 28.41 μ S/cm), Cuacualco (1045.60 ± 37.75 μ S/cm) y El Bordo Chico (1030.98 ± 268.70 μ S/cm) (Figura 7C). Los sitios de detección visual registraron una conductividad media (800.38 ± 1.83 μ S/cm) con respecto a los demás sitios y no presentaron diferencias significativas entre ellos (Anexo II). La conductividad más baja se registró en Infiernito (586.78 ± 4.89 μ S/cm) y Laguna Asunción (616.45 ± 1.05 μ S/cm). Los sólidos disueltos presentaron valores relativamente similares entre la mayoría de los sitios de muestreo (378.14 ± 53.27 mg/L) (Figura 7D). Los sitios de detección visual tuvieron una concentración de sólidos disueltos intermedia (400.20 ± 0.89 mg/L) y no presentaron diferencias significativas entre ellos (Anexo II). Durante los muestreos de sólidos disueltos se obtuvieron seis registros con valores menores a 40 mg/L (6.46, 0.55, 0.38, 0.36, 0.36, 37.81 mg/L) que se debieron a una falla en la sonda multiparamétrica (Figura 7D).

Las concentraciones de nutrientes fueron bajas: los fosfatos y el amonio no sobrepasaron los 4 mg/L (Figura 8A; Figura 8B) y en la mayoría de los sitios se registraron concentraciones de nitratos por debajo de 1.5 mg/L (Figura 8C). Los sitios de detección visual de axolote presentaron las concentraciones más bajas de amonio de todos los sitios (0.24 ± 0.02 mg/L).

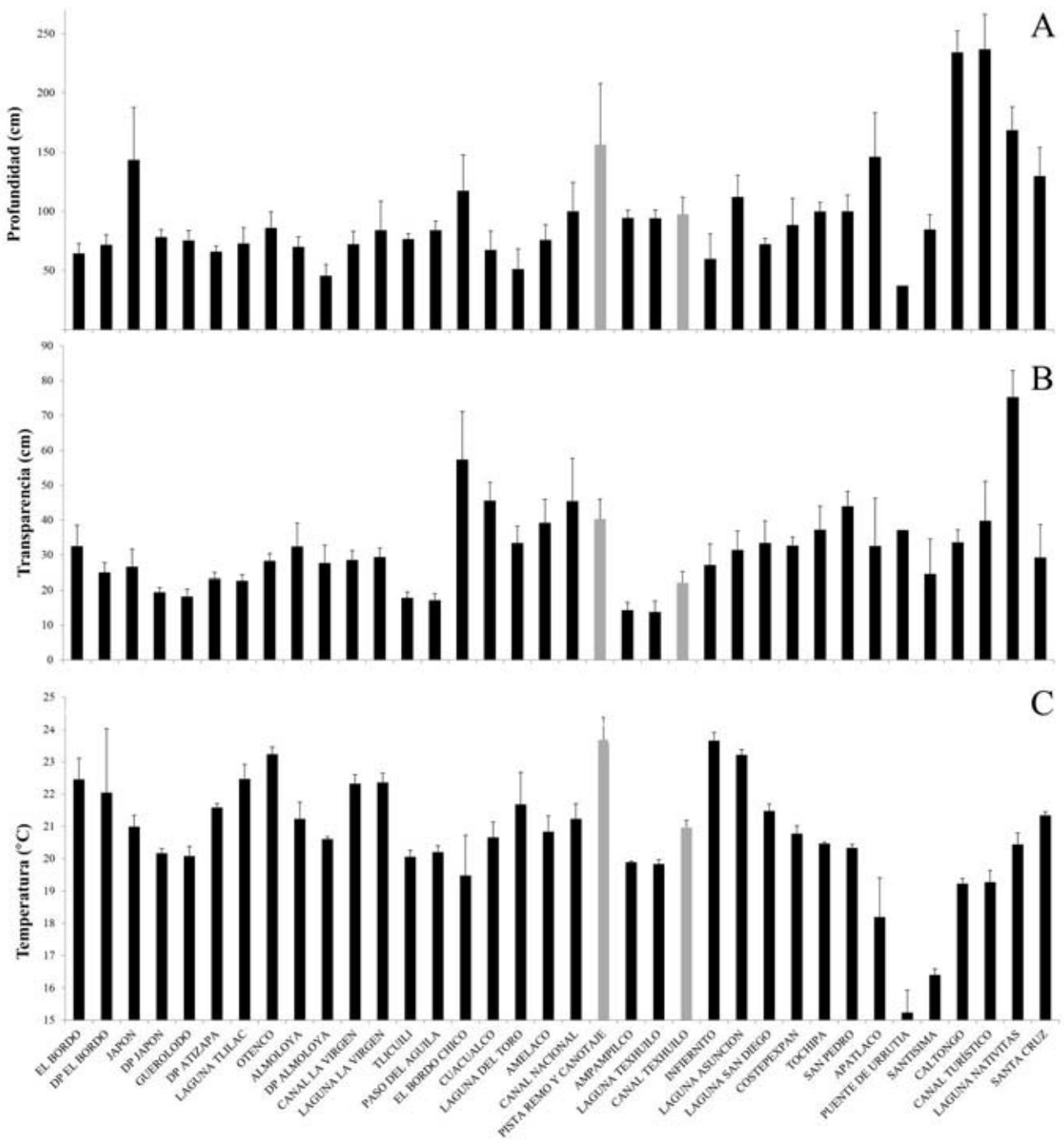


Figura 6. Promedio y desviación estándar de la profundidad, porcentaje de transparencia y temperatura en los canales de Xochimilco. El color gris indica los sitios de detección visual de *A. mexicanum*. DP: sitio predicho de distribución potencial.

