



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

LA PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DEL HÁBITAT DEL
AJOLOTE MEXICANO (*Ambystoma mexicanum*) EN LA ZONA
LACUSTRE DE XOCHIMILCO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

ADRIÁN MENDOZA VELASCO

DIRECTORA DE TESIS: IRMA EDITH UGALDE GARCÍA

Ciudad de México, 2018



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.

Índice

	Página
Introducción	i
Capítulo 1. Descripción de la zona de estudio	1
1.1 Aspectos físicos	8
1.1.1 Relieve, geología y edafología	8
1.1.2 Hidrografía	15
1.1.3 Clima	19
1.1.4 Uso de suelo y vegetación	24
1.1.5 Biogeografía	27
1.2 Aspectos sociales	29
Capítulo 2. El ajolote mexicano	31
2.1 Características biológicas de la especie	31
2.1.1 Características taxonómicas	31
2.1.2 Características morfológicas y fisiológicas	32
2.1.3 Alimentación	35
2.1.4 Hábitat y distribución geográfica	35
2.2 El ajolote en la cultura	38
2.2.1 Época prehispánica y colonial	39
2.2.2 Época contemporánea	41
Capítulo 3. Estado de conservación, biogeografía y destrucción del hábitat del ajolote mexicano	46
3.1 Estado de conservación de la especie	46
3.2 Biogeografía del ajolote mexicano y causas de la destrucción de su hábitat	51
3.2.1 Introducción de especies exóticas	54
3.2.2 Contaminación del agua	66
3.2.3 Pesca furtiva	74
3.2.4 Pérdida y fragmentación del hábitat	76
Capítulo 4. Acciones de conservación del ajolote mexicano	91
4.1 Reproducción en cautiverio con fines de investigación y reintroducción	91
4.2 Habilidad de refugios en Xochimilco y <i>ex situ</i>	95
4.2.1 Refugios dentro de los canales de Xochimilco	96
4.2.1.1 UNAM	96
4.2.1.2 Otras organizaciones	100
4.2.2 Refugios fuera de Xochimilco	102
4.2.2.1 UNAM	102

4.2.2.2 Bosque de Chapultepec	107
4.3 Restauración / rehabilitación del ANP "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco"	108
4.3.1 Reducción / erradicación de especies exóticas de flora y fauna	111
4.3.2 Mejoramiento de la calidad del agua	115
Conclusiones	122
Referencias	125
Apéndices	138
Apéndice A. Artículo III. Reglamentación del comercio en especímenes de especies incluidas en el Apéndice I de la CITES	139
Apéndice B. Artículo IV. Reglamentación del comercio de especímenes de especies incluidas en el Apéndice II de la CITES	142
Apéndice C. Criterios para la categoría de En Peligro Crítico (CR, por sus siglas en inglés) de la UICN	145

Introducción

Desde el año 2002 México forma parte del Grupo de Países Megadiversos Afines¹ (LMMC, por sus siglas en inglés) debido a la gran diversidad biológica que posee y por su compromiso con la conservación y el uso sustentable de la misma (PNUMA, 2003). La amplia gama de climas, la heterogeneidad de su topografía y su situación geográfica privilegiada entre las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical son los principales factores responsables de la gran biodiversidad que existe en el territorio mexicano, la cual representa el 12% de la diversidad terrestre del planeta (CONABIO, 2017).

Nuestro país ostenta el segundo lugar del mundo por su riqueza de especies de reptiles, el tercero en mamíferos y el cuarto en anfibios, además de contar con una gran diversidad de especies de plantas vasculares (traqueofitas) y de animales invertebrados (SEMARNAT, 2011). Asimismo, la proporción de especies endémicas de plantas y animales es relativamente alta, llegando a superar el 50% en el caso de los anfibios, los reptiles y las plantas vasculares (CONABIO, 2017).

Un claro ejemplo de la riqueza de especies endémicas en nuestro país es el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*), un anfibio caudado perteneciente a la familia Ambystomatidae que se distingue por sus propiedades neoténicas². La zona lacustre del Valle de México, localizada en el centro-sur del país, constituía el hábitat original de dicha especie; sin embargo, en la actualidad su distribución geográfica se ha restringido drásticamente al Lago de Xochimilco debido a diversos factores de naturaleza antropogénica (CONABIO, 2011).

En las últimas décadas, la drástica reducción y fragmentación del hábitat del ajolote mexicano en el sistema lacustre de Xochimilco ha sido detonada

¹ El Grupo de Países Megadiversos Afines es una organización ambiental fundada en la ciudad mexicana de Cancún en el año 2002, cuya misión es promover la conservación y el uso sustentable de la diversidad biológica. Los 17 países miembros (Bolivia, Brasil, China, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Filipinas, India, Indonesia, Kenia, Madagascar, Malasia, México, Perú, República Democrática del Congo, Sudáfrica y Venezuela) reúnen más del 70% de la biodiversidad del planeta (Rimmer, 2015).

² La neotenia es un fenómeno que se presenta en algunos animales, el cual consiste en el mantenimiento de las características larvarias en individuos que han madurado sexualmente.

principalmente por la práctica de diversas actividades socioeconómicas no sustentables. Entre ellas destacan: 1) el cambio del uso de suelo en las proximidades del sistema de lagos y canales derivado de la actividad agrícola y el proceso de urbanización; 2) el aumento de la contaminación del agua producido por los fertilizantes agrícolas, la descarga de aguas negras y las malas prácticas del turismo en la zona; 3) la introducción de especies exóticas con fines acuícolas en el entorno natural del ajolote como la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), la carpa europea (*Cyprinus carpio*) y la lobina negra (*Micropterus salmoides*), las cuales devoran a sus crías y ejercen competencia por el alimento, 4) así como la comercialización de la especie con fines medicinales o de consumo (CONABIO, 2011).

A raíz de ello, el ajolote mexicano ha sido incluido en las listas de especies amenazadas de diversas organizaciones y tratados nacionales e internacionales destinadas a conservar los recursos naturales del planeta. A nivel internacional, la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres³ (CITES, por sus siglas en inglés) integró en 1975 al *A. mexicanum* en la categoría Apéndice II, la cual establece una mayor regulación en el comercio internacional de las especies para evitar comprometer su supervivencia (Molina, 2010). Asimismo, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza⁴ (IUCN, por sus siglas en inglés) situó al ajolote en el año 2006 en la categoría "En peligro crítico" (CR, por sus siglas en inglés) de su Lista Roja debido a la pérdida y fragmentación de su hábitat (Zambrano *et al.*, 2010). Por otra parte, en el ámbito nacional, en 2010 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través de la Norma Oficial Mexicana "NOM-059-SEMARNAT-2010", incorporó a la especie en la categoría "En peligro de extinción" a causa de su reducida área de distribución geográfica y el escaso número de individuos que existen en estado silvestre (DOF, 2010).

³ La CITES es "un acuerdo internacional concertado entre los gobiernos, cuya finalidad es velar por que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para su supervivencia" (CITES, 2016).

⁴ La IUCN es una organización ambiental fundada en 1948 que promueve la conservación de la diversidad de la naturaleza y el uso equitativo y sostenible de los recursos naturales del planeta (IUCN, 2016).

Como respuesta a esta grave situación diversas instituciones educativas de nivel superior como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y el Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología, y la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), mediante el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC), han realizado investigaciones en torno a la problemática por la cual atraviesa el ajolote mexicano, además de llevar a cabo diversos proyectos encaminados a rescatar sus poblaciones en estado silvestre, entre los cuales figuran la liberación o introducción de ejemplares de dicha especie en canales controlados y la creación de refugios o santuarios dentro y fuera de Xochimilco.

En ese sentido, organismos gubernamentales como la CONABIO y la SEMARNAT y algunas ONG's asentadas en Xochimilco, como el Umbral Axochiatl, también han contribuido a la protección de la especie mediante la implementación de diversas líneas de acción ambientales, en las cuales la participación de la delegación Xochimilco y de distintas universidades es frecuente.

La argumentación del presente trabajo se centrará tanto en el análisis espacial de las causas que han propiciado la pérdida y fragmentación del hábitat del ajolote, como en los posibles escenarios futuros que encarará la especie. Además de la investigación de gabinete, se realizaron dos entrevistas con especialistas en la conservación del ajolote y del sistema lacustre de Xochimilco; la primera con la Dra. Alejandra Ramos del Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM y la segunda con el representante de la ONG Umbral Axochiatl, es decir que se consideraron dos puntos de vista muy distintos: uno propiamente científico y académico, y otro basado en el conocimiento tradicional y empírico, de manera que ambos se complementaran para ofrecer aportes teóricos útiles.

El documento se encuentra dividido en cuatro capítulos de extensión y contenido variables: el primero de ellos hace alusión a las diversas características físicas y socioeconómicas del área de estudio en concreto, yendo desde la escala estatal (Ciudad de México) hasta la local (sistema de canales de Xochimilco); el segundo

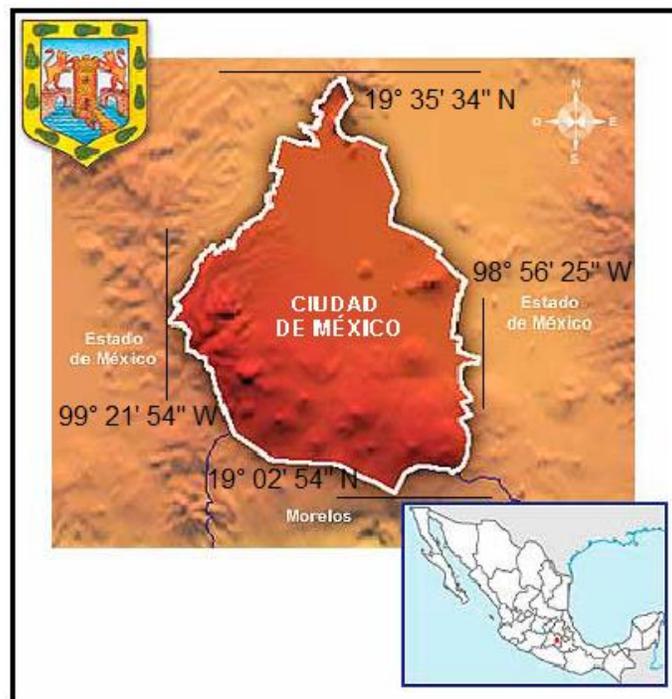
aborda las características biológicas del ajolote mexicano, el empleo de dicha especie como recurso natural a lo largo de la historia, así como la descripción de su hábitat; el tercero versa sobre el estado de conservación del *Ambystoma mexicanum*, el deterioro de su hábitat y las causas de su actual distribución geográfica; mientras que en el cuarto se analizan las diferentes acciones de conservación que se han emprendido en la últimas décadas en torno al anfibio, tanto en Xochimilco como fuera de éste.

Capítulo 1. Descripción de la zona de estudio

La Ciudad de México, antes Distrito Federal⁵, es una de las treinta y dos entidades federativas que conforman los Estados Unidos Mexicanos; se localiza en el centro-sur del país y limita al norte, oeste y este con el estado de México, y al sur con el estado de Morelos. La entidad cuenta con una superficie de 1,485.5 km² (0.1% del territorio nacional) (INEGI, 2011a), lo cual la sitúa como la menos extensa del país, y posee las siguientes coordenadas geográficas extremas (ver Figura 1):

- Al norte: 19° 35' 34" N (19.592778° N) (Delegación Gustavo A. Madero)
- Al sur: 19° 02' 54" N (19.048333° N) (Delegación Milpa Alta)
- Al oeste: 99° 21' 54" W (99.365000° W) (Delegación Cuajimalpa)
- Al este: 98° 56' 25" W (98.940278° W) (Delegación Tláhuac)

Figura 1. Situación geográfica y coordenadas extremas de la Ciudad de México

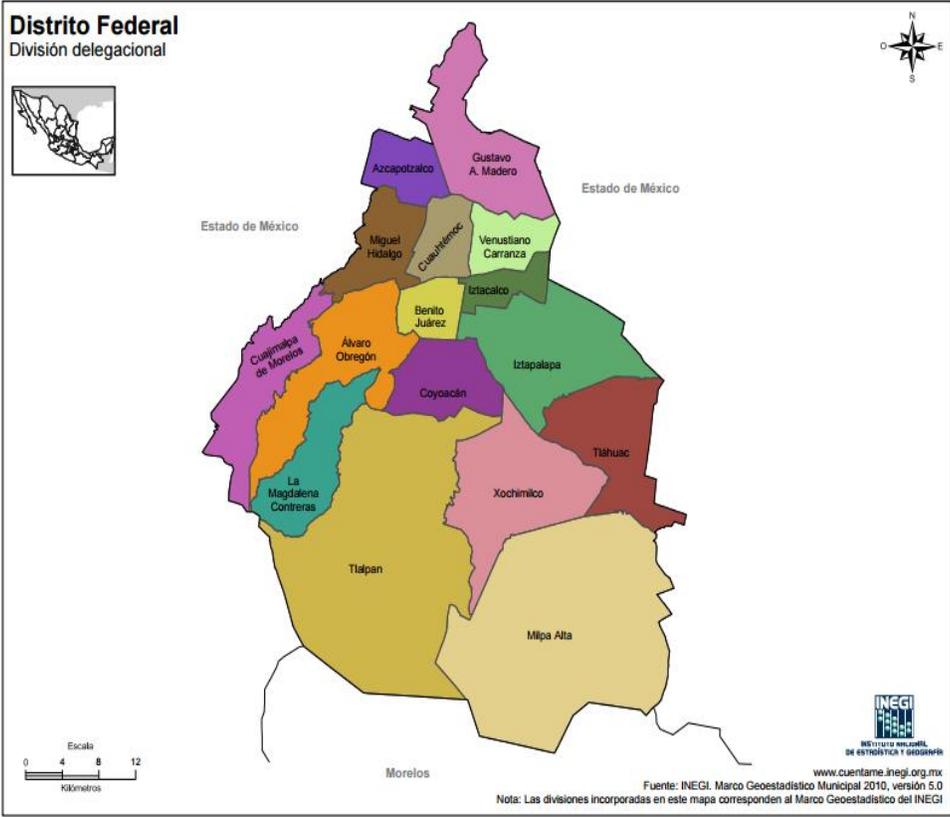


Fuente: INEGI (2016a). Recuperado y modificado el 25 de octubre de 2016 a partir de:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/>

⁵ El 29 de enero de 2016 entró en vigor la Reforma Política de la Ciudad de México, la cual contempla, entre otras disposiciones, el cambio de nombre del Distrito Federal al de Ciudad de México (DOF, 2016).