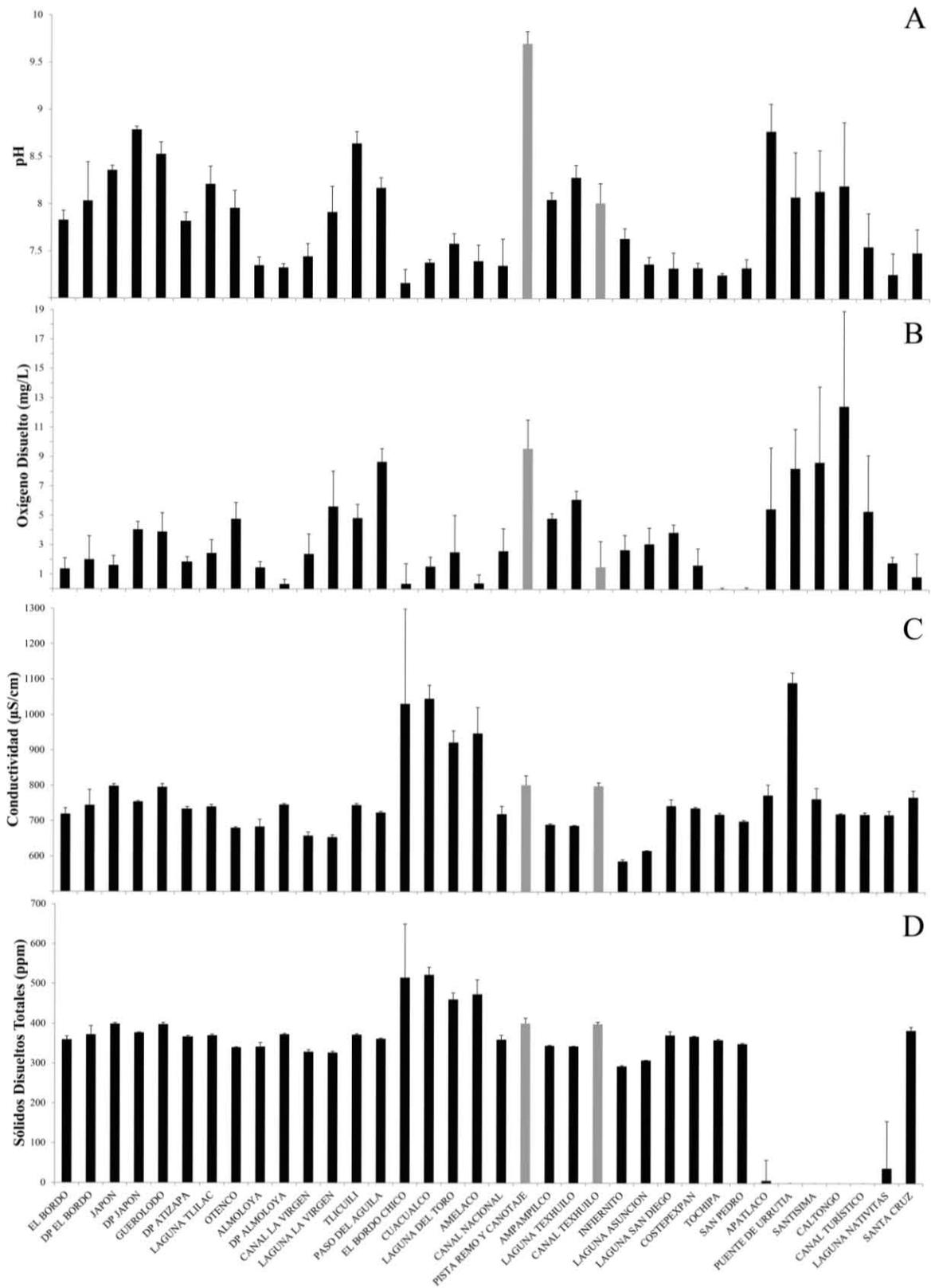


Figura 7. Promedio y desviación estándar de los valores de pH, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales en los canales de Xochimilco. El color gris indica los sitios de detección visual de *Ambystoma mexicanum*. DP: sitio predicho de distribución potencial.

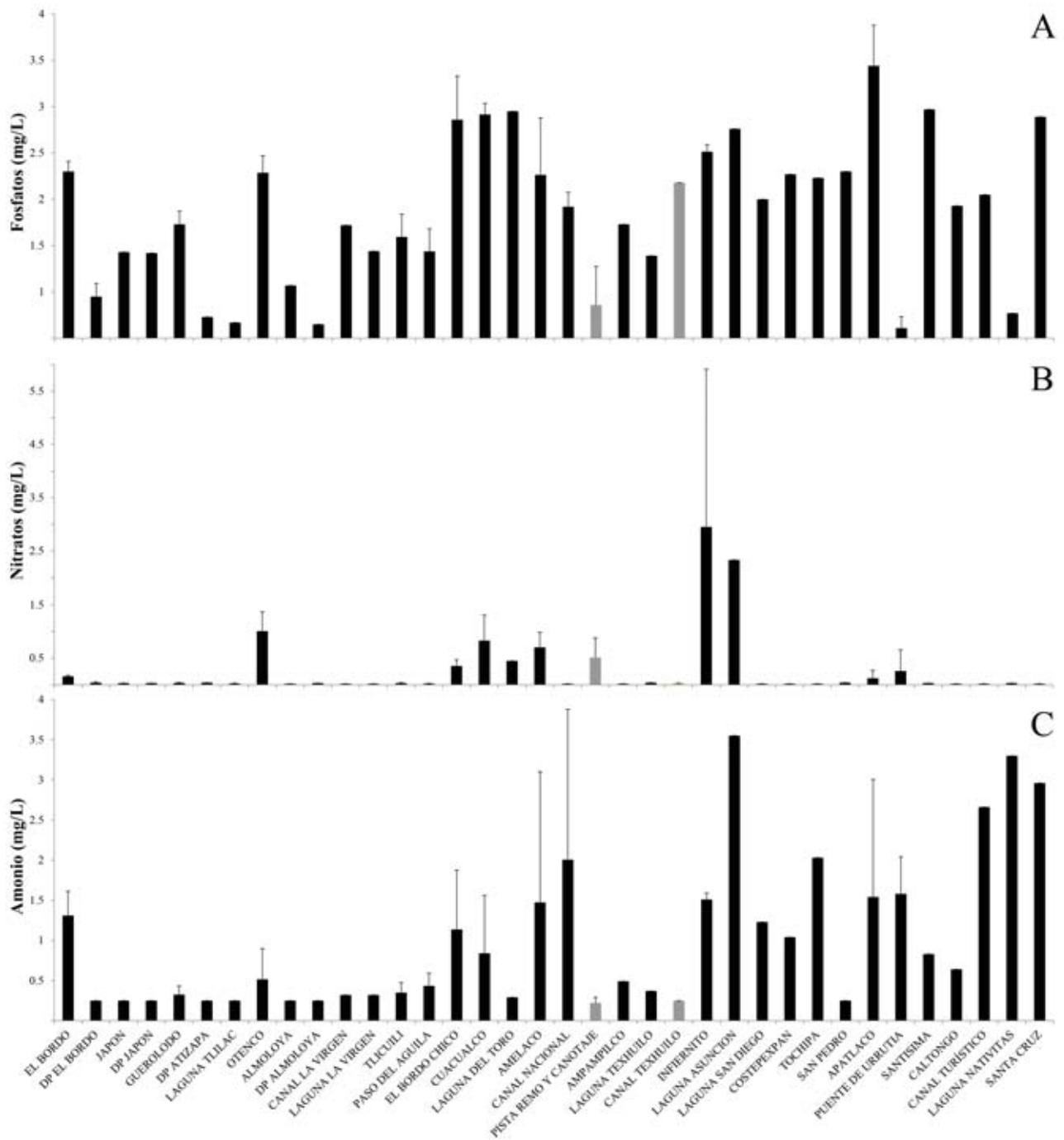


Figura 8. Promedio y desviación estándar de la concentración de fosfatos, amonio y nitratos en los canales de Xochimilco. El color gris indica los sitios de detección visual de *Ambystoma mexicanum*. DP: sitio predicho de distribución potencial.

Los primeros tres componentes principales representan el 66% del total de la varianza (Tabla 3). Las variables abióticas que presentaron la mayor varianza entre los sitios fueron el pH, el amonio y la transparencia. El primer componente principal presentó una correlación positiva con el amonio y la transparencia; en contraste, la relación con el pH fue inversa. El segundo componente principal presentó una correlación positiva con la profundidad e inversa con la temperatura. El tercer componente principal presentó una correlación positiva con la profundidad e inversa con la conductividad.

Tomando en consideración la regionalización del sistema lacustre de Xochimilco propuesta por Zambrano y colaboradores (2009), la Pista presentó condiciones que no se asocian con ninguna de las zonas del sistema (Figura 10). El canal Texhuilo presentó condiciones similares a los sitios clasificados dentro de la zona chinampera. La zona urbana presentó las características abióticas más heterogéneas, por lo que se traslapa con todas las demás zonas.

Los sitios de captura se redujeron de 1992 a 2013 al considerar las capturas históricas y las detecciones visuales actuales de *A. mexicanum* (Figura 11). Los sitios en donde se registraron detecciones visuales actuales presentan condiciones abióticas distintas a los sitios de colectas previas.

Tabla 3. Resultados del análisis de componentes principales. Se resaltan las correlaciones más altas entre las variables abióticas y los primeros tres componentes.

	CP 1	CP 2	CP 3
% varianza	27.7	20.9	17.2
Profundidad	0.07	0.44	0.51
Transparencia	0.44	0.32	-0.06
Temperatura	0.12	-0.56	0.26
pH	-0.50	0.10	0.25
Oxígeno disuelto	-0.38	0.33	0.38
Conductividad	0.05	0.36	-0.52
Fosfatos	0.32	0.09	0.12
Nitratos	0.27	-0.29	0.33
Amonio	0.47	0.23	0.27

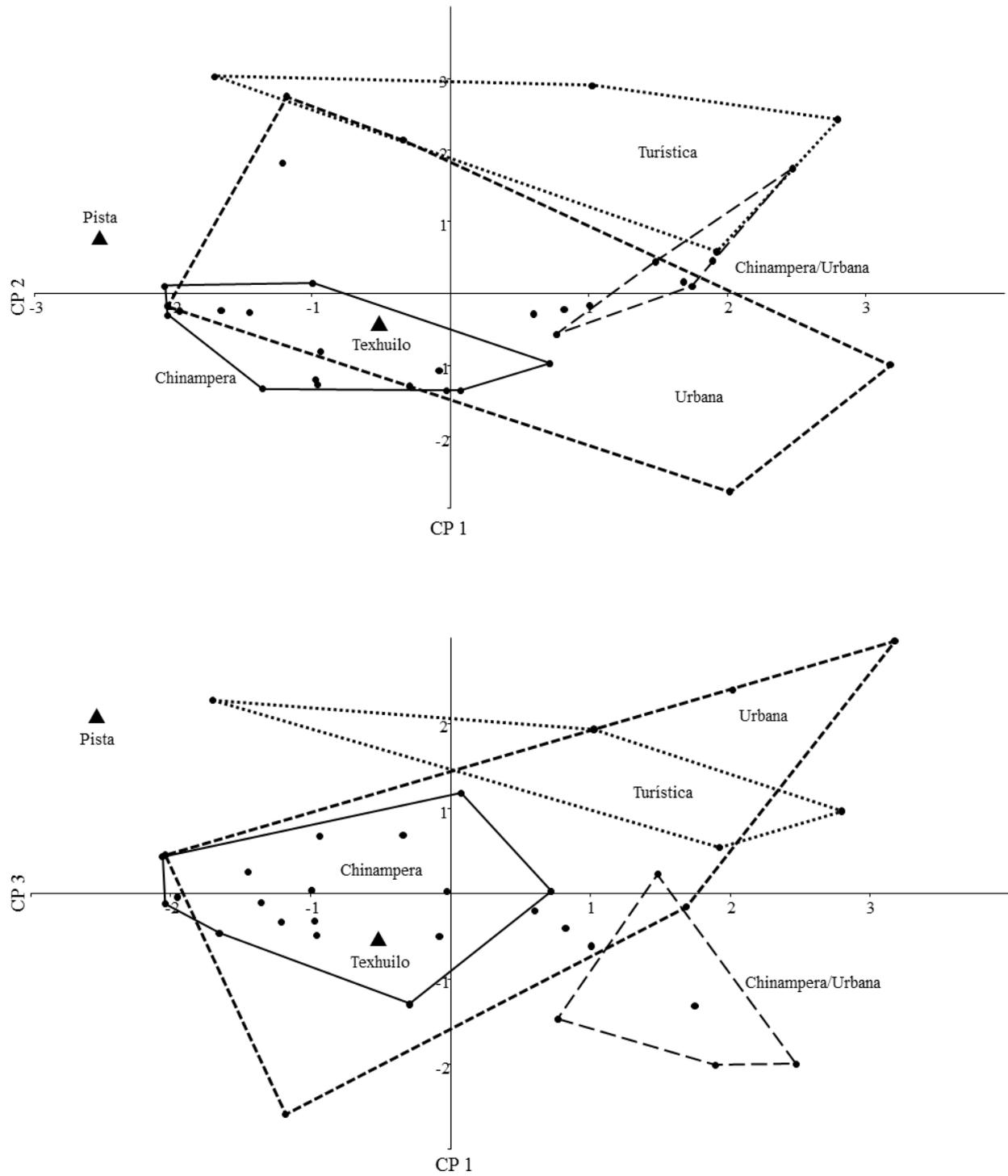


Figura 10. Análisis de componentes principales considerando la regionalización de Xochimilco. Los sitios en donde se registraron detecciones visuales de *A. mexicanum* están representados por triángulos.

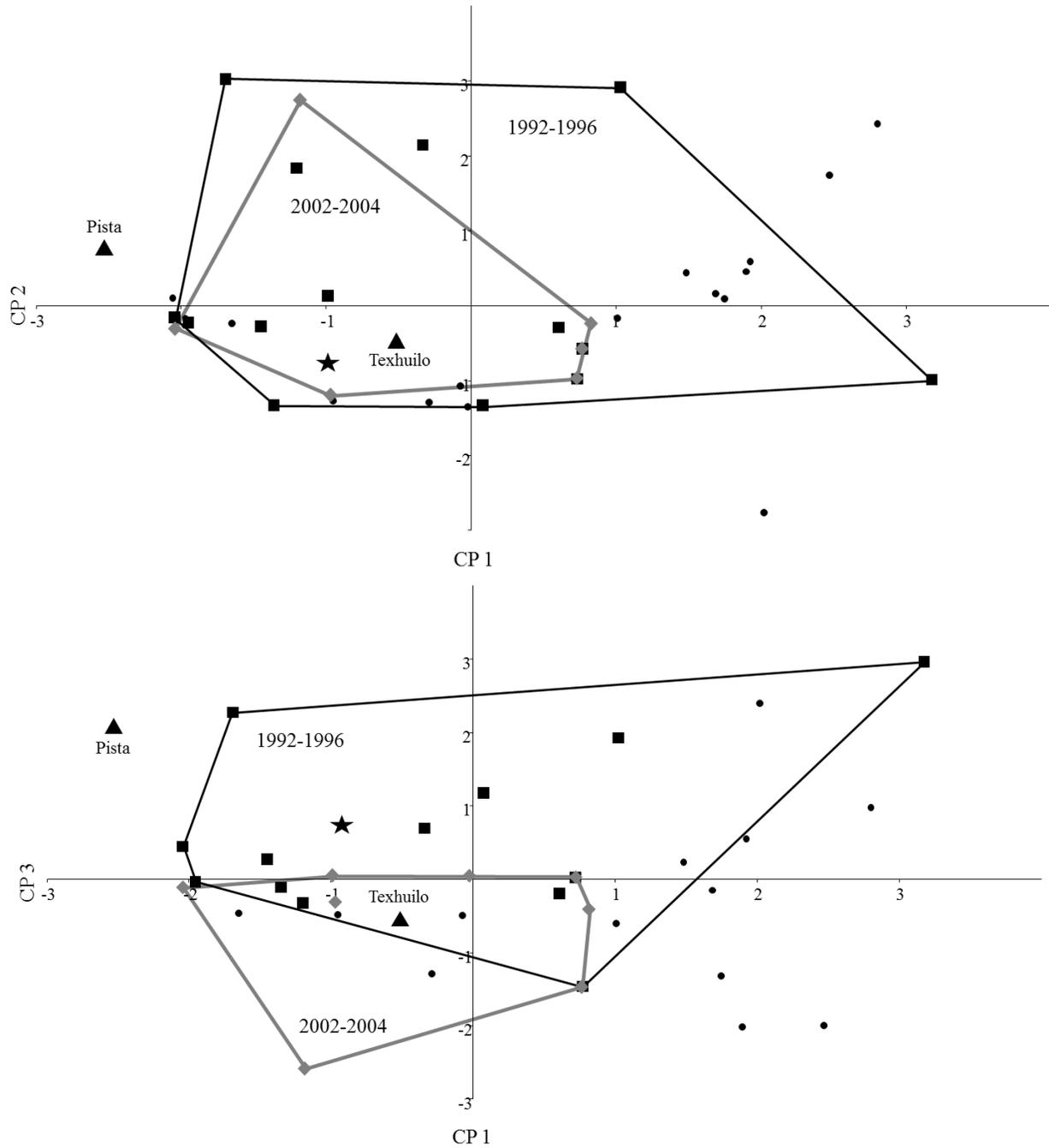


Figura 11. Análisis de componentes principales considerando los datos históricos de capturas de *A. mexicanum*. El polígono negro y los cuadrados representan los sitios de las capturas realizadas entre 1992 y 1996 (Graue, 1998); el polígono gris y los rombos grises representan los sitios de las capturas realizadas entre 2002 y 2004 (Zambrano *et al.*, 2004; Valiente, 2006); la estrella representa el sitio de captura de 2008 (Contreras *et al.*, 2009); los triángulos representan las detecciones visuales hechas en este trabajo.

Discusión

Situación actual del axolote

Durante los últimos 20 años, la ocurrencia de *A. mexicanum* ha disminuido de forma alarmante. Si suponemos que la probabilidad de detección del axolote ha permanecido constante durante las últimas décadas, entonces podemos inferir que la especie ha sufrido un declive poblacional continuo. Así, los resultados del presente trabajo apoyan la posibilidad de extinción de la especie en la siguiente década (Zambrano *et al.*, 2007). Aunque el resultado de ocurrencia de este censo (99.1 ind/km²) es similar al registrado en 2008 (100 ind/km²), en el presente estudio se utilizaron los datos de detección visual para poder calcularla, ya que no hubo ninguna captura. Por lo tanto, la ocurrencia actual podría estar sobrestimada. En este sentido, se recomienda que la ocurrencia de una población se calcule cuando se tiene al menos un individuo capturado (Gu y Swihart, 2004). El contraste entre el esfuerzo de muestreo del presente estudio con respecto a los anteriores es muy claro. Por ejemplo, Contreras y colaboradores (2009) realizaron un esfuerzo de muestreo de 690 lances y lograron una captura. En el presente estudio se hizo casi el doble de esfuerzo (1055 lances) y se consideraron las dos detecciones visuales como si fueran capturas. Es por eso que los valores de ocurrencia son similares. Para realizar un cálculo estricto de ocurrencia es necesario continuar el esfuerzo de muestreo hasta que al menos un individuo sea capturado. Sin embargo, utilizar los datos de detección visual nos permite obtener una estimación al menos general de la ocurrencia y la distribución actual. Además, es importante tener en cuenta que estos resultados corresponden al periodo entre el final de la temporada de secas y el principio de la temporada de lluvias. Llevar a cabo un muestreo a lo largo de un ciclo anual podría aumentar la precisión de estos resultados.