Por cuestiones administrativas y políticas, la Ciudad de México, que funge como la sede del gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, se encuentra dividida en dieciséis demarcaciones territoriales denominadas delegaciones (ver Mapa 1), y éstas en colonias, pueblos o barrios. Alfabéticamente, las delegaciones políticas son: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Miguel Hidalgo, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan, Venustiano Carranza y Xochimilco.

Mapa 1. División política de la Ciudad de México



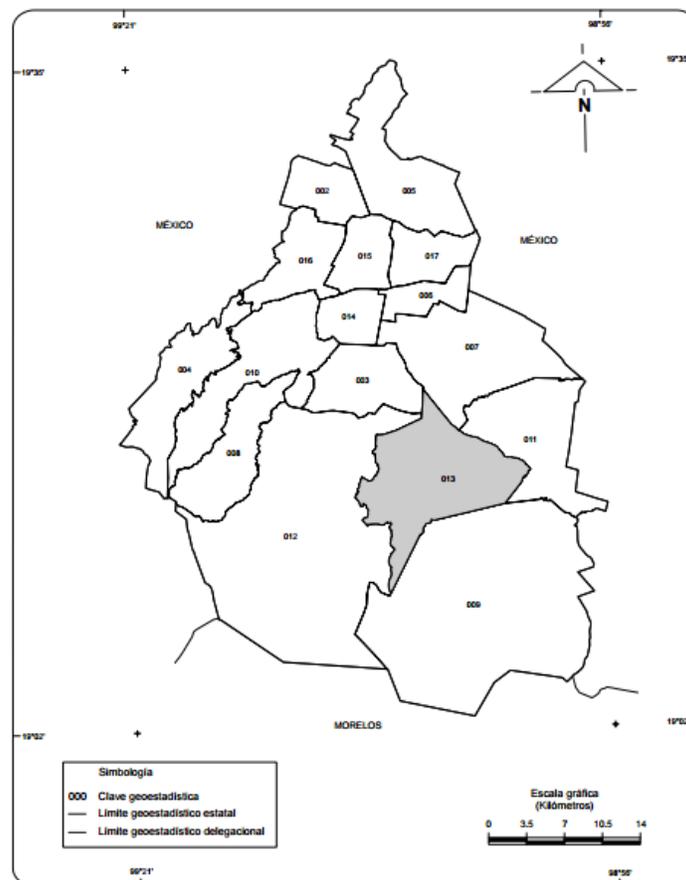
Fuente: INEGI (2016b). Recuperado el 27 de octubre de 2016 a partir de: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/dfdelegcolor.pdf

Por otra parte, la delegación Xochimilco, demarcación que encierra el área de estudio en su totalidad, se sitúa al sureste de la Ciudad de México y colinda al noroeste con la delegación Coyoacán, al noreste con Iztapalapa, al este con

Tláhuac, al sur con Milpa Alta y al oeste con Tlalpan (ver Mapa 2). Administrativamente, se divide en 44 colonias, 17 barrios y 14 pueblos, y posee un área de 118.1 km², lo cual representa el 7.95% de la superficie de la entidad (INEGI, 2008b); sus coordenadas geográficas extremas son las siguientes:

- Al norte: 19° 19' N (19.3167° N)
- Al sur: 19° 09' N (19.1500° N)
- Al oeste: 99° 09' W (99.1500° W)
- Al este: 99° 00' W (99.0000° W)

Mapa 2. Situación geográfica de la delegación Xochimilco en la Ciudad de México



Fuente: INEGI (2008a). Recuperado el 3 de diciembre de 2016 a partir de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf>

Finalmente, respecto al área de estudio en concreto, ésta corresponde al Sistema Lacustre de Xochimilco, el cual está localizado al centro-sureste de la Ciudad de México, en la parte central y septentrional de la delegación Xochimilco, y limita al norte con la Av. Canal de Chalco, al noroeste con el Canal Nacional, al oeste con diversas vialidades como la Av. Plan de Muyuguarda, al suroeste con una serie de barrios de la delegación como Ampliación San Marcos, San Lorenzo, etc., al sur con el Canal de Apatlaco y el Canal Nacional, y al sureste con El Pueblo de San Luis Tlaxialtemalco.

El Sistema Lacustre es un Área Natural Protegida (ANP) (tipo Zona sujeta a conservación ecológica) desde 1992 (cabe mencionar que su polígono fue modificado en 2006); se encuentra a cargo del Gobierno de la Ciudad de México y es el único sitio Ramsar⁶ de la entidad (INEGI, 2015). El ANP, denominada “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, forma parte del suelo de conservación o área rural de la demarcación y es considerada como un ecosistema remanente de la Cuenca de México; posee una superficie de 2,522 ha⁷ (25.22 km²), lo cual representa el 21.35% de la superficie de la delegación Xochimilco, y tiene las siguientes coordenadas extremas:

- Al norte: 19° 19' 15" N (19.320833° N)
- Al sur: 19° 15' 11" N (19.253056° N)
- Al oeste: 99° 07' 08" W (99.118889° W)
- Al este: 99° 00' 58" W (99.016111° W)

⁶ “Los sitios Ramsar se refieren a humedales de importancia internacional considerados como ecosistemas fundamentales en la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad, con importantes funciones (regulación de la fase continental del ciclo hidrológico, recarga de acuíferos y estabilización del clima local), valores (recursos biológicos, pesquerías y suministro de agua) y atributos (refugio de diversidad biológica, patrimonio cultural y usos tradicionales)” (INEGI, 2015: 26). El 2 de febrero de 2004 corresponde a la fecha de designación del Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco como sitio Ramsar (el nombre de éste proviene de la homónima ciudad iraní, lugar donde se celebró la convención en torno a dichos sitios en 1971) (INEGI, 2015).

⁷ El ANP en cuestión pasó de tener una superficie de 2,657 hectáreas en el decreto de 1992 a 2,522 tras la modificación de su polígono en 2006 (es decir, implicó una reducción de 135 hectáreas), derivada de la exclusión de zonas ocupadas por asentamientos humanos establecidos previo al Decreto de Área Natural Protegida (PAOT, 2008).

Administrativamente, el ANP se encuentra dividida en tres zonas con base en sus características y las actividades que están o no permitidas (Ver mapa 3); éstas son:

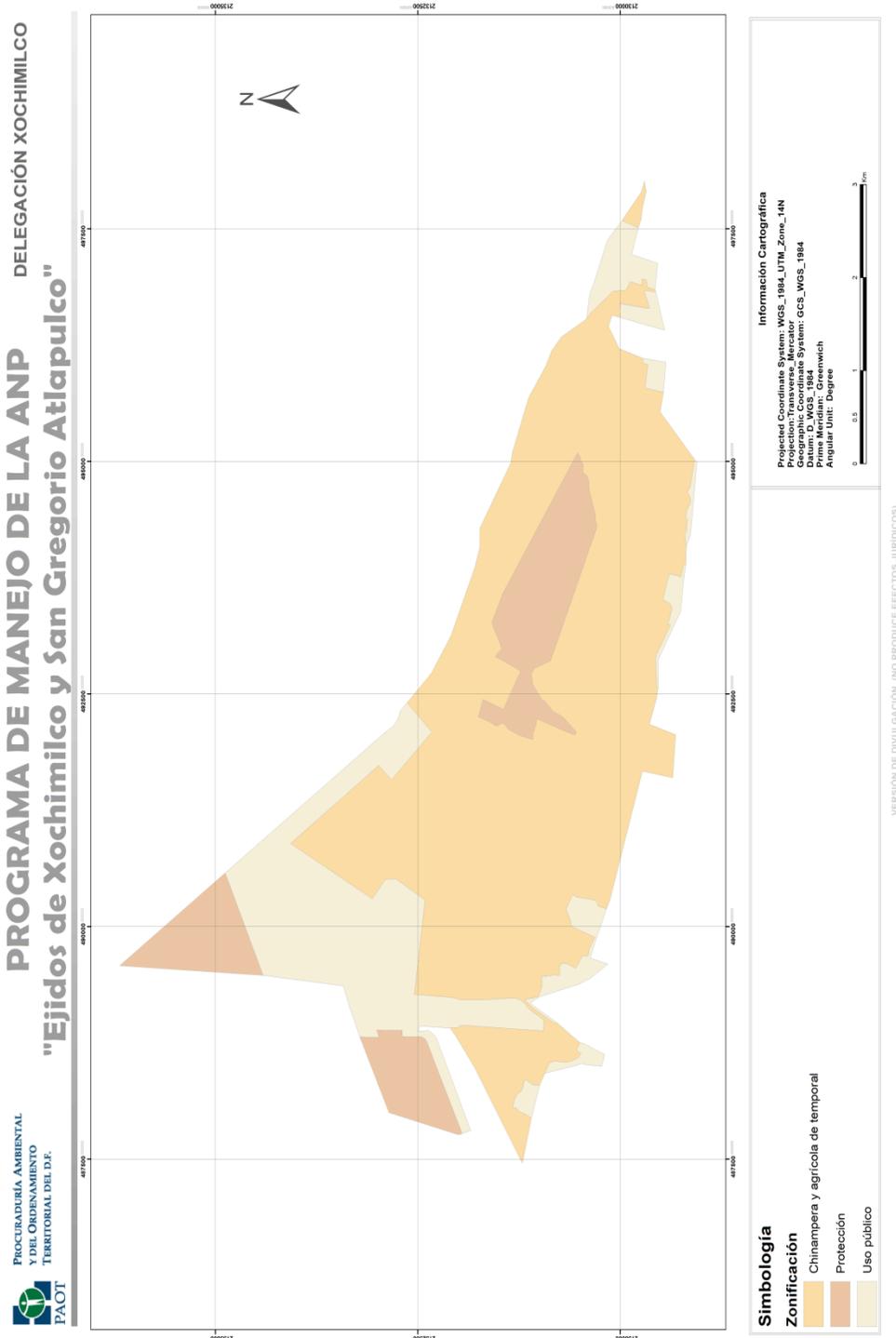
- a) **Zona de protección:** Engloba aquellos espacios cuya biodiversidad y recursos hidrológicos y edáficos presentan un grado de deterioro considerable debido a que las condiciones naturales del sitio han sido modificadas significativamente. Diversos programas ambientales (reforestación, recuperación de la biodiversidad, protección de los humedales, etc.) son aplicados con el fin de conservar el capital natural y la funcionalidad del ANP, a la vez que diversas actividades como la agricultura, la acuicultura, el turismo no ecológico, las prácticas deportivas, así como la construcción de infraestructura, como estacionamientos, ciclopistas, centros de recreación y campos deportivos, no están permitidas. La zona de protección se localiza al noroeste, oeste y centro del ANP y abarca el 13.6% de ésta.

- b) **Zona chinampera y agrícola de temporal:** En ella se llevan a cabo diversas actividades económicas, especialmente la agricultura tradicional realizada en chinampas y en terrenos de temporal. Adicionalmente, están permitidas la apicultura, la ganadería, la acuicultura, el turismo ecológico, etc., mientras que el comercio, las prácticas deportivas (a excepción de la pesca deportiva), la caza, etc. están prohibidas. La zona presenta un deterioro considerable, por lo cual se han implementado acciones encaminadas a rehabilitar el sistema hidráulico de los cuerpos de agua y revertir el daño ambiental relacionado con prácticas agrícolas inapropiadas. Esta sección comprende el 65.8% del área total del ANP y abarca grandes extensiones del centro, este y sur de ésta.

- c) **Zona de uso público:** Incluye aquellos espacios donde está permitida la infraestructura para prácticas deportivas, recreativas, culturales, turísticas,

de investigación, etc., entre las que destacan el Parque Ecológico de Xochimilco y el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC). Esta zona ha estado sujeta a importantes modificaciones debido a la actividad humana y al desarrollo de asentamientos humanos previo a la declaratoria del Área Natural Protegida. A pesar de que en esta sección no existen regulaciones ambientales tan estrictas como en las anteriores (únicamente están prohibidas la caza, la presencia de establos, el motociclismo, el uso de transgénicos en la agricultura, entre otros), se busca que las prácticas llevadas a cabo no se opongan a la conservación de los recursos naturales, al desarrollo de la agricultura tradicional y a la funcionalidad del ANP. La zona de uso público cubre el 20.6% de la superficie total del ANP y se halla principalmente al noroeste de ésta y en porciones del norte, oeste, suroeste y sureste.