Los sitios de detección visual (Pista y Texhuilo) son sitios en los que ha sido posible capturar axolotes en años previos. En 1996, Graue (1998) capturó cuatro individuos en el canal Texhuilo (Anexo I). En años posteriores ningún censo consideró Texhuilo como sitio de colecta. En el caso de la Pista, al tratarse de un canal artificial aislado adyacente al sistema lacustre, no se había realizado ningún esfuerzo de muestreo dentro de los censos históricos. Sin embargo, previo al presente estudio se detectó la presencia de huevos de axolote en 2008, y la captura de dos individuos, uno en 2009 (Córdova-Tapia, *com. pers.*) y otro en 2014, posterior a este estudio (Zambrano *et al.*, 2014). Con base en lo anterior, es posible sugerir que los sitios de detección visual de este estudio estén manteniendo condiciones adecuadas para la supervivencia del axolote.

Con respecto a los sitios de distribución potencial predichos por Contreras y colaboradores (2009), en ninguno de ellos se realizó detección visual ni captura, aun cuando se realizó un esfuerzo de muestreo exhaustivo en estos sitios. Sin embargo, con base en los resultados de los análisis de componente principales, estos sitios son similares en sus características limnológicas a los dos sitios de detección. Esto sugiere que estos sitios podrían estar manteniendo las características adecuadas para la supervivencia del axolote, pero queda en duda si la ausencia de registros se debe a que la especie no está presente actualmente en estos sitios o a que no fue posible detectarla (Gu y Swihart, 2004).

Debido a que Xochimilco es un sistema acuático de gran heterogeneidad existen regiones más adecuadas que otras para la supervivencia del axolote (Contreras *et al.*, 2009). Sin embargo, no se ha determinado si las condiciones en estas zonas se mantienen a lo largo del tiempo, puesto que las perturbaciones puede estar afectando al ecosistema en su conjunto y a cada una de las zonas de manera diferencial. De acuerdo con Zambrano y Valiente (2008) las características ideales para la supervivencia de *A. mexicanum* son una temperatura entre 16 y 20 °C, un pH entre 7.4 y 8.2 y una conductividad entre 975 y 1650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La temperatura es un factor determinante debido a que ejerce un efecto sobre la tiroxina, la cual regula el crecimiento y el desarrollo en general; cuando la temperatura se encuentra por debajo del límite mínimo de tolerancia, la actividad de la tiroxina decrece abruptamente (Petranka, 1984). Asimismo, la concentración de oxígeno es muy importante para el desarrollo de los axolotes, sobre todo en la etapa de huevo, pues la disminución de oxígeno en estadios embrionarios provoca la muerte (Salthe, 1969). En etapas de desarrollo adulto, el oxígeno no se muestra como un factor determinante para la supervivencia de axolotes puesto que pueden salir a boquear cuando las concentraciones en el agua son bajas (Valiente-Riveros, 2006). Por lo tanto, la alta concentración de oxígeno disuelto en la Pista podría estar favoreciendo la presencia de axolotes en ese sitio en etapa de huevo.

Condiciones limnológicas

Los sitios de avistamiento presentaron características particulares. La Pista tiene el pH más básico de todo el sistema y una de las mayores concentraciones de oxígeno disuelto. La Pista y el canal Texhuilo presentaron características similares tanto en conductividad como en sólidos disueltos totales. Estas concentraciones son intermedias al resto de los canales, por lo que es poco probable que sean el factor que esté determinando la presencia de axolotes. De acuerdo con Contreras y colaboradores (2009) el

amonio puede influir en la presencia de axolote, en este caso en ambos sitios de avistamiento la concentración de amonio fue de las más bajas con respecto a los demás sitios.

El análisis de componentes principales mostró que los sitios de avistamiento actuales tienen características limnológicas similares a algunos de los sitios que habían sido predichos como sitios de distribución potencial por Contreras y colaboradores (2009). Por ejemplo, la Pista es similar al sitio denominado Distribución Potencial Japón, y Texhuilo es similar a los sitios denominados Distribución Potencial El Bordo, Distribución Potencial de Atizapa y Distribución Potencial de Almoloya. Destaca que la Pista tiene características que no se asocian con ninguna de las zonas de la regionalización de Zambrano y colaboradores (2009). Esto puede deberse a que la Pista es un canal artificial aislado del resto del sistema con características propias, lo que sugiere un régimen de perturbación distinto, por ejemplo, menor descarga de drenaje, grado avanzado de eutrofización, florecimientos significativos de fitoplancton en años anteriores, aporte de materia orgánica e inorgánica, entre otros (Rangel-Tapia, 2004). Sin embargo, es por esta misma razón que durante estudios previos no se haya contemplado el estudio de este sitio (Graue, 1998; Zambrano *et al.*, 2004; Zambrano *et al.*, 2007; Contreras *et al.*, 2009). Los resultados de este estudio indican que es necesario poner particular atención en la Pista, su dinámica y la presencia de axolotes. La similitud de Texhuilo con las características de la zona chinampera puede estar relacionada con el avistamiento de axolote en este canal. Considerando las colectas históricas y los avistamientos actuales de *A. mexicanum* fue posible ilustrar los cambios a través del tiempo en los sitios en donde se ha colectado la especie. La reducción de los sitios de colecta entre 1992 y 2013 es evidente. Este resultado sugiere que ha habido una reducción paulatina en la población; ésta tendencia fue una predicción hecha por Zambrano y colaboradores (2007) por medio de un análisis de viabilidad poblacional. Aun cuando en este estudio, no se llevó un registro cuantitativo de las especies de peces presentes en cada uno de los lances, fue posible observar que en la mayoría de los lances se registró al menos una de las dos especies invasoras. De acuerdo con Zambrano y colaboradores (2010), tanto la tilapia como la carpa son en gran medida responsables de la disminución de las poblaciones de axolote en Xochimilco, no solo por la depredación hacia los axolotes, sino porque modifican toda la estructura trófica del ecosistema. Bajo este escenario, es posible argumentar que el axolote continúa en vías de extinción y que ésta podría ocurrir durante la siguiente década (Voss *et al.*, 2015).

Estrategias y recomendaciones

Aun cuando es posible conservar a la especie en colonias reproductivas fuera de su hábitat (Armstrong *et al.*, 1989; Mena-González y Servín-Zamora, 2014; Voss *et al.*, 2015), las poblaciones silvestres requieren medidas urgentes de conservación para salvarlas de la extinción en uno de los últimos remanentes de su hábitat natural (Zambrano *et al.*, 2007). Es importante mencionar que esta especie también podría encontrarse en el Lago de Chalco, sin embargo, se tiene poca información de la especie en el sitio (Recuero *et al.*, 2010), por lo tanto se sugiere encaminar esfuerzos para ampliar el muestreo con el fin de detectar a la especie en otras zonas del Valle de México. Aunque ya se han implementado muchos esfuerzos de conservación y restauración en Xochimilco, es evidente que las estrategias de arriba hacia abajo; aquellas en las que las decisiones se toman desde un puesto de poder sin considerar las necesidades de las comunidades locales, no han funcionado (Valiente *et al.*, 2010). Para comenzar a revertir esta dinámica se requiere de un cambio en el proceso de toma de decisiones que ocurra de abajo hacia arriba. Así, el éxito en la permanencia a largo plazo de los esfuerzos requiere el involucramiento y compromiso por parte de las comunidades locales en los programas de manejo (Gall y Staton, 1992). Además, los esfuerzos de restauración bien encaminados proveen beneficios tanto para las poblaciones de axolotes como para el funcionamiento del sistema lacustre y oportunidades económicas para los pobladores locales (Valiente *et al.*, 2010). Asimismo, la relación que existe entre la presencia de axolotes y el uso tradicional de suelo de Xochimilco sugiere la necesidad de conservar las prácticas tradicionales de agricultura, la chinampería, para lograr la restauración del humedal.