Mapa 3. Zonificación del Área Natural Protegida “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”



Fuente: PAOT (2016). Recuperado el 15 de diciembre de 2016 a partir de: <http://200.38.34.15:8008/mapguide/sig/download/Programa%20de%20manejo%20ANP%20Xochimilco.png>

1.1 Aspectos físicos

1.1.1 Relieve, geología y edafología

La Ciudad de México está insertada de manera íntegra en la subprovincia fisiográfica de Lagos y Volcanes de Anáhuac (por ende, tanto la delegación Xochimilco como la zona de estudio también lo están), que a la vez forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, la cual se localiza en el centro-sur del país, extendiéndose de este a oeste (ver Mapa 4).

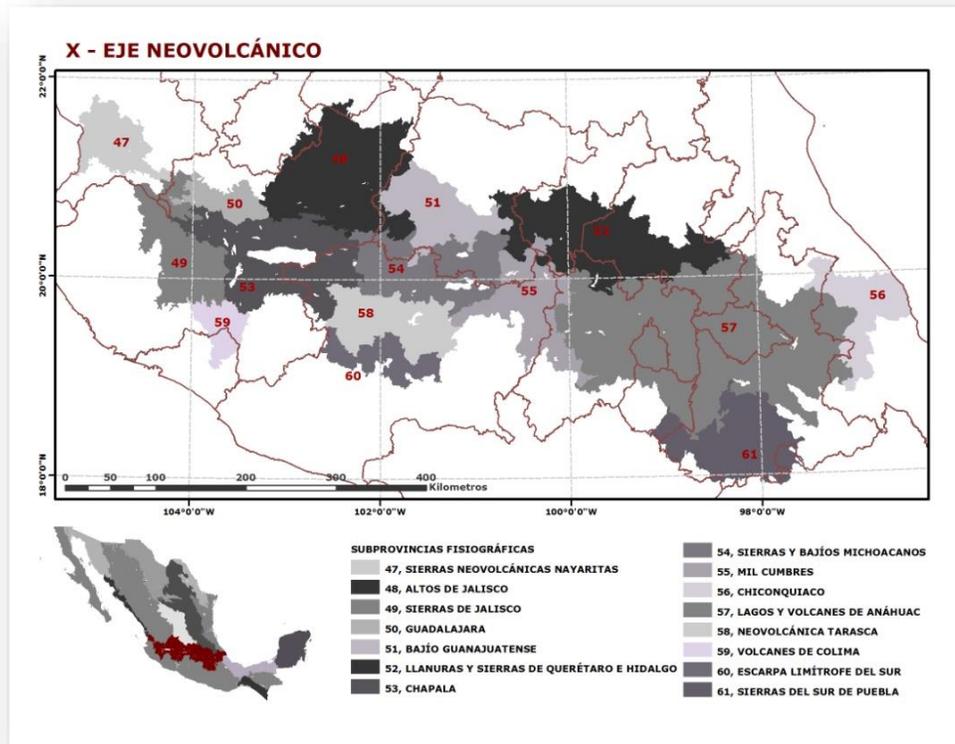
En este sentido, las topoformas predominantes en la entidad (ver Mapa 5) son las sierras volcánicas con estratovolcanes y volcanes aislados (47.10% del territorio), entre las cuales destacan la Sierra de Guadalupe al norte, la de Santa Catarina al este, la de las Cruces al suroeste y la de Ajusco-Chichinauhtzin⁸ al sur y sureste, así como las llanuras lacustres (45.03% del territorio) (INEGI, 2015). En contraste, en la delegación Xochimilco (ver Mapa 6) prevalece la llanura lacustre (69.88% de su superficie), seguida de la sierra volcánica con estratovolcanes (30.12% del territorio) (INEGI, 2008b), la cual está representada por una porción de la Sierra Ajusco-Chichinauhtzin⁹, localizada en partes del occidente, sur y oriente de la demarcación. Finalmente, en el Sistema Lacustre predominan en gran medida las planicies¹⁰ inundadas por cuerpos de agua naturales y artificiales, divididas en tres unidades geomorfológicas: llanura lacustre, lacustre-salina y aluvial; asimismo, en la porción meridional de su zona de influencia se presenta un piedemonte o zona de transición, en la cual destacan los cerros Cantil y Xochitepec, así como el volcán Teuhtli.

⁸ El cerro La Cruz del Marqués (El Ajusco), localizado en la Sierra Ajusco-Chichinauhtzin, es la mayor elevación de la Ciudad de México con 3,930 m.s.n.m.

⁹ En los límites con Milpa Alta y Tláhuac el terreno alcanza los 3,140 m.s.n.m.

¹⁰ La altitud promedio en las planicies del Sistema Lacustre es de 2.240 m.s.n.m., mientras que su pendiente oscila entre el 0 y el 5%.

Mapa 4. Subprovincias fisiográficas de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico

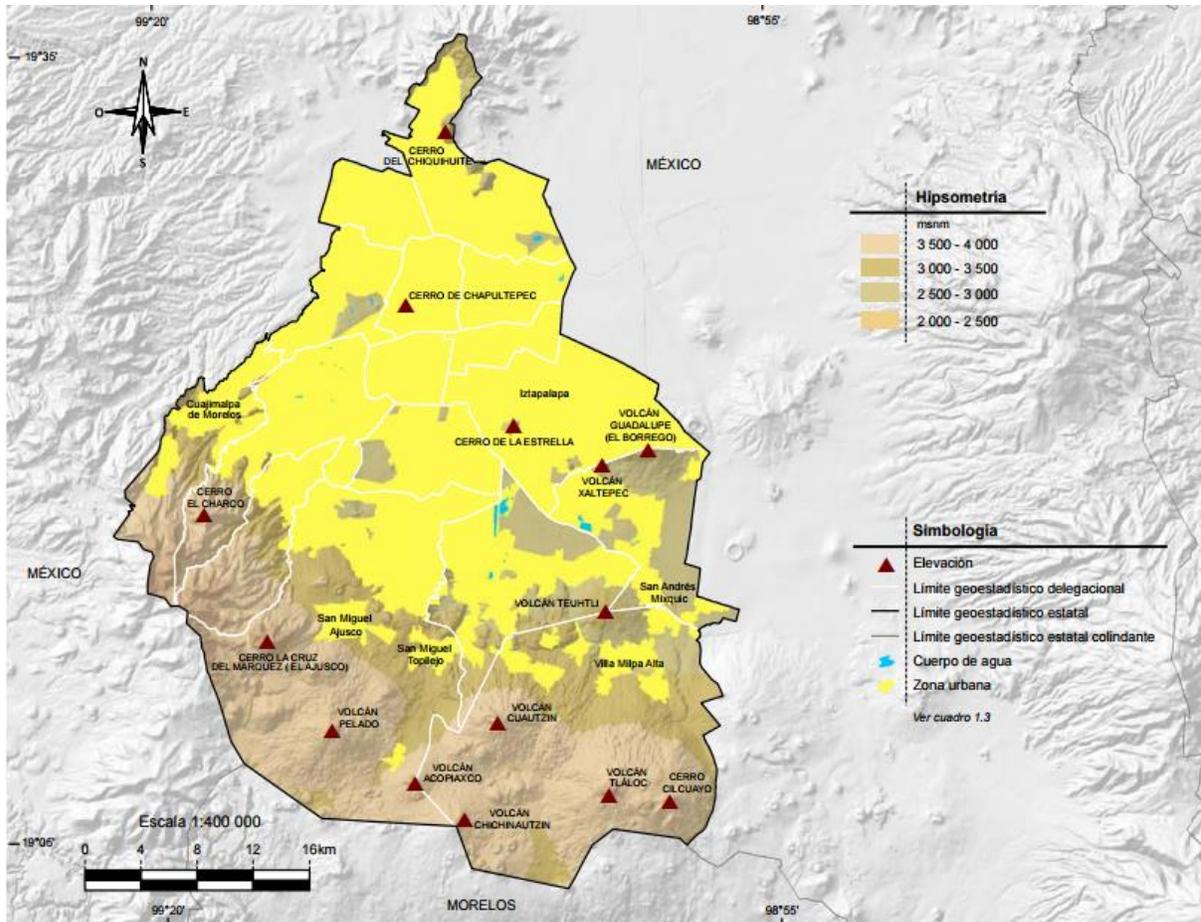


Fuente: SE (2013). Recuperado el 19 de diciembre de 2016 a partir de: <https://proteccionforestal.files.wordpress.com/2011/09/nmx-germoplasma-10-05-2013.pdf>

En cuanto a la geología de los suelos y las rocas de la Ciudad de México, el 100% corresponde a la era Cenozoica (por consiguiente, aplica lo mismo para Xochimilco y el área de estudio), y de ésta el 76.89% pertenece al período Cuaternario (siendo predominantes las rocas ígneas extrusivas con un 45.10%) y el resto al Terciario Superior (dentro de las cuales las rocas ígneas extrusivas también son mayoritarias). En cuanto a Xochimilco, los suelos y las rocas que imperan también son los pertenecientes al período Cuaternario, con un 86.01% (destacando los suelos lacustres y aluviales, así como las rocas ígneas extrusivas como el basalto y la brecha volcánica básica), mientras que los propios del Terciario Superior suman el restante 13.99% (entre las que destacan nuevamente las rocas ígneas extrusivas, como la andesita y la toba básica). Por otra parte, en el Sistema Lacustre los suelos lacustres y aluviales del Cuaternario son

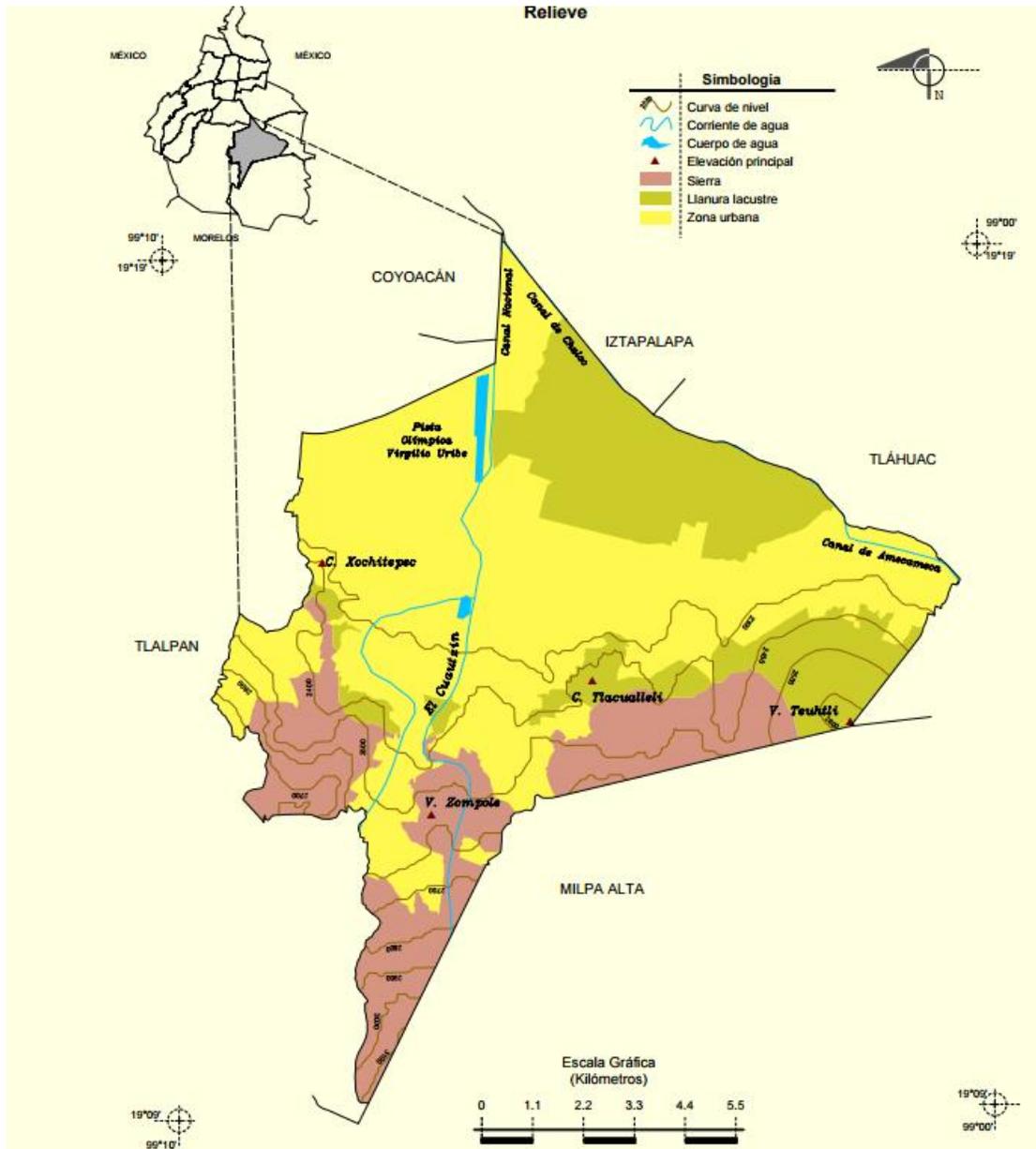
mayoritarios sobre las rocas ígneas extrusivas (éstas últimas localizadas en el extremo sur del ANP); los depósitos sedimentarios de los suelos de la llanura lacustre son de origen volcánico, aluvial y orgánico (CONANP, 2004).

Mapa 5. Relieve de la Ciudad de México



Fuente: INEGI (2015). Recuperado el 21 de diciembre de 2016 a partir de:
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

Mapa 6. Relieve de la delegación Xochimilco



Fuente: INEGI (2011b). Recuperado el 23 de diciembre de 2016 a partir de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/09/09013.pdf>

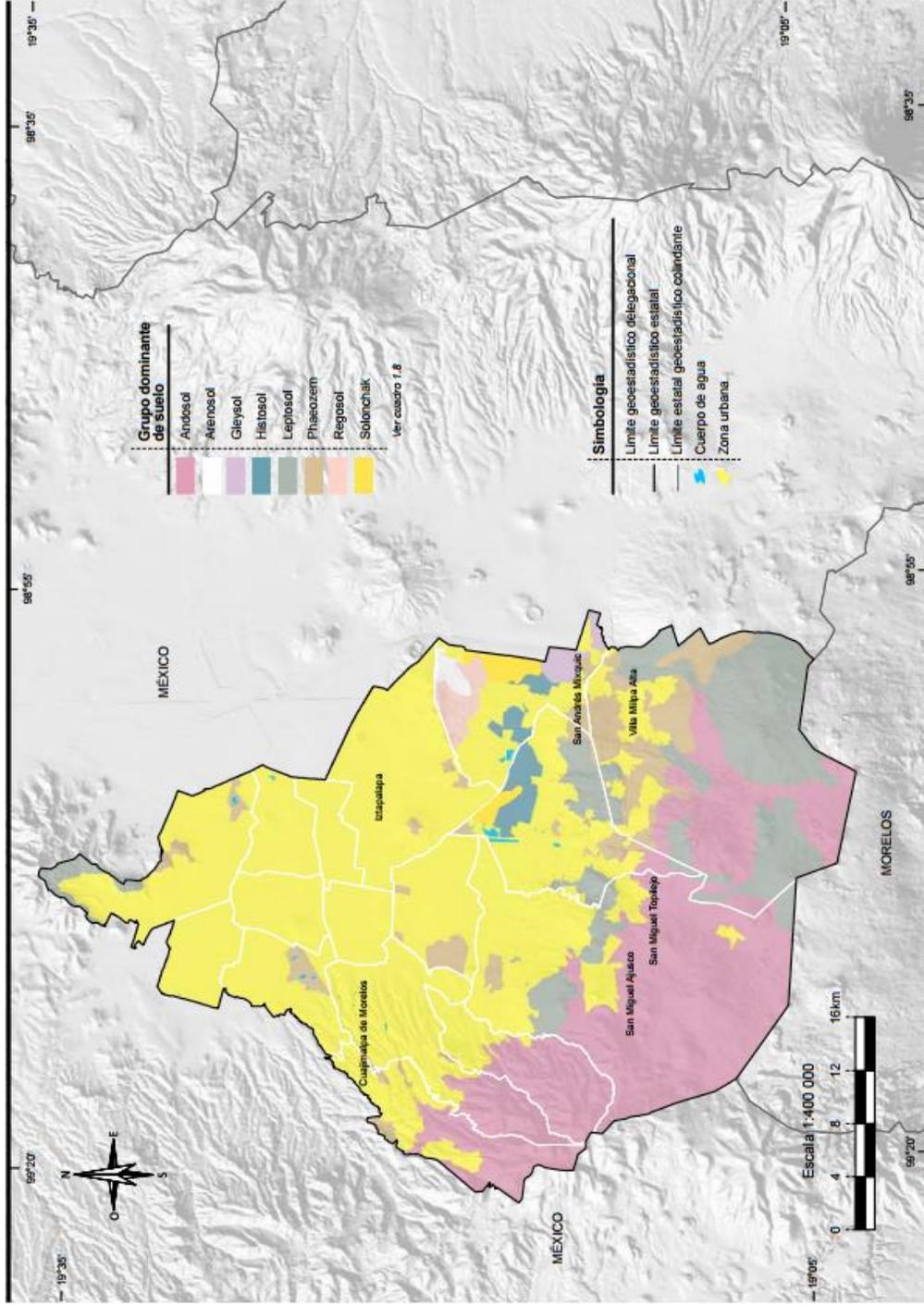
Finalmente, los tipos de suelo¹¹ que ocupan una mayor superficie de la entidad son los Andosoles (26.32%), Leptosoles (12.76%), Phaeozem o Feozem (6.30%) y los Histosoles (1.43%) (ver Mapa 7). Por otra parte, en Xochimilco destacan los

¹¹ Sistema de clasificación FAO-UNESCO.

Phaeozem (28.9%), Histosoles (9.0%), Litosoles (3.6%), Andosoles (3.5%) y Solonchak (3.0%) (ver Mapa 8).

Respecto al área de estudio en particular, abundan los suelos lacustres y palustres (estos últimos relativos a zonas de humedales o pantanos) profundos, oscuros y con alto contenido de materia orgánica. Entre los tipos de suelo presentes en la zona están los Leptosoles, Phaeozem háplicos (Hh) y gléyicos (Hg), Andosoles mólicos (Am), Histosoles éutricos (Oe) y Solonchak mólicos (Zm); sin embargo, estos suelos pueden considerarse como Antrosoles debido a la influencia antrópica (CONANP, 2004).

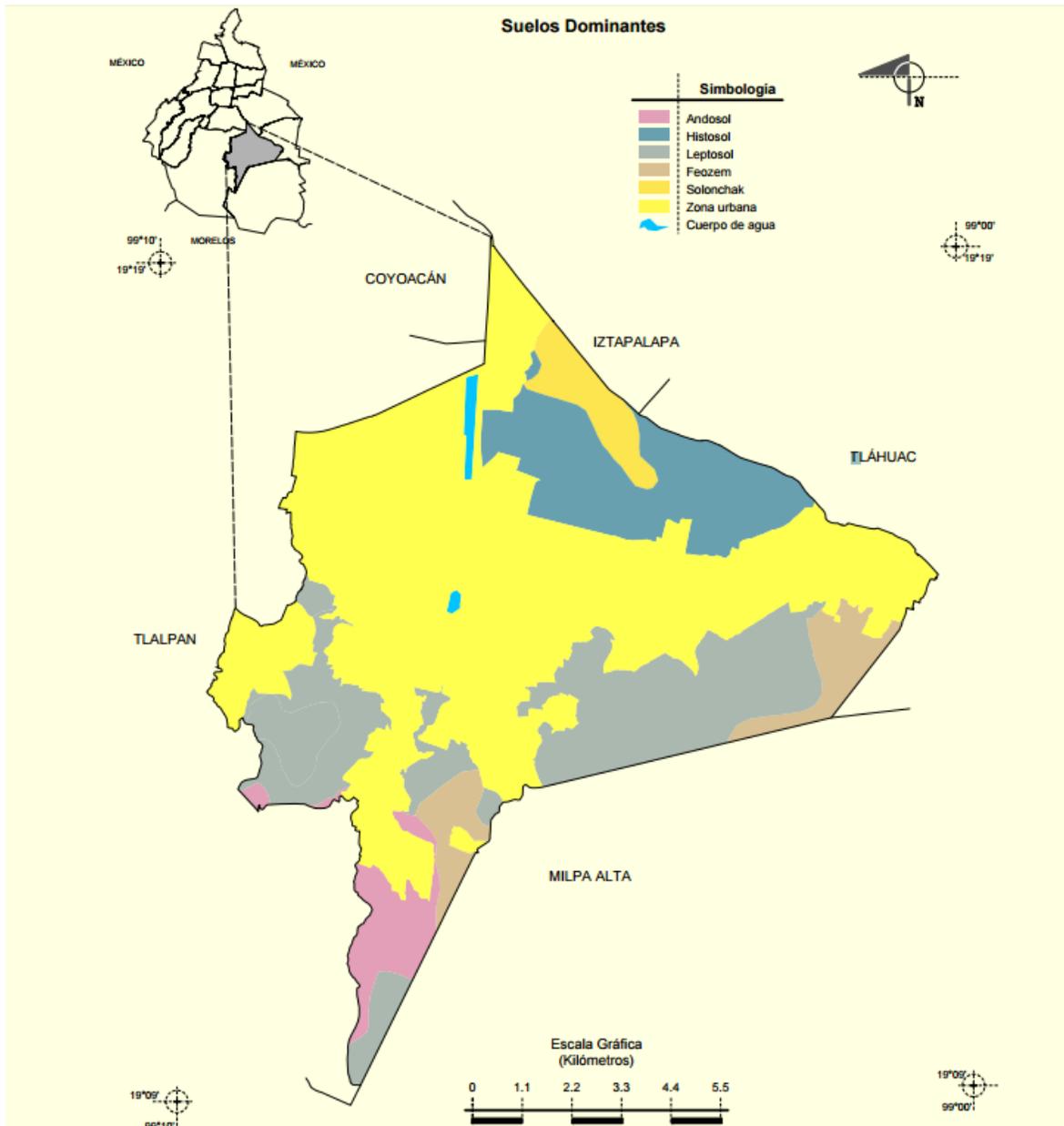
Mapa 7. Suelos dominantes de la Ciudad de México



Fuente: INEGI (2015). Recuperado el 6 de enero de 2017 a partir de:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

Mapa 8. Suelos dominantes de la delegación Xochimilco



Fuente: INEGI (2011b). Recuperado el 8 de enero de 2017 a partir de:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/09/09013.pdf>

1.1.2 Hidrografía

El territorio de la Ciudad de México forma parte de tres regiones hidrológicas: la del Pánuco, la del Balsas y la del Lerma-Santiago (ver mapas 9 y 10). La primera ocupa la mayor superficie de la entidad con un 87.22%, y consta de una porción de la cuenca hidrológica del río Moctezuma (vertiente del Golfo de México) y de la subcuenca de los lagos Texcoco y Zumpango; la del Balsas, localizada al suroeste y sureste del territorio, comprende un 12.47% e incluye parte de la cuenca del río Grande de Amacuzac (vertiente del Océano Pacífico) y de las subcuencas de los ríos Yautepec y Apatlaco; y, finalmente, la del Lerma-Santiago, localizada al poniente de la entidad, abarca un extensión del 0.31% e integra parcialmente la cuenca del río Lerma-Toluca (vertiente del Pacífico) y la subcuenca del río Almoloya-Otzolotepec.

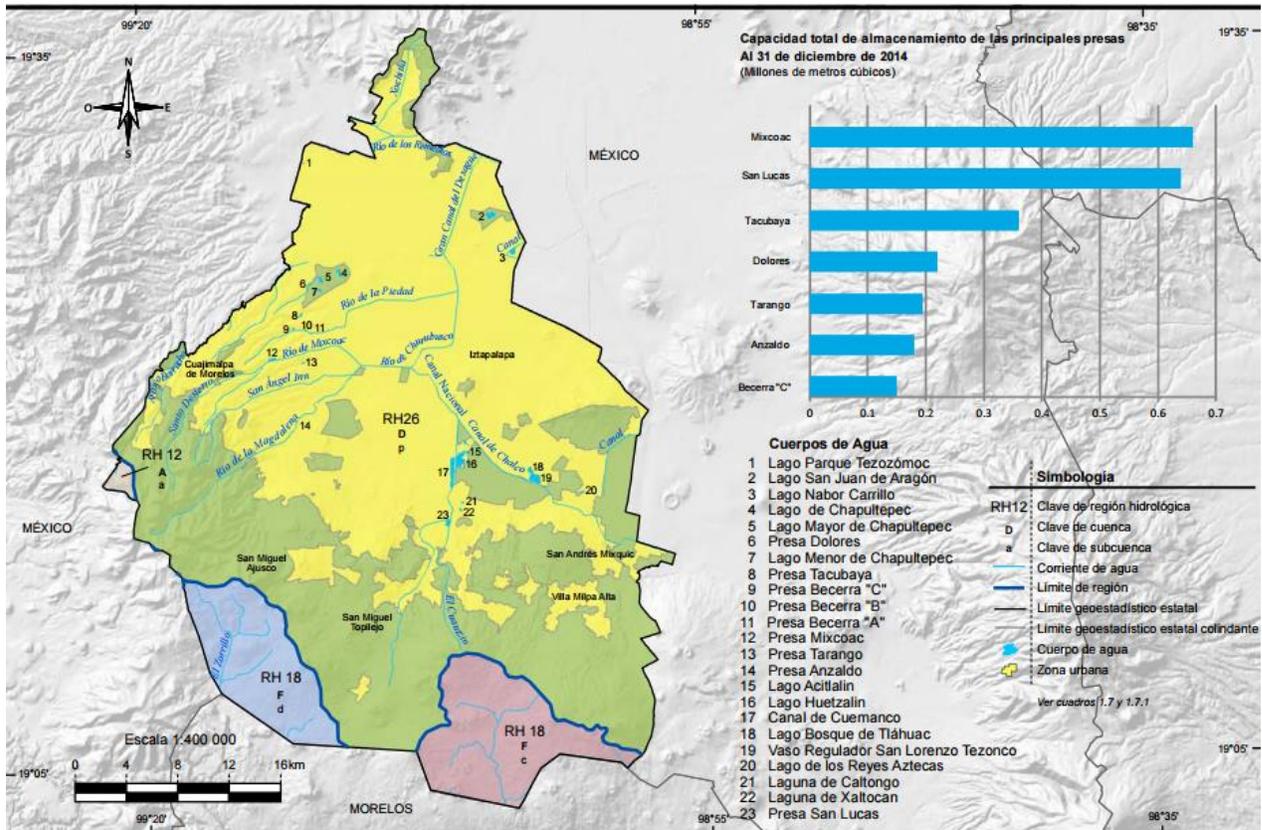
A pesar de su relativa escasez, existen diversos cuerpos y corrientes de agua en el territorio de la Ciudad de México (ver Mapa 10). Los primeros se dividen en lagos (naturales o artificiales), lagunas y presas, entre los cuales destacan por su tamaño y/o importancia el Lago Nabor Carrillo, el Lago de Chapultepec, el Lago del Bosque de Tláhuac (artificial), el Lago de San Juan de Aragón (artificial), la Laguna de Xaltocan, la Presa Tacubaya, las Presas Becerra A, B y C, la Presa Mixcoac y la Presa San Lucas; por otra parte, entre las corrientes hidrográficas más significativas se hallan el Río de los Remedios, el Río de la Magdalena, el Río de la Piedad (entubado), el Río Churubusco (entubado), el Río Mixcoac (entubado), el Gran Canal del Desagüe (entubado) y el Canal Nacional.