Un claro ejemplo de los esfuerzos de restauración con una gestión de abajo hacia arriba, donde las comunidades locales participan activamente en el proceso, es la creación de refugios para axolotes rodeados de chinampas tradicionales de los cuales los agricultores locales reciben los beneficios económicos (ver: Valiente *et al.*, 2010; Zambrano *et al.*, 2012). Esta asociación beneficia a los axolotes y otras especies nativas, a los chinamperos y permite mejorar el hábitat al mismo tiempo que se preserva la vocación de la tierra. Otro esfuerzo de manejo que incorpora a la población local es la pesca intensiva de especies invasoras que se realiza con el fin de disminuir sus poblaciones. Los programas de pesca intensiva pueden ser útiles no sólo para el axolote, sino para todo el ecosistema y los pescadores de la zona, ya que el recurso pesquero puede comercializarse (Zambrano y Valiente, 2008). Asimismo, el aumento del turismo de naturaleza puede beneficiar a los remeros locales por

medio del aumento en sus ingresos y la satisfacción en el trabajo, al mismo tiempo que aumenta el conocimiento y la sensibilidad de los visitantes (Bride *et al.*, 2008).

Los hábitats urbanos artificiales o semi-naturales, como el Lago de Chapultepec, la Cantera Oriente de la UNAM y Chalco pueden desempeñar un papel central en la conservación del axolote, ya que pueden funcionar como reservorios temporales de diversidad genética de las poblaciones silvestres (Recuero *et al.*, 2010). Por el contrario, la reintroducción de organismos en Xochimilco debe ser evitada, ya que se sabe que esta estrategia puede causar un cuello de botella genético (disminución de variabilidad genética en poblaciones pequeñas), la transmisión de algunas enfermedades y el desplazamiento de los organismos silvestres (Bride *et al.*, 2008; Recuero *et al.*, 2010; CONABIO, 2011; Parra-Olea *et al.*, 2011).

Los axolotes tienen una gran capacidad de reproducción que puede ayudar a que una pequeña población se recupere en pocas generaciones, una vez que las condiciones de su hábitat sean favorables para su supervivencia (Zambrano *et al.*, 2007). Ante esta ventaja, a partir de este trabajo se desprende una propuesta integral de restauración del hábitat del axolote que incluya la generación de refugios para axolotes, un programa de pesca intensiva ininterrumpida de las especies invasoras y el mantenimiento de reservorios de diversidad genética, que consista en establecer y delimitar áreas exclusivas para el desarrollo de la chinampería tradicional, en el cual se garantice, por medio de barreras físicas, la baja o nula presencia de especies invasoras en cuyos canales pueda sobrevivir y reproducirse el axolote y otras especies nativas. Por el contrario, si no se toman acciones urgentes encaminadas a la restauración del ecosistema, este estudio muestra que se puede esperar la extinción de esta especie en la naturaleza durante la siguiente década.

Conclusión

Se estimó una ocurrencia de 99.1 ind/km² de *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco. Esto indica que la ocurrencia de esta especie ha disminuido 98.3% en los últimos 21 años. Los dos sitios de avistamiento presentaron condiciones limnológicas similares a otros sitios pertenecientes a la zona chinampera de Xochimilco. Sin embargo, los sitios en donde se registraron detecciones visuales tienen características limnológicas distintas a los sitios de colectas previas. Los resultados de este estudio apoyan la posibilidad de extinción del axolote durante la siguiente década. Para evitarla, es necesario llevar a cabo acciones urgentes encaminadas a la restauración integral de uno de los últimos remanentes del hábitat silvestre de *Ambystoma mexicanum*.

Bibliografía

Armstrong, J. B., Duhon, S. T. y G. Malacinski. 1989. Raising the Axolotl in captivity. En: Armstrong, J. B. y G. Malacinski (eds.). *Developmental Biology of the Axolotl*. Oxford University Press, New York.

Blaustein, A. R., Romansic, J. M., Kiesecker, J. M. y A. C. Hatch. 2003. Ultraviolet radiation, toxic chemicals and amphibian population declines. *Diversity and Distributions* 9: 123-140.

Blaustein, A. R., Han, B. A., Relyea, R. A., Johnson, P. T. J., Buck, J. C., Gervasi, S. S. y L. B. Kats. 2011. The complexity of amphibian population declines: understanding the role of cofactors in driving amphibian losses. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1223: 108-119.

Bojórquez, C. L. y E. J. Amaro. 2003. Caracterización múltiple de la calidad del agua de los canales de Xochimilco. En: Stephan-Otto, E. (ed.). *El Agua en la Cuenca de México. Sus problemas históricos y perspectivas de solución*. UAM-Xochimilco–Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco A.C. México, D.F. México.

Bride, I. G., Griffiths, R. A., Meléndez-Herrada, A. y J. E. McKay. 2008. Flying an amphibian flagship: conservation of the Axolotl *Ambystoma mexicanum* through nature tourism at Lake Xochimilco, Mexico. *International Zoo Yearbook* 42: 116-124.

Chaparro-Herrera, D. J., S. Nandini, S.S.S. Sarma² y L. Zambrano. Feeding behaviour of larval *Ambystoma mexicanum*. *Amphibia-Reptilia* 32 (2011): 509-517.

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

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

- Crossley, P. L. 2004. Sub-irrigation in wetland agriculture. *Agriculture and Human Values* 21: 191–205.
- Deichmann, J. L., Williamson, G. B., Lima, A. P. y W. D. Allmon. 2010. A note on amphibian decline in a central Amazonian lowland forest. *Biodiversity Conservation* 19: 3619-3627.
- Duhon, S. T. 1997. The Axolotl and its Native Habitat-Yesterday and Today. *Axolotl Newsletter* 26:14-17.
- El Universal. 2014. Liberan en Xochimilco ajolotes criados en cautiverio. 21 de marzo. Consultado de: <http://www.eluniversal.com.mx/ciencia/2014/liberan-ajolotes-xochimilco-85327.html>
- Flores, A. 2013. Liberan mil ajolotes jóvenes en canales controlados de Xochimilco. La Jornada. 21 de mayo. Consultado de: <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/21/cultura/a04n1cul>
- Frías-Alvarez, P., Vredenburg, V. T., Familiar-López, M., Longcore, J. E., González-Bernal, E., Santos-Barrera, G., Zambrano, L. y G. Parra-Olea. 2008. Chytridiomycosis survey in wild and captive mexican amphibians. *EcoHealth* 5(1): 18-26.
- Frías-Álvarez, P., Zúñiga-Vega, J. J. y O. Flores-Villela. 2010. A general assessment of the conservation status and decline trends of Mexican amphibians. *Biodiversity Conservation* 19: 3699-3742.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2006. Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Gobierno del Distrito Federal. México, D.F. México.
- Gall, G. A. E. y M. Staton. 1992. Conclusions. *Agriculture Ecosystems & Environment* 42: 217-230.
- Graue, W. V. 1998. Estudio Genético y Demográfico de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) del Lago de Xochimilco. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Gu W. y R. K. Swihart. 2004. Absent or undetected? Effects of non-detection of species occurrence on wildlife-habitat models. *Biological Conservation* 113: 195-203.

Huacuz, D. C. 2002. Programa de Conservación y Manejo de *Ambystoma dumerili*, el Achoque del Lago de Pátzcuaro. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Morelia, Michoacán, México.

International Union for Conservation of Nature. 2008. An analysis of amphibians on the 2008 IUCN Red List.

IUCN. 2010. IUCN Red List of Threatened Species.

Lips, K. R., Brem, F., Brene, R., Reeve, J. D., Alford, R. A., Voyles, J., Carey, C., Livo, L., Pessier, A. P. y J. P. Collins. 2006. Emerging infectious disease and the loss of biodiversity in a neotropical amphibian community. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences* 103:3165–3170.

Manzur-Trujillo, D. I. 2015. Evaluación de refugios de axolote (*Ambystoma mexicanum*) por medio de matrices poblacionales. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México.