Mapa 9. Regiones hidrológicas de México



Fuente: CONAGUA (2014). Recuperado el 14 de enero de 2017 a partir de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-17-14.pdf>

Mapa 10. Hidrografía de la Ciudad de México

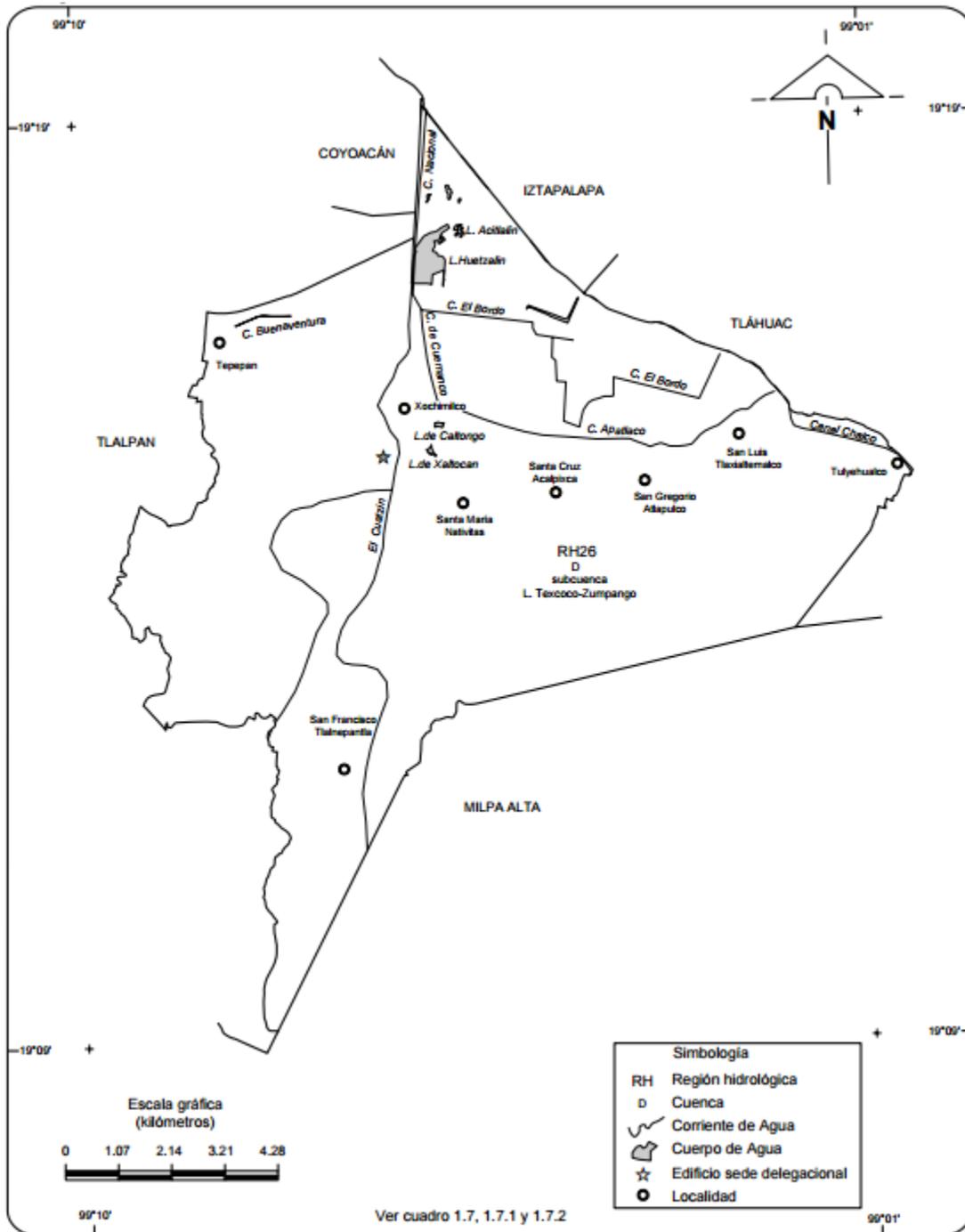


Fuente: INEGI (2015). Recuperado el 14 de enero de 2017 a partir de:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

En el caso de la delegación Xochimilco (ver Mapa 11), la totalidad de la demarcación forma parte de la región hidrológica del Pánuco, de la cuenca hidrológica del río Moctezuma y de la subcuenca de los lagos Texcoco-Zumpango (por ende el área de estudio también). Por otra parte, entre las principales corrientes de agua destacan los Canales Nacional, Cuernavaca, El Bordo, Chalco y Apatlaco, mientras que entre los cuerpos de agua de mayor importancia están el lago Huetzalin, las lagunas Caltongo y Xaltocan, así como la presa San Lucas.

Mapa 11. Hidrografía de la delegación Xochimilco



Fuente: INEGI (2008a). Recuperado el 17 de enero de 2017 a partir de:
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf>

Por otra parte, el Sistema Lacustre tiene en los macizos montañosos de la ladera norte de la Sierra Chichinauhtzin su principal zona de captación; ésta se localiza al

suroeste del ANP, en la delegación Tlalpan, y presenta un flujo cuya dirección va del suroeste al noreste. Los canales, las lagunas permanentes y de temporal, y los apantles¹² que conforman el Sistema son alimentados de manera natural por la descarga de aguas subterráneas (principalmente mediante manantiales) y escurrimientos provenientes de la Sierra Ajusco-Chichinauhtzin (a través de los ríos Parres, San Lucas y San Gregorio), es decir, del área de captación, y artificial, por medio de aguas residuales tratadas procedentes de las plantas del Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco. La longitud de la red de canales interconectados es de alrededor de 203 km., mientras que su profundidad oscila entre los 60 centímetros y 6 metros, y está compuesta por los Canales Nacional, Cuemanco, Apatlaco, El Bordo, entre otros, mientras que de los cuerpos de agua destacan la Ciénega Grande, la Ciénega Chica, el Lago de Conservación de Flora, Fauna y Acuacultura de San Gregorio Atlapulco, el Lago Huetzalin, del Toro y Tlilac. La importancia ecológica del ANP radica en los servicios ambientales que aportan los acuíferos y los humedales a su entorno inmediato y a la Ciudad de México (CONANP, 2004; GODF, 2006).

1.1.3 Clima

En la Ciudad de México existen cuatro distintos tipos de clima, los cuales se hallan distribuidos de manera desigual a lo largo de su territorio (ver Mapa 12). El de mayor importancia por la extensión que ocupa es el templado subhúmedo con lluvias en verano (59.68% de la superficie), el cual, a la vez, presenta tres subtipos: el de menor humedad ($C(w_0)$), cuya distribución abarca porciones del norte, noroeste, centro y oriente de la entidad y comprende el 23.87% de su territorio; el de mayor humedad ($C(w_2)$), que se encuentra en el occidente, sur y sureste de la demarcación y cubre el 18.35% de su área; y el de humedad media ($C(w_1)$), el cual se extiende por el noroeste, centro, centro-sur y sureste de la capital, y ocupa el 17.46% de su superficie. En segundo plano, por la superficie que abarca, está el clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano, el cual

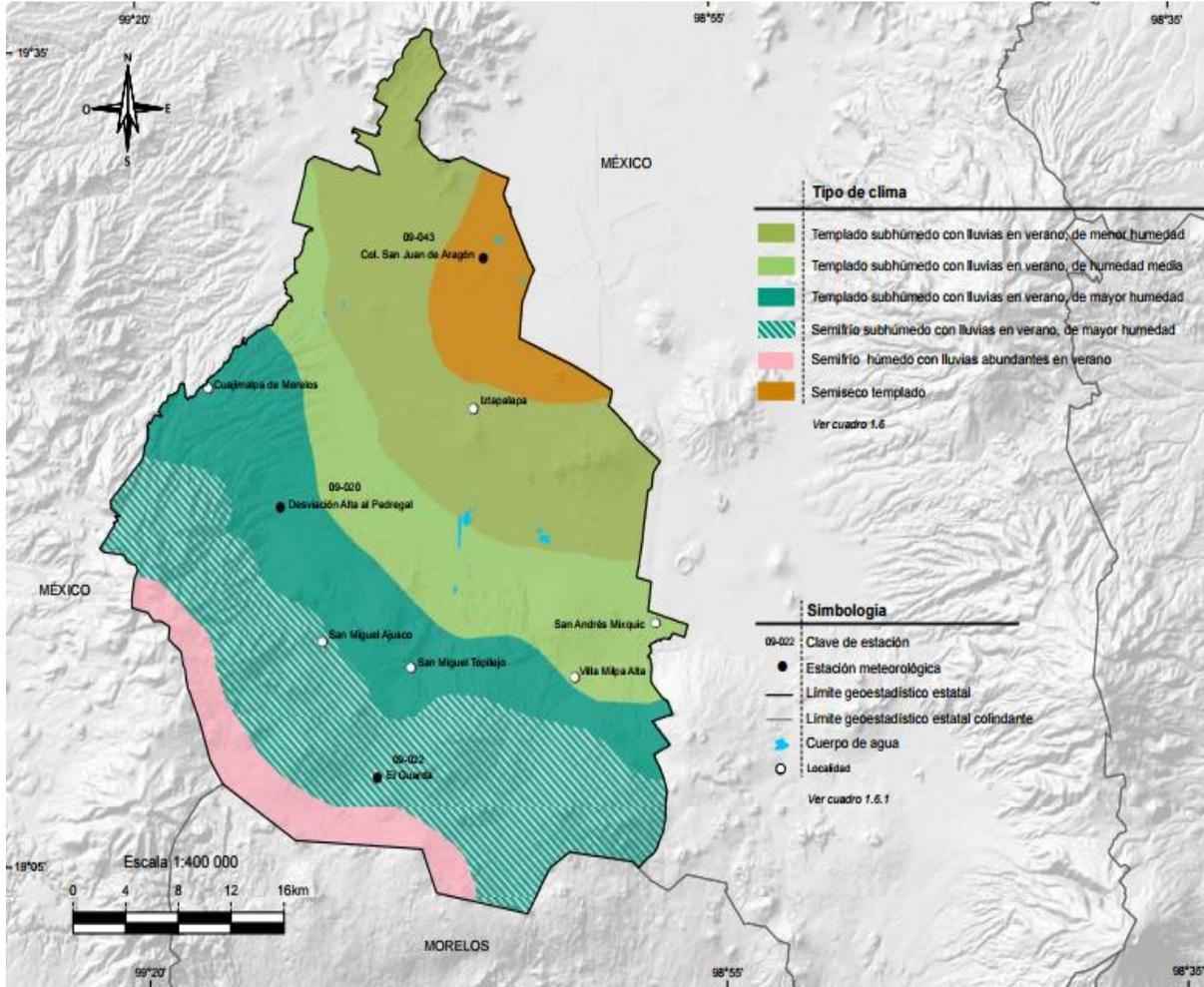
¹² Acequia para regar (del náhuatl *atl*, agua y *pantli*, hilera).

solamente posee en la entidad el subtipo de mayor humedad (C(E)(w₂)), cuya área de influencia se halla en el occidente, suroeste, sur y sureste de la Ciudad de México y comprende el 27.53% de su superficie. Asimismo, con una extensión más reducida (6.59%) figura el clima semiseco templado (BS₁k), hallado al noreste y parte del oriente de la entidad; y, finalmente, con la menor presencia en dicho territorio se encuentra el clima semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano (C(E)(m)), situado en una estrecha franja que recorre porciones del occidente y del extremo suroeste, sur y sureste de la capital, cubriendo únicamente el 6.20% de su área.

Por otro lado, respecto a la temperatura media anual de la Ciudad de México, ésta ha sido calculada por tres estaciones meteorológicas para distintos períodos y sitios de la entidad. La primera de ellas es la de la Desviación Alta al Pedregal (Delegación Tlalpan), la cual registra, para el lapso 1962-2010, una temperatura promedio de 15.4°C; posteriormente, la estación de El Guarda (Delegación Tlalpan) presenta, para el intervalo 1965-2009, una temperatura promedio de 10.0°C; mientras que la estación Colonia San Juan de Aragón (Delegación Gustavo A. Madero) ha registrado, para el ciclo 1953-2010, una temperatura media de 16.7°C.

Finalmente, con relación a la precipitación total anual, se presentan los siguientes valores: Estación Desviación Alta al Pedregal - 973.2 mm (período 1952-2010), Estación El Guarda - 1,254.4 mm (período 1965-2009), y Estación Colonia San Juan de Aragón - 585.9 mm (período 1953-2010). Geográficamente, dicho parámetro muestra valores más altos (de 1,200 a 2,000 mm) en porciones del poniente, suroeste, sur y sureste de la Ciudad de México, mientras que los más bajos (500-700 mm) se hallan en partes del noroeste, norte, noreste, centro y este de la entidad.

Mapa 12. Climas de la Ciudad de México



Fuente: INEGI (2015). Recuperado el 20 de enero de 2017 a partir de:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

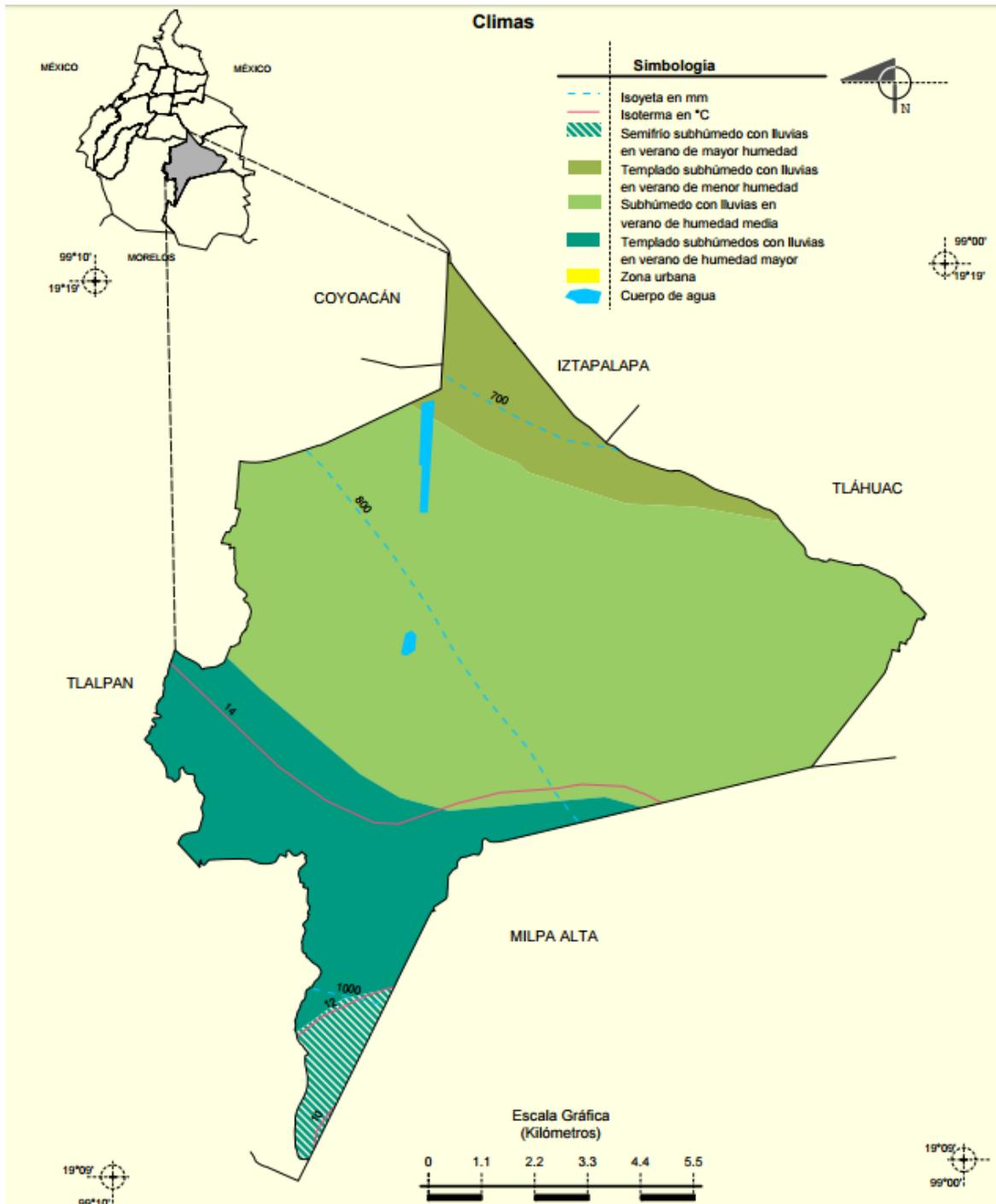
Respecto a la delegación Xochimilco, los cuatro tipos de clima existentes están distribuidos de manera desigual y se presentan en la siguiente proporción (ver Mapa 13): templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media ($C(w_1)$), localizado en porciones del norte, occidente, centro y este de la demarcación, con un 68.31%; templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad ($C(w_2)$), localizado en partes del occidente y sur de la delegación, con un 20.52%; templado subhúmedo con lluvias en verano, de menor humedad ($C(w_0)$), localizado en el extremo norte y parte del oriente, con un 8.54%; y el semifrío

subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad ($C(E)(w_2)$), localizado en el extremo sur de Xochimilco, con un 2.63%.

Por otra parte, la temperatura media anual de la delegación ha sido calculada por tres estaciones meteorológicas: Moyoguarda (norte de Xochimilco) – 15.0°C (período 1951-1985); San Francisco Tlalnepantla (sur de Xochimilco) – 13.0°C (período 1967-2000); y San Gregorio Atlapulco (este de Xochimilco) – 16.0°C (período 1961-1990). En cuanto a la precipitación total anual, los valores para cada una de las estaciones son las siguientes: Moyoguarda – 680.0 mm (1951-1985); San Francisco Tlalnepantla – 948.3 mm (período 1961-2000); y San Gregorio Atlapulco – 700.1 mm (período 1961-1990).

Por otra parte, la zona de estudio presenta dos tipos de clima: templado subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad ($C(w_0)$) en la porción norte y templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media ($C(w_1)$) en el resto de la superficie. La temperatura media anual oscila entre los 12 y 18°C, con posibilidades de heladas entre noviembre y enero, mientras que la precipitación total anual es de 620.4 mm, la cual se concentra entre los meses de mayo y octubre. Respecto a los vientos dominantes, éstos proceden del norte y noreste; asimismo, de noviembre a febrero se manifiestan vientos del sureste.

Mapa 13. Climas de la delegación Xochimilco



Fuente: INEGI (2011b). Recuperado el 21 de enero de 2017 a partir de:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/09/09013.pdf>

1.1.4 Uso de suelo y vegetación

La Ciudad de México posee alrededor de 148,549 hectáreas de superficie, las cuales presentan distintos tipos de vegetación y usos del suelo a lo largo de su territorio (ver Mapa 14). Por un lado, las áreas urbanas predominan notablemente dentro de los usos del suelo de la entidad, seguidas de las destinadas a las actividades agrícolas, mientras que la superficie cubierta por el bosque, los pastizales y los cuerpos de agua es relativamente limitada. En la Tabla 1 se indica el valor del área cubierta por los diversos tipos de superficie de la entidad.

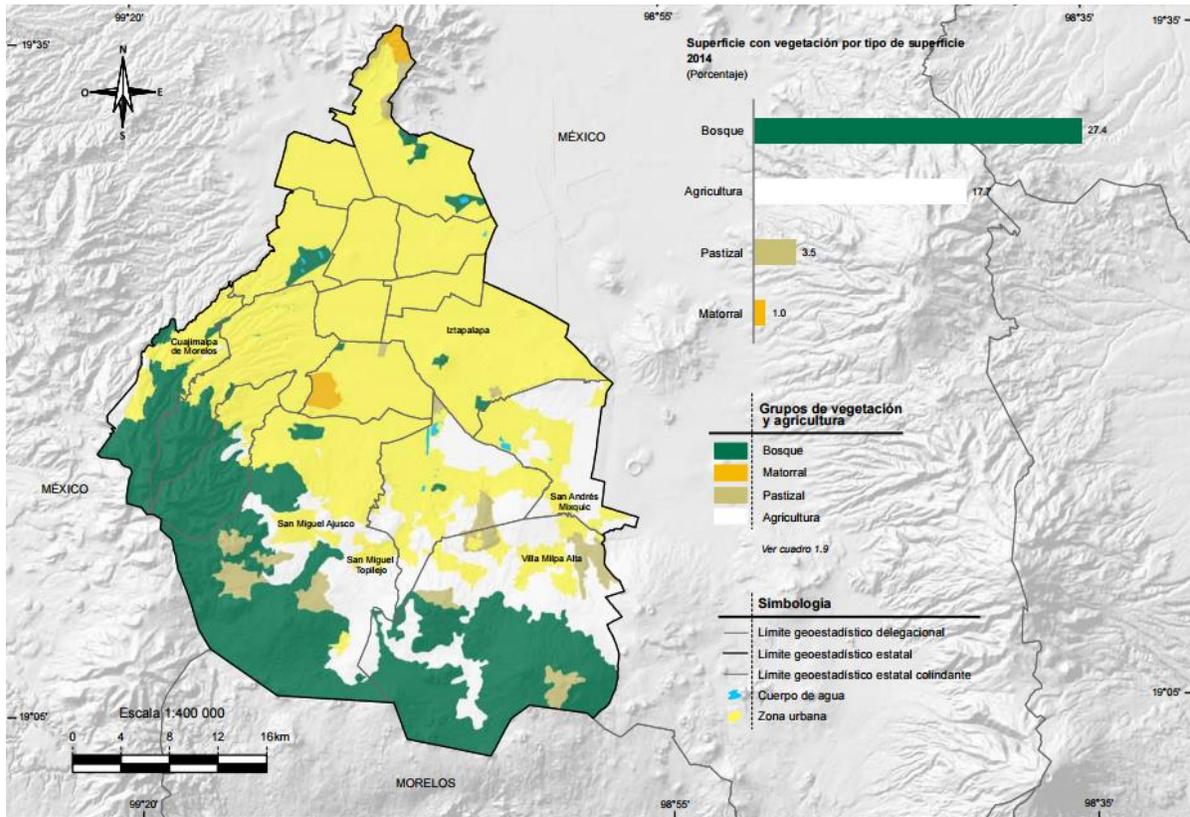
Tabla 1. Área cubierta por los tipos de superficie de la Ciudad de México

Tipo de superficie	Superficie (ha)	Proporción (%)
Áreas urbanas	59,192.10	39.85
Agricultura	37,184.30	25.03
<i>Temporal</i>	33,325.00	89.62
<i>Riego</i>	3,859.30	11.58
Vegetación secundaria¹³	24,473.80	16.48
Bosque	17,221.90	11.59
<i>Coníferas</i>	13,688.50	79.48
<i>Cultivado</i>	2,494.80	14.49
<i>Encino</i>	1,038.60	6.03
Pastizal	9,389.30	6.32
<i>Inducido</i>	7,379.50	78.59
<i>Natural</i>	1,619.60	17.25
<i>Cultivado</i>	390.20	4.16
Matorral xerófilo	663.70	0.45
Cuerpos de agua	284.50	0.19
Áreas sin vegetación	140.00	0.09
Total	148,549.60	100.00

Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (2015). Recuperado el 24 de enero de 2017 a partir de: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

¹³ La vegetación secundaria es considerada un estado sucesional de la vegetación en el que existen indicios de que la vegetación original ha sido eliminada o alterada de manera significativa, ya sea por factores antrópicos o naturales. Existen tres fases de desarrollo de este tipo de vegetación: herbácea, arbustiva y arbórea (INEGI, 2007).

Mapa 14. Uso de suelo y vegetación de la Ciudad de México



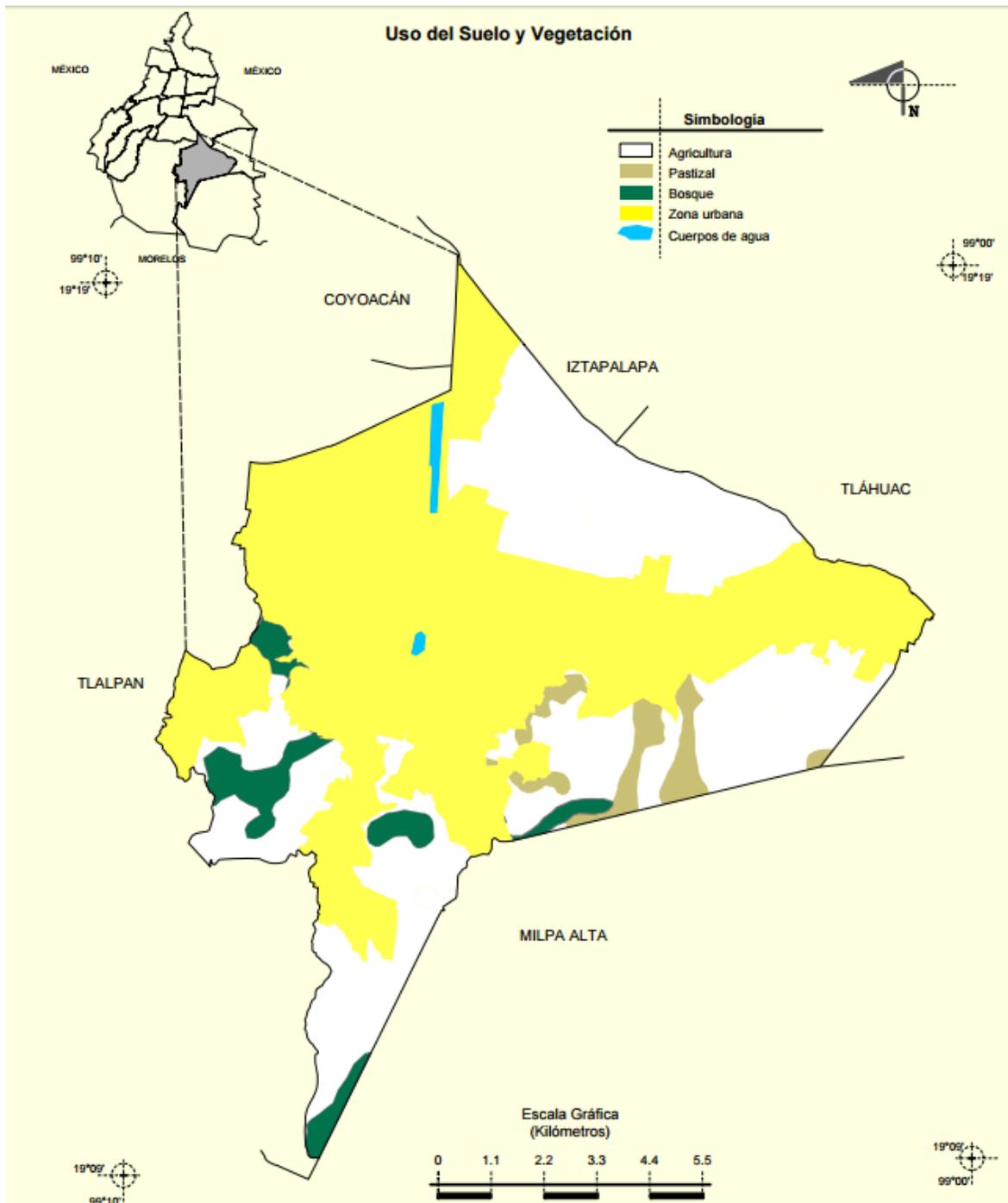
Fuente: INEGI (2015). Recuperado el 25 de enero de 2017 a partir de:

http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf

Por otra parte, en la delegación Xochimilco predominan nuevamente las zonas urbanas (56%), seguidas de las tierras agrícolas (37%), el bosque (4%) y el pastizal (3%) (ver Mapa 15), mientras que en el ANP la mayor parte de la superficie está destinada al aprovechamiento productivo, especialmente el relacionado con la agricultura de riego y de temporal, lo cual incluye la realizada en las chinampas¹⁴. Adicionalmente, existe infraestructura de uso público con fines recreativos, como las pistas de remo y canotaje, y canales y cuerpos de agua para el turismo. En contraste, el área ocupada por los asentamientos urbanos, tanto los regulares como los irregulares, es cada vez mayor (CONANP, 2004).

¹⁴ Terreno de corta extensión, a manera de islote artificial, construido en las lagunas vecinas a la ciudad de México, donde se cultivan flores y verduras.

Mapa 15. Uso de suelo y vegetación de la delegación Xochimilco



Fuente: INEGI (2011b). Recuperado el 26 de enero de 2017 a partir de:
<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/09/09013.pdf>

1.1.5 Biogeografía

La localización de la Ciudad de México en una barrera física natural, es decir, en una cordillera (Eje Neovolcánico), propicia que se halle en los límites de dos reinos biogeográficos: el Neártico y el Neotropical. La ambigüedad de dicha frontera se refleja en la falta de consenso acerca de su posición entre los diversos autores que han realizado análisis biogeográficos de México; algunas obras como las de Smith (1941), Ferrusquilla-Villafranca (1990), Ramírez-Pulido y Castro-Campillo (1990), etc., sitúan a la entidad y al Eje Neovolcánico en el reino Neártico; otras como las de Cabrera y Willink (1973), Rzedowski y Reyna-Trujillo (1990), Morrone (2001a), entre otras, la ubican en el reino Neotropical; mientras que otras tantas (Rzedowski (1978), Ortega y Arita (1998), Ochoa *et al.* (2003), (Morrone, 2004a, b), Escalante *et al.* (2004) y Morrone y Gutiérrez (2005)) han propuesto una zona de transición entre ambos reinos, la cual ha recibido diferentes nombres como Zona de Transición Mexicana o Región Mesoamericana de Montaña, y se caracteriza por incorporar elementos del Neártico y Neotropical (Morrone, 2005).

Por otra parte, la regionalización biogeográfica de la CONABIO (1997) (ver Figura 2) sitúa al Eje Neovolcánico y a la Ciudad de México en el reino Neártico y en la provincia biogeográfica del Eje Neovolcánico (región de las Serranías Meridionales). En esta provincia predominan los bosques de coníferas y de encinos, seguidos de pastizales, matorrales subalpinos y vegetación ribereña. Entre la flora típica se encuentran diversas especies de helechos, pinos, magueyes, encinos, etc.; mientras que de la fauna destacan varios tipos de salamandras, lagartijas, serpientes, roedores y aves (Espinosa; Ocegueda; Aguilar; Flores y Llorente, 2008).

En el caso específico del ANP, la flora está compuesta por 180 especies pertenecientes a tres diferentes tipos de vegetación: halófila, acuática y subacuática (de pantano), y terrestre o riparia; mientras que la fauna está

compuesta por 139 especies de animales vertebrados: 23 de mamíferos, 10 de reptiles, 6 de anfibios, 79 de aves y 21 de peces.

Figura 2. Regionalización biogeográfica de México (Conabio, 1997)



Fuente: Espinosa *et al.* (2008). Recuperado el 30 de enero de 2017 a partir de: http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I01_Elconocimientobiog.pdf

1.2 Aspectos sociales

De acuerdo con la Encuesta Intercensal del INEGI de 2015, la Ciudad de México cuenta con una población de 8,918,653 habitantes, lo cual representa alrededor del 7.46% del total de la población de México, y una densidad de población de 6,003.81 hab./km². Del total de la población de la entidad, para el mismo año, el 99.5% residía en localidades urbanas (de 2,500 o más habitantes) y el restante en rurales (con menos de 2,500 habitantes) (INEGI, 2011a).

En el ámbito económico, durante el trimestre de abril a junio de 2015, la Población Económicamente Activa (PEA)¹⁵ de la entidad constaba de 4,346,903 personas, de las cuales 4,114,102 están ocupadas (94.6% de la PEA), mientras que el resto se encontraba desocupado (5.4% de la PEA). Para el mismo período, la PEA Ocupada se hallaba distribuida por sector económico de la siguiente manera: Sector Primario – 37,836 (0.92%); Sector Secundario – 641,574 (15.59%); Sector Terciario – 3,409,349 (82.87%); Sin especificar – 25,343 (0.62%).

Por otra parte, la contribución de las diversas actividades económicas al Producto Interno Bruto¹⁶ (PIB) de México para el año 2013 está dada de la siguiente forma: Sector Primario – 1,186 millones de pesos (mdp) (0.05% estatal); Sector Secundario – 234,803 mdp (10.47% estatal); Sector Terciario – 2,007,152 mdp (89.48% estatal) (INEGI, 2015).

Por otro lado, la delegación Xochimilco cuenta, de acuerdo con la misma encuesta intercensal, con una población de 415,933 habitantes, es decir, el 4.66% del total de la Ciudad de México; asimismo, posee una población relativa de aproximadamente 3,521.87 hab./km². En ese sentido, la demarcación posee 94 localidades, de las cuales solamente una es de naturaleza urbana, y una población urbana del 98.3% (SEDESOL, 2013).

¹⁵ La Población Económicamente Activa considera a aquellas personas de 15 años y más que tuvieron vínculo con la actividad económica o que la buscaron en la semana de referencia, por lo que se encontraban ocupadas o desocupadas.

¹⁶ El Producto Interno Bruto se refiere al conjunto de bienes y servicios que se producen en un país, medido en moneda nacional.

Respecto al ANP, la población estimada es de 24,647 habitantes (5.9% del total de la delegación Xochimilco) distribuidas en 12 Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB)¹⁷, de las cuales 7 se encuentran totalmente dentro del polígono del Sistema Lacustre y 5 de manera parcial, mientras que en la zona de influencia¹⁸ inmediata residen alrededor de 121,131 personas. En este sentido, el rango de edad predominante es de joven-adulta y el grado de escolaridad es de entre ocho a nueve grados.

Por otra parte, en el plano económico, la PEA está constituida por 9,505 personas (38.6% del total de la población del ANP), de las cuales alrededor del 90% se dedica al sector terciario, especialmente en los servicios y el comercio, y cerca del 10% se emplea en el sector primario, principalmente en actividades agropecuarias (ver Figura 3).

Finalmente, el número de viviendas particulares se estima en 5,250, cuyo grado de consolidación, debido a la cobertura de servicios y a los materiales de construcción empleados, es intermedio-alto (GODF, 2006).

Figura 3. Actividad agrícola chinampera en Xochimilco



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 4 de junio de 2018

¹⁷ Área Geoestadística Básica: extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las Áreas Geoestadísticas Municipales; pueden ser urbanas o rurales. Dichas circunscripciones tienen como finalidad la de referir información estadística, y sus límites se basan en criterios geoestadísticos.

¹⁸ Superficie aledaña a la poligonal de un Área Natural Protegida (ANP) que mantiene una estrecha interacción social, económica y ecológica con ésta.

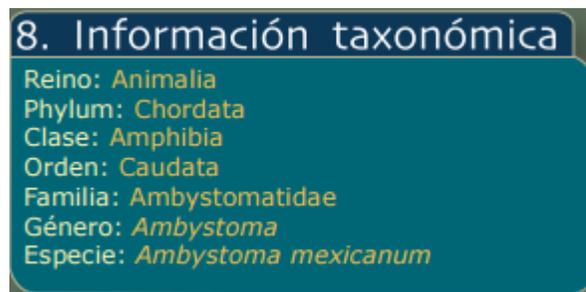
Capítulo 2. El ajolote mexicano

2.1 Características biológicas de la especie

2.1.1 Características taxonómicas

De acuerdo con la clasificación taxonómica de Shaw & Nodder de 1798, el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) es un anfibio caudado perteneciente a la familia Ambystomatidae y al género *Ambystoma* (ver Figura 4).

Figura 4. Taxonomía del ajolote mexicano (Shaw & Nodder, 1798)



Fuente: CONABIO (2011). Recuperado el 21 de junio de 2016 a partir de:
http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/especies_priori/fichas/pdf/ajoloteMexicano.pdf

El Museo Americano de Historia Natural (AMNH, por sus siglas en inglés), reconoce 7,526 especies de anfibios, distribuidas a lo largo de tres órdenes: Anura (carentes de cola), Caudata o Urodela (con cola) y Gymnophonia (sin miembros). El ajolote mexicano forma parte del orden Caudata, el cual comprende 701 especies agrupadas en 9 familias, entre las cuales figura la de los ambistomátidos (Ambystomatidae)¹⁹, constituida por dos géneros: *Ambystoma* y *Dicamptodon*. El género *Ambystoma* está compuesto por 33 de las 37 especies que conforman la

¹⁹ La familia de los ambistomátidos o de las salamandras topo se caracteriza por la fecundación mediante espermátóforos - masa gelatinosa en forma de cono compuesta por espermatozoides que es introducida en el aparato reproductor de la hembra durante la cópula - y por la manifestación de rasgos neoténicos - las especies conservan atributos larvarios una vez alcanzada la madurez sexual - en algunas poblaciones (American Museum of Natural History, 2006). La distribución de esta familia se restringe al subcontinente norteamericano, desde el sur de Canadá y Alaska hasta el sur de la Altiplanicie Mexicana (Frost, 2016).

familia de los ambistomátidos; una de esas especies es el *Ambystoma mexicanum* (sinónimos: *Gyrinus mexicanus* – Shaw & Nodder, 1798 -, *Siren pisciformis* – Shaw, 1802 -, *Triton mexicanus* – Oppel, 1811 -, entre otros), cuyo nombre común es ajolote mexicano, ajolote de Xochimilco, pez caminante mexicano, salamandra mexicana o simplemente ajolote.

Figura 5. Ejemplar de *Ambystoma mexicanum*



Fuente: Zambrano, Mosig, McKay, Griffiths, Shaffer, Flores, Parra y Wake (2010). Recuperado el 5 de agosto de 2016 a partir de: <http://www.iucnredlist.org/details/summary/1095/0>

2.1.2 Características morfológicas y fisiológicas

A pesar de que el ajolote mexicano suele ser confundido comúnmente con renacuajos, lagartijas o peces por su apariencia física, en realidad se trata de una especie de salamandra caracterizada por no experimentar el proceso de metamorfosis debido al rasgo neoténico²⁰ que posee, lo cual le permite conservar sus características larvarias una vez alcanzada la madurez sexual (Mena y Servín, 2014).

²⁰ El ajolote mexicano es considerado una especie neoténica estricto-inducible u obligado-inducible debido a que posee el potencial de ser inducido a la metamorfosis en cautiverio al ser provista de la hormona tiroxina. En contraste, el *Ambystoma dumerilii* (achoque o salamandra del Lago de Pátzcuaro), especie perteneciente a la familia Ambystomatidae, muere al suministrársele la tiroxina, por lo cual es definido como un anfibio neoténico estricto (Molina, 2010).

La especie mide en promedio unos 25.7 cm. desde la cabeza hasta la punta de la cola, aunque algunos ejemplares llegan a sobrepasar los 30 cm.; por otra parte, su peso oscila entre los 60 y los 110 gr., pero puede exceder los 220 gr. en ciertos casos. El ajolote posee una cabeza ancha y aplastada (cuya longitud aproximada es de 3.5 cm.) provista de un par de pequeños ojos sin párpados, una boca amplia con más de 140 dientes y una lengua retráctil, así como tres pares de branquias externas ramificadas a manera de plumas (a través de las cuales realiza la mayor parte de la respiración). Con respecto al cuerpo, éste es redondo y alargado, y consta de una aleta dorsal, cuatro patas sin uñas (las posteriores con cinco dedos y las anteriores con cuatro) y una larga cola sinuosa. La piel es mayormente lisa y presenta una coloración diversa (en estado silvestre ésta suele variar entre el marrón – con o sin motas oscuras o blanquecinas – y el negro, mientras que en cautiverio el espectro es mayor, ya que existen ejemplares albinos, grises, verdes parduscos, anaranjados, marrones y negros) (ver Figura 5).