Mazari-Hiriart, M., Ponce-de-León, S., López-Vidal, Y., Islas-Macías, P., Amieva-Fernández, R. I. y F. Quiñones-Falconi. 2008. Microbiological implications of periurban agriculture and water reuse in Mexico City. *PLoS ONE* 3(5), e2305.

Mena-González, H. y E. Servín-Zamora. 2014. Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Instituto de Biología, UNAM. 37 p.

Merlín-Uribe, Y., Contreras-Hernández, A., Astier-Calderón, M., Jensen, O. P., Zaragoza, R. y L. Zambrano. 2012. Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of Environmental Planning and Management* 1-14
DOI:10.1080/09640568.2012.683686

- Parra-Olea, G., Zamudio, K. R., Recuero, E., Aguilar-Miguel, X., Huacuz, D. y L. Zambrano. 2012. Conservation genetics of threatened Mexican axolotls (*Ambystoma*). *Animal Conservation* 15: 61-72.
- Petranka, J.W. 1984. Sources of interpopulational variation in growth responses of larval salamanders. *Ecology* 65: 1857-1865.
- Pounds, J. A. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410:639–640.
- Ramsar List. 2017. The List of Wetlands of International Importance. Consultado de: <http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>
- Rangel Tapia, R. C. 2004. Estudio poblacional de *Cambarellus montezumae* en la pista de remo y canotaje Virgilio Uribe, Xochimilco, D.F. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México.
- Recuero, E., Cruzado-Cortes, J., Parra-Olea, G. y K. R. Zamudio. 2010. Urban aquatic habitats and conservation of highly endangered species: the case of *Ambystoma mexicanum* (Caudata, Ambystomatidae). *Annales Zoologici Fennici* 47: 223-238.
- Salthe, S. N. 1969. Reproductive modes and the number and size of ova in the urodels. *The American Midland Naturalist* 81: 467-490.
- Sandoval, C. J. 2003. Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2015. Avanzan trabajos para la conservación del ajolote. Comunicado de Prensa Núm. 72/15. 1 de abril. Consultado de: <http://saladeprensa.semarnat.gob.mx/index.php/noticias/2130-avanzan-trabajos-para-la-conservacion-del-ajolote>
- Shaffer, H. B. 1989. Natural History, Ecology, and Evolution of the Mexican "Axolotls". *Axolotl Newsletter* 5-11.

- Stuart, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., Young, B. E., Rodrigues, A. S. L., Fischman, D. L. y R. W. Waller. 2004. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. *Science* 306: 1783-1786.
- Torres-Lima, P. y A. Burns. 2002. Regional culture and urban agriculturalists of Mexico City. *Anthropologica* 44: 247–256.
- Valiente-Riveros, E. L. 2006. Efecto de las especies introducidas en Xochimilco para la rehabilitación del hábitat del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. México.
- Valiente E., Tovar A., González H., Eslava-Sandoval D. y L. Zambrano. 2010. Creating refuges for the Axolotl (*Ambystoma mexicanum*). *Ecological Restoration* 28: 257-259.
- Voss, S. R., Woodcock, M. R. y L. Zambrano. 2015. A tale of two axolotls. *BioScience* 65: 1134-1140.
- Zambrano, L., Reynoso, V.H. y Herrera, G. 2004. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos SNIB-Conabio proyecto AS004., México, D.F. México.
- Zambrano, L., Vega, E., Herrera M, L. G., Prado, E. y V. H. Reynoso. 2007. A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems. *Animal Conservation* 10:297-303.
- Zambrano, L. y E. Valiente. 2008. Informe Final de Actividades del Proyecto Mitigación del impacto de las especies introducidas en la zona lacustre de Xochimilco. Laboratorio de Restauración Ecológica, Instituto de Biología, UNAM y Gobierno del Distrito Federal. México, D.F. México.
- Zambrano, L., Contreras, V., Mazari-Hiriart, M. y A. E. Zarco-Arista. 2009. Spatial Heterogeneity of Water Quality in a High Degraded Tropical Freshwater Ecosystem. *Environmental Management* 43:249-263.

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

Zambrano, L., Valiente-Riveros, E., Levy-Gálvez, K., Cordova-Tapia, F., Tovar-Garza, A., Sastré-Báez, L., Rubio-Lozano, M. S., Giménez-Héau, J., Almazán-Tejeda, M. P., Sumano-Arias, C. U., Alvarado-Hernández, M. A., López-Alcaide, S., González-Salazar, C., Mazari-Hiriart, M., Pérez-Ortiz, G., Pérez-Belmont, P., Aguilar-Ibarra, A., Contreras-Del Valle, M. F. y V. Mondragón-Gaytán. 2012. Informe Final del Proyecto Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote, Primera Etapa. Laboratorio de Restauración Ecológica, IBUNAM; Laboratorio de Ecología Química, IEUNAM; Cámara de Diputados. México, D.F. México.

Zambrano, L., Tovar-Garza, A., Sumano-Arias, C. U., Ayala-Azcárraga, S. C., Rubio-Lozano, M. S. y M. A. Trejo-Castillo. 2014. Informe Final del Proyecto Programa de Análisis del Estado de Conservación Ecológica del Sistema Lacustre Chinampero de la Superficie Reconocida por la UNESCO como Sitio Patrimonio de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. Laboratorio de Restauración Ecológica, IBUNAM. México, D.F. México.

Índice de anexos

Anexo I

Colectas históricas de *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco 39

Anexo II

Promedio y desviación estándar de las variables limnológicas de cada sitio. Los sitios de avistamiento de axolotes se resaltan con negritas 45

Anexo III

Resumen de la comparación (Mann-Whitney) entre los sitios de avistamiento de axolotes con respecto al resto de los sitios de muestreo 46

Anexo I

Colectas históricas de *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco.

Colector	Año	Mes	Zona	Canal	Individuos
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	TURÍSTICA	Canal Turístico	2
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	TURÍSTICA	Laguna Xaltocan	9
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	TURÍSTICA	Embarcadero Caltongo	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Canal de Apatlaco	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Canal de Apatlaco	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Canal de la Santísima	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Laguna San Diego	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Laguna La Asunción	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Laguna de Texhuilo	1
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Tlicuili	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Japón	1
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Japón	1
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Laguna de La Virgen	2
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	URBANA	Canal de Ampampilco	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Otenco	1
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Laguna de Tlilac	2
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de San Gregorio	0
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Cuemanco	5
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA	Canal de Cuemanco	1
V. Graue	1992-1993	Ago-Mayo	CHINAMPERA/URBANA	Laguna del Toro	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	Cuemanco	1
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	Tlilac	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1995	Octubre	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1995	Octubre	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1995	Octubre	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	Otenco	2
V. Graue	1995	Octubre	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1995	Octubre	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	Cuemanco	4
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	Tlilac	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1995	Noviembre	URBANA	Texhuilo	0

V. Graue	1995	Noviembre	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1995	Noviembre	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	Otenco	0
V. Graue	1995	Noviembre	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1995	Noviembre	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	Cuemanco	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	Tililac	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	El Bordo	2
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1995	Diciembre	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1995	Diciembre	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1995	Diciembre	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	Otenco	3
V. Graue	1995	Diciembre	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1995	Diciembre	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	Cuemanco	1
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	Tililac	1
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	El Bordo	1
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Enero	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Enero	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
V. Graue	1996	Enero	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	Otenco	1
V. Graue	1996	Enero	CHINAMPERA	La Virgen	1
V. Graue	1996	Enero	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	Cuemanco	1
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	Tililac	0
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Febrero	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Febrero	URBANA	Ampampilco	2
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1996	Febrero	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	Otenco	1
V. Graue	1996	Febrero	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1996	Febrero	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	Cuemanco	1

V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	Tlilac	1
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Marzo	URBANA	Texhuilo	1
V. Graue	1996	Marzo	URBANA	Ampampilco	1
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
V. Graue	1996	Marzo	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	Otenco	0
V. Graue	1996	Marzo	CHINAMPERA	La Virgen	1
V. Graue	1996	Marzo	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	Cuemanco	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	Tlilac	2
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	Japón	1
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Abril	URBANA	Texhuilo	2
V. Graue	1996	Abril	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1996	Abril	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	Otenco	0
V. Graue	1996	Abril	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1996	Abril	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	Cuemanco	1
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	Tlilac	4
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Mayo	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Mayo	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	2
V. Graue	1996	Mayo	URBANA	Asunción	0
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	Otenco	4
V. Graue	1996	Mayo	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1996	Mayo	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	Cuemanco	2
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	Tlilac	0
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	El Bordo	1
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Junio	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Junio	URBANA	Ampampilco	2
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0