A nivel interno, la especie muestra un esqueleto predominantemente cartilaginoso (ver Figura 6), pulmones incompletamente desarrollados (debido a que rara vez sale del entorno acuático) y un tracto digestivo corto y poco complejo a causa de su naturaleza carnívora.

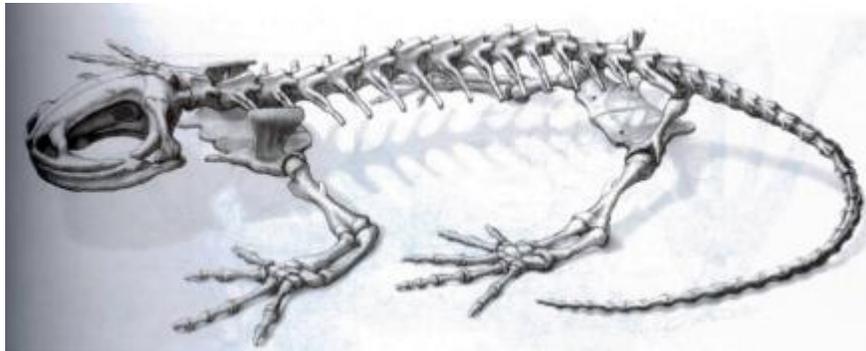
De las características anatómicas mencionadas anteriormente se considera que las branquias externas, la cola serpenteante, la carencia de párpados, las excreciones de amoníaco y el esqueleto cartilaginoso son rasgos característicos del estado larvario que conserva debido a la propiedad neoténica (Molina, 2010).

Por otra parte, la reproducción del *A. mexicanum* es de naturaleza sexual y se produce entre los meses de diciembre y febrero. El ajolote alcanza la madurez sexual en torno al año de edad (las hembras pueden llegar a tardar hasta medio año más que los machos en alcanzarla) y debido a la presencia de caracteres sexuales poco aparentes (como la falta de órganos copuladores) el dimorfismo sexual²¹ está poco marcado; sin embargo, existen ligeras diferencias entre los machos y las hembras, especialmente cuando son adultos, como una mayor

²¹ El dimorfismo sexual consiste en la diferenciación morfológica y fisiológica entre los dos sexos de una misma especie.

longitud de la cloaca y de la cola, así como el incremento del volumen de las glándulas cloacales en los machos, mientras que las hembras tienden a ser más robustas debido al aumento de tamaño de los ovarios y a la presencia de huevecillos cuando están grávidas.

Figura 6. Sistema óseo del *Ambystoma mexicanum*



Fuente: Mena y Servín (2014). Recuperado el 5 de agosto de 2016 a partir de:
http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual_axolotes.pdf

Respecto a la reproducción, ésta inicia mediante un breve cortejo que da paso al apareamiento, el cual culmina cuando el macho libera el espermátforo a través de su cloaca (orificio reproductivo y excretorio) y la hembra lo absorbe con la suya para dar lugar a la fecundación del óvulo; un día después, la hembra descarga entre 100 y 1,800 huevecillos²², los cuales tardarán entre 11 y 18 días en eclosionar. Al nacer, la esperanza de vida se estima entre 3 y 6 años en estado silvestre, mientras que en cautiverio oscila entre los 8 y los 30 años (la diferencia entre ambos entornos se atribuye principalmente a la contaminación del agua de su hábitat²³ natural) (CONABIO, 2011).

Finalmente, cabe destacar la característica regenerativa que distingue al ajolote mexicano y que ha sido objeto de estudio por su singularidad. Esta especie tiene

²² La ovoposición varía dependiendo de la edad de la hembra (los individuos jóvenes tienden a liberar un número mayor de huevos debido a que la calidad de los gametos es superior). Por otra parte, el suministro de hormonas también puede incrementar el número de huevos por cada puesta (Molina, 2010).

²³ “Es el lugar que ocupa un organismo o población; éste es el resultado de la suma total de las condiciones ambientales características de un sitio específico ocupado adecuado a las demandas de la población” (Sarmiento, 2001: 109).

la capacidad de regenerar la mayoría de las partes que conforman su cuerpo, como la cola y las extremidades anteriores y posteriores, así como diversos órganos y tejidos, entre los cuales están la piel, los tejidos cartilaginoso y muscular e incluso el sistema nervioso y parte del cerebro.

2.1.3 Alimentación

El *Ambystoma mexicanum* es una especie carnívora estricta, obligada o verdadera, es decir que fisiológicamente su dieta se restringe específicamente al consumo de carne de otros animales. El alimento lo ingiere completo a través de la boca mediante succión y únicamente emplea los dientes con fines de sujeción.

La dieta del ajolote es amplia y varía considerablemente entre su hábitat natural y bajo condiciones de cautiverio, así como por la edad de los individuos. Dentro de su entorno natural, la especie se alimenta de pequeños peces, insectos acuáticos y sus larvas, renacuajos de rana, crustáceos (acociles y pulgas de agua) y moluscos de agua dulce, anélidos (lombrices y tubifex) y microalgas; asimismo, cabe destacar que el fenómeno del canibalismo está presente en la especie. Por otra parte, en cautiverio los ajolotes suelen ser alimentados con presas similares a las existentes en su hábitat natural, así como por especies y productos ajenos a éste último, incluyendo artemias salinas, tenebrios, lombrices de tierra, grillos, pedazos de carne de pollo o de res, croquetas de tortuga y comida para peces.

2.1.4 Hábitat y distribución geográfica

No existe un consenso aún sobre la extensión total de la distribución geográfica original del ajolote mexicano, ya que mientras algunos autores afirman que éste es endémico de todo el extinto sistema lacustre que comprendía los lagos de Texcoco, Xochimilco, Chalco, Zumpango y Xaltocan (ver Figura 7), localizado al centro-sur de la República Mexicana, en la actual Ciudad de México (Espinosa, 1996, citado por Valiente, 2006; CONABIO, 2011), otros sostienen que sólo puede

presumirse que haya vivido a lo largo de todo el cuerpo de agua (de salinidad variable), ya que únicamente está confirmada su presencia histórica en los lagos de Xochimilco y Chalco (Zambrano *et al.*, 2010), o que es exclusivamente endémico de éstos dos últimos (Molina, 2010). En ese sentido, pese a que aún no hay certeza acerca del origen histórico del *A. mexicanum*, existe evidencia paleontológica (fósiles) en la región de Xochimilco-Chalco que señala que dicha especie ha estado presente en el Sistema Lacustre desde hace al menos 8,000 años (6,000 a.C.) (Servín, 2011).

De cualquier modo, hace menos de 200 años el complejo lacustre comenzó a deteriorarse y a perder gran parte de su superficie debido a diversos factores de carácter antrópico como la urbanización y la contaminación del agua, lo cual ha propiciado que la actual distribución geográfica del ajolote mexicano en estado silvestre se haya restringido de manera considerable a los remanentes de los lagos de Xochimilco y Chalco (Zambrano, Reynoso y Herrera, 2003).

Figura 7. Extensión original del Lago de Texcoco y sus principales afluentes



Fuente: SACMEX (2012). Recuperado el 20 de agosto de 2016 a partir de: <http://islaurbana.mx/contenido/biblioteca/investigaciones/aguadf/SACM2013ElGranRetodelAguaeenaciudaddeMexico.pdf>

Por otra parte, el hábitat del ajolote, en concreto, es acuático en su totalidad (a pesar de tratarse de un anfibio) y consiste en aguas lénticas (de escasa corriente o estancadas), como pozas, canales, lagos y humedales, que requieren temperaturas de entre 16 y 22 °C, así como condiciones específicas de turbidez (CONABIO, 2011). La vegetación que compone su hábitat se divide en halófila, acuática y subacuática, y terrestre. La primera, dominada por las gramíneas, forma pastizales bajos y densos localizados en terrenos inundables con suelos salinos, alcalinos y con mal drenaje; entre las especies características se encuentran el pasto salado (*Distichlis spicata*), el zacahuistle (*Eragrostis obtusiflora*) y el armuelle (*Atriplex patula*). La vegetación acuática y subacuática, establecida en cuerpos de agua permanentes como canales, lagunas y ciénegas tiene entre sus especies representativas los tules (*Typha latifolia*, *Scirpus americanus* y *Schoenoplectus tabernaemontani*), el junco (*Schoenoplectus californicus*), el chilacastle (*Wolffia columbiana*) y el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*); mientras que la vegetación terrestre, situada en la orilla de los canales y demás corrientes y cuerpos de agua, así como en la zona de chinampas, está constituida por especies como el ahuejote (*Salix bonplandiana*), el ahuehuate (*Taxodium mucronatum*), el sauce llorón (*Salix babylonica*), la jacaranda (*Jacaranda mimosaeifolia*), la casuarina (*Casuarina equisetifolia*), el eucalipto (*Eucalyptus spp.*), entre otras.

Por otra parte, algunas especies faunísticas representativas del hábitat del ajolote son: mamíferos - musaraña (*Criptotis parva*), murciélago (*Mormoops megalophylla*), tlacuache (*Didelphis virginiana*), etc..; reptiles – serpiente cincuate o alicante (*Pituophis deppei deppei*), culebra listonada de montaña (*Tamnophis scaliger*), víbora de cascabel (*Crotalus polistictus* y *C. molossus*), etc..; anfibios - rana de Moctezuma (*Rana montezumae*) y rana de Tláloc o de Xochimilco (*Rana tlaloci*); aves – martín pescador (*Ceryle alcyon*), pato mexicano (*Anas diazi*), pato tepalcate (*Oxyura jamaicensis*), garza morena (*Ardea herodias*), gavilán pecho rojo (*Accipiter striatus*), etc..; y peces – carpa europea (*Cyprinus carpio*), lobina negra (*Micropterus salmoides*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*),

mexcalpique o mexclapique (*Girardinichthys viviparus*), charal de Xochimilco o del Valle de México (*Chirostoma humboldtianum*). Adicionalmente, entre las especies de invertebrados están algunos crustáceos como los acociles (*Cambarellus montezumae* y *Hyaella azteca*); además de insectos y diversos microorganismos (CONANP, 2004; GODF, 2006) (ver Figura 8).

Figura 8. Flora y fauna del lago de Xochimilco



De izquierda a derecha: espadaña, lobina negra y carpa europea. Fuente: Encyclopedia of life. Recuperado el 25 de agosto de 2016 a partir de: <http://www.eol.org/>

2.2 El ajolote en la cultura

El ajolote mexicano ha estado presente en la cultura de nuestro país desde la época prehispánica hasta la actualidad en aspectos como la religión, el arte (literatura, pintura y escultura) (ver Figura 9), la gastronomía y la medicina tradicional; actualmente, en el ámbito científico ha sido objeto de investigación debido a sus propiedades biológicas, mientras que en el rubro comercial destaca su venta como animal doméstico. A continuación se detalla su importancia cultural y científica a lo largo de la historia de México.

Figura 9. Escultura de un ajolote mexicano en el Parque Ecológico de Xochimilco



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 1° de febrero de 2017

2.2.1 Época prehispánica y colonial

Durante la época prehispánica el *Ambystoma mexicanum* tuvo una gran trascendencia dentro de la vida del pueblo mexicana o azteca debido, primeramente, a su importancia como símbolo religioso. El biólogo Martín del Campo menciona que “en la época precortesiana, al ajolote se le consideraba como una remembranza de la deidad Xólotl, de quien toma su nombre en náhuatl: Axolotl, que significa ‘monstruo del agua’” (Martín del Campo, 1946: desconocido, citado por Molina, 2010: 56).

Dentro de la mitología azteca, Xólotl es el gemelo deforme y monstruoso de Quetzalcóatl, y está relacionado con la idea del movimiento, la vida y la muerte. En la obra de mediados del siglo XVI titulada La Historia general de las cosas de la Nueva España (también llamada Códice Florentino) de Fray Bernardino de Sahagún se narra la leyenda del origen del ajolote, la cual sostiene que el dios Xólotl al temer al sacrificio (en honor al Sol) recurre a sus poderes de

transformación para escapar de éste; primeramente, se convierte en una planta de maíz de dos cañas tras esconderse entre las milpas para huir de su verdugo; posteriormente, huye después de ser descubierto y se transforma en una penca doble de maguey al ocultarse en un magueyal; finalmente, cuando es encontrado una vez más, Xólotl se fuga y se introduce al agua donde se metamorfosea en un ajolote, sin embargo, termina siendo atrapado y asesinado por el verdugo de los sacrificios (Ortega, 2000; CONABIO, 2011).

Figura 10. Representación del dios Xólotl en el Códice Borgia



Fuente: Fundación para el Avance de los Estudios Mesoamericanos (FAMSI). Recuperado el 19 de septiembre de 2016 a partir de:

http://www.famsi.org/spanish/research/graz/borgia/img_page65.html

Además del Florentino, otros códices como el Borgia (ver Figura 10), el Vaticano y el Madrid también destacan el vínculo del ajolote mexicano con la cultura mexicana (Molina, 2010; CONABIO, 2011).

Aunado al ámbito religioso, el ajolote mexicano también estaba presente en la gastronomía y la medicina tradicional de los mexicanos. El anfibio fungía como ingrediente de diversos platillos como tamales y caldos, y era altamente valorado

por sus propiedades nutricionales (Stephan y Ensástigue, 2001; CONABIO, 2011). En