V. Graue	1996	Junio	URBANA	Asunción	1
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	Otenco	2
V. Graue	1996	Junio	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1996	Junio	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	Cuemanco	0
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	Tlilac	2
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Julio	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Julio	URBANA	Ampampilco	0
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1996	Julio	URBANA	Asunción	3
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	Otenco	1
V. Graue	1996	Julio	CHINAMPERA	La Virgen	1
V. Graue	1996	Julio	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	Cuemanco	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	Tlilac	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	El Bordo	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Agosto	URBANA	Texhuilo	1
V. Graue	1996	Agosto	URBANA	Ampampilco	1
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
V. Graue	1996	Agosto	URBANA	Asunción	1
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	Otenco	0
V. Graue	1996	Agosto	CHINAMPERA	La Virgen	0
V. Graue	1996	Agosto	URBANA	Apatlaco	0
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	Cuemanco	1
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	Tlilac	3
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	El Bordo	1
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	Japón	0
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	Tlicuili	0
V. Graue	1996	Septiembre	URBANA	Texhuilo	0
V. Graue	1996	Septiembre	URBANA	Ampampilco	1
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	1
V. Graue	1996	Septiembre	URBANA	Asunción	1
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	Otenco	1
V. Graue	1996	Septiembre	CHINAMPERA	La Virgen	1
V. Graue	1996	Septiembre	URBANA	Apatlaco	0
E. Valiente	2002	Septiembre	PEX	Huetzali	0
E. Valiente	2003	Mayo	PEX	Huetzali	1
E. Valiente	2003	Junio	PEX	Huetzali	0

E. Valiente	2003	Junio	PEX	Huetzali	0
E. Valiente	2002	Septiembre	CHINAMPERA	El Bordo	0
E. Valiente	2002	Octubre	CHINAMPERA	El Bordo	0
E. Valiente	2002	Noviembre	CHINAMPERA	El Bordo	0
E. Valiente	2002	Diciembre	CHINAMPERA	El Bordo	0
E. Valiente	2003	Febrero	CHINAMPERA	El Bordo	0
E. Valiente	2003	Febrero	CHINAMPERA	Japón	0
E. Valiente	2003	Julio	CHINAMPERA	Japón	0
E. Valiente	2003	Agosto	CHINAMPERA	Japón	0
E. Valiente	2002	Septiembre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
E. Valiente	2002	Noviembre	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
E. Valiente	2003	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
E. Valiente	2003	Mayo	CHINAMPERA/URBANA	El Toro	0
E. Valiente	2003	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Celada	0
E. Valiente	2003	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Celada	2
E. Valiente	2003	Mayo	CHINAMPERA/URBANA	Celada	0
E. Valiente	2003	Febrero	URBANA	Costepexpan	0
E. Valiente	2003	Abril	URBANA	Costepexpan	0
E. Valiente	2003	Octubre	URBANA	Costepexpan	0
E. Valiente	2002	Octubre	URBANA	Puente de Urrutia	1
E. Valiente	2003	Marzo	URBANA	Puente de Urrutia	1
E. Valiente	2003	Junio	URBANA	Puente de Urrutia	14
E. Valiente	2003	Septiembre	URBANA	Puente de Urrutia	6
E. Valiente	2004	Abril	URBANA	Puente de Urrutia	4
CONABIO	2002	Enero	CHINAMPERA	Cerca de El Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Cerca de Lag Del Toro	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA	Cerca del Bordo	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Huetzali	1
CONABIO	2002	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Huetzali	1
CONABIO	2002	Marzo	CHINAMPERA	Almoleya	1
CONABIO	2002	Marzo	URBANA	Cerca de Costepexpan	1
CONABIO	2002	Marzo	URBANA	Cerca de Costepexpan	1
CONABIO	2002	Octubre	CHINAMPERA/URBANA	Huetzali	1
CONABIO	2002	Octubre	CHINAMPERA	Cerca de El Bordo	1
CONABIO	2002	Noviembre	CHINAMPERA	Laguna Tlilac	1
CONABIO	2002	Noviembre	CHINAMPERA/URBANA	Huetzali	1

CONABIO	2003	Febrero	CHINAMPERA	Japón	1
CONABIO	2003	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Cerca de Canal Nacional	1
CONABIO	2003	Febrero	CHINAMPERA/URBANA	Cerca de Lag Del Toro	1
CONABIO	2003	Febrero	CHINAMPERA	Japón	1
CONABIO	2003	Febrero	CHINAMPERA	Japón	1
CONABIO	2003	Marzo	URBANA	Puente de Urrutia	1
V. Contreras	2008	-	CHINAMPERA	La Virgen	1
K. Levy	2013	Abril	URBANA	Canal Texhuilo	1
K. Levy	2013	Junio	CHINAMPERA/URBANA	Pista	1

Anexo II

Promedio y desviación estándar de las variables limnológicas de cada sitio. Los sitios de avistamiento de axolotes se resaltan con negritas.

Canal	Prof. (cm)	Transp. (cm)	Temp. (°C)	pH	OD (mg/L)	Cond. (µS/cm)	SDT (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Amonio (mg/L)
El Bordo	64 ± 8.7	32 ± 6.1	22 ± 0.7	7.8 ± 0.1	1.4 ± 0.7	719 ± 17.0	360 ± 8.5	2.3 ± 0.1	0.2 ± 0.0	1.3 ± 0.3
D.P. El Bordo	72 ± 8.7	25 ± 2.9	22 ± 2.0	8.0 ± 0.4	2.0 ± 1.6	744 ± 44.0	372 ± 22.0	1.0 ± 0.1	0.04 ± 0.01	0.25
Japón	143 ± 44.6	26 ± 5.2	21 ± 0.4	8.4 ± 0.0	1.6 ± 0.7	798 ± 5.9	399 ± 2.9	1.43	0.03	0.25
D.P. Japón	78 ± 6.5	19 ± 1.4	20 ± 0.1	8.8 ± 0.0	4.1 ± 0.5	754 ± 2.1	377 ± 1.1	1.42	0.03	0.25
Güerolodo	75 ± 8.9	18 ± 2.3	20 ± 0.3	8.5 ± 0.1	3.9 ± 1.3	796 ± 8.9	398 ± 4.4	1.7 ± 0.1	0.04 ± 0.01	0.3 ± 0.1
D.P. Atizapa	66 ± 5.1	23 ± 1.8	22 ± 0.1	7.8 ± 0.1	1.9 ± 0.3	734 ± 6.0	367 ± 3.0	0.73 ± 0.0	0.04	0.25
L. Tlilac	73 ± 13.7	23 ± 1.6	22 ± 0.4	8.2 ± 0.2	2.4 ± 0.9	740 ± 6.1	370 ± 3.0	0.67 ± 0.0	0.03 ± 0.01	0.25
Otenco	86 ± 13.7	28 ± 2.2	23 ± 0.2	8.0 ± 0.2	4.8 ± 1.1	680 ± 2.4	340 ± 1.2	2.3 ± 0.2	1.0 ± 0.4	0.5 ± 0.4
Almoloya	70 ± 8.9	32 ± 6.8	21 ± 0.5	7.3 ± 0.1	1.5 ± 0.4	684 ± 20.5	342 ± 10.3	1.07	0.02	0.25
D.P. Almoloya	45 ± 9.7	28 ± 5.2	21 ± 0.1	7.3 ± 0.0	0.3 ± 0.3	746 ± 3.3	373 ± 1.7	0.65	0.03	0.25
C. La Virgen	72 ± 11.1	28 ± 2.8	22 ± 0.3	7.4 ± 0.1	2.4 ± 1.4	658 ± 10.2	329 ± 5.1	1.72	0.02	0.32
L. La Virgen	84 ± 24.8	29 ± 2.7	22 ± 0.3	7.9 ± 0.3	5.6 ± 2.4	654 ± 6.8	327 ± 3.4	1.44	0.02	0.32
Tlicuili	76 ± 5.0	18 ± 1.8	20 ± 0.2	8.6 ± 0.1	4.8 ± 0.9	744 ± 4.8	372 ± 2.4	1.6 ± 0.2	0.03 ± 0.01	0.4 ± 0.1
Paso del Águila	84 ± 8.2	17 ± 2.0	20 ± 0.2	8.2 ± 0.1	8.7 ± 0.9	724 ± 3.4	362 ± 1.6	1.4 ± 0.2	0.02	0.4 ± 0.2
El Bordo Chico	117 ± 30.6	57 ± 13.9	19 ± 1.2	7.2 ± 0.1	0.4 ± 1.4	1031 ± 268.7	515 ± 134.3	2.9 ± 0.5	0.4 ± 0.1	1.1 ± 0.7
Cuacualco	67 ± 16.4	45 ± 5.3	21 ± 0.5	7.4 ± 0.0	1.5 ± 0.6	1046 ± 37.8	523 ± 18.9	2.9 ± 0.1	0.8 ± 0.5	0.8 ± 0.7
L. Del Toro	51 ± 17.3	33 ± 4.9	22 ± 1.0	7.6 ± 0.1	2.5 ± 2.5	922 ± 33.0	461 ± 16.5	2.95	0.5	0.3
Amelaco	76 ± 13.0	39 ± 6.9	21 ± 0.5	7.4 ± 0.2	0.4 ± 0.6	948 ± 73.1	474 ± 36.6	2.3 ± 0.6	0.7 ± 0.3	1.5 ± 1.6
C. Nacional	100 ± 24.8	45 ± 12.4	21 ± 0.5	7.3 ± 0.3	2.6 ± 1.5	720 ± 22.0	360 ± 11.0	1.9 ± 0.2	0.0	2.0 ± 1.9
Pista	156 ± 52.1	40 ± 5.8	24 ± 0.7	9.7 ± 0.1	9.6 ± 2.0	802 ± 26.7	401 ± 13.4	0.9 ± 0.4	0.5 ± 0.4	0.2 ± 0.1
Ampampilco	94 ± 6.7	14 ± 2.3	20 ± 0.0	8.0 ± 0.1	4.8 ± 0.4	690 ± 2.6	345 ± 1.2	1.73	0.02	0.5
L. Texhuilo	94 ± 7.2	14 ± 3.3	20 ± 0.1	8.3 ± 0.1	6.1 ± 0.6	687 ± 1.3	343 ± 0.6	1.39	0.04	0.4
C. Texhuilo	97 ± 14.8	22 ± 3.1	21 ± 0.2	8.0 ± 0.2	1.5 ± 1.8	799 ± 9.5	400 ± 4.8	2.18	0.03	0.3
Infiernito	60 ± 21.5	27 ± 6.1	24 ± 0.3	7.6 ± 0.1	2.7 ± 1.0	587 ± 4.9	293 ± 2.5	2.5 ± 0.1	3.0 ± 3.0	1.5 ± 0.1
L. Asunción	112 ± 18.6	31 ± 5.5	23 ± 0.2	7.4 ± 0.1	3.1 ± 1.1	616 ± 1.0	308 ± 0.6	2.76	2.3	3.6
L. San Diego	72 ± 5.3	33 ± 6.4	21 ± 0.2	7.3 ± 0.2	3.9 ± 0.5	743 ± 18.1	372 ± 9.0	2.00	0.02	1.2
Costepexpan	88 ± 22.7	33 ± 2.6	21 ± 0.2	7.3 ± 0.1	1.6 ± 1.1	737 ± 2.6	368 ± 1.3	2.27	0.02	1.0
Tochipa	100 ± 8.1	37 ± 6.9	20 ± 0.0	7.2 ± 0.0	0.0 ± 0.1	719 ± 4.3	360 ± 2.1	2.23	0.02	2.0
San Pedro	100 ± 14.0	44 ± 4.4	20 ± 0.1	7.3 ± 0.1	0.0 ± 0.1	700 ± 3.3	350 ± 1.7	2.30	0.04	0.3
Apatlaco	146 ± 37.3	32 ± 13.9	18 ± 1.2	8.8 ± 0.3	5.5 ± 4.2	774 ± 29.4	6 ± 51.9	3.4 ± 0.4	0.1 ± 0.1	1.5 ± 1.5
Puente Urrutia	37.0	37.0	15 ± 0.7	8.1 ± 0.5	8.2 ± 2.7	1092 ± 28.4	1 ± 0.01	0.6 ± 0.1	0.3 ± 0.4	1.6 ± 0.5
Santísima	84 ± 12.8	24 ± 10.1	16 ± 0.2	8.1 ± 0.4	8.7 ± 5.2	764 ± 30.7	0 ± 0.02	2.97	0.03	0.8
Caltongo	234 ± 18.5	34 ± 3.7	19 ± 0.2	8.2 ± 0.7	12.5 ± 6.5	721 ± 1.7	0.36	1.93	0.02	0.6
C. Turístico	237 ± 29.7	40 ± 11.4	19 ± 0.4	7.6 ± 0.4	5.3 ± 3.8	719 ± 5.5	0.36	2.05	0.02	2.7
L. Nativitas	168 ± 20.0	75 ± 7.7	20 ± 0.4	7.3 ± 0.2	1.8 ± 0.4	718 ± 11.1	38 ± 118.4	0.77	0.03	3.3
Sta. Cruz	130 ± 24.5	29 ± 9.6	21 ± 0.1	7.5 ± 0.2	0.9 ± 1.6	768 ± 18.4	384 ± 9.2	2.89	0.02	3.0

Sitio: C.=Canal; L.=Lago; D.P.=Distribución Potencial. OD = Oxígeno disuelto; SDT = Sólidos disueltos totales.

Anexo III

Resumen de la comparación (Mann-Whitney) entre los sitios de avistamiento de axolotes con respecto al resto de los sitios de muestreo en cuanto a la profundidad, transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad y sólidos disueltos totales. * = Diferencias significativas ($p \leq 0.05$) según prueba post hoc de U de Mann-Whitney.

Zona	Sitio	Prof. (cm)		Transp. (cm)		Temp. (°C)		pH		OD (mg/L)		Cond. (µS/cm)		SDT (ppm)	
		Pista	Tex	Pista	Tex	Pista	Tex	Pista	Tex	Pista	Tex	Pista	Tex	Pista	Tex
CHIN	El Bordo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN	D.P. El Bordo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN	Japón		*	*		*		*	*	*				*	
CHIN	D.P. Japón			*		*	*	*		*			*		*
CHIN	Güerolodo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	
CHIN	D.P. Atizapa	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN	L. Tlalac	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN	Otenco	*		*	*		*	*		*	*	*	*	*	*
CHIN	Almoloya	*	*	*	*	*		*	*	*		*	*	*	*
CHIN	D.P. Almoloya	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*
CHIN	C. La Virgen	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*
CHIN	L. La Virgen	*		*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
CHIN	Tlicuili	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN	Paso del Águila	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
CHIN/URB	El Bordo Chico			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CHIN/URB	Cuacualco	*	*		*	*		*	*	*		*	*	*	*
CHIN/URB	L. Del Toro	*	*	*	*	*		*	*	*		*	*	*	*
CHIN/URB	Amelaco	*	*		*	*		*	*	*		*	*	*	*
CHIN/URB	C. Nacional	*			*	*		*	*	*		*	*	*	*
CHIN/URB	Pista				*		*		*		*				
URB	Ampampilco	*		*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
URB	L. Texhuilo	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
URB	C. Texhuilo	*		*		*		*		*					
URB	Infiernito	*	*	*		*	*	*	*	*		*	*	*	*
URB	L. Asunción			*	*		*	*	*	*		*	*	*	*
URB	L. San Diego							*	*						
URB	Costepexpan	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	*
URB	Tochipa				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
URB	San Pedro				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
URB	Apatlaco		*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
URB	Puente Urrutia					*	*	*		*	*	*	*	*	*
URB	Santísima	*		*		*	*	*		*	*	*	*	*	*
TUR	Caltongo	*	*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*
TUR	C. Turístico	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
TUR	L. Nativitas		*	*	*	*		*	*	*		*	*	*	*
TUR	Sta. Cruz			*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*

Pista = Pista de Remo y Canotaje “Virgilio Uribe”; Tex = Canal Texhuilo. Zonas: CHIN = Chinampera; CHIN/URB = Chinampera/Urbana; URB = Urbana; TUR = Turística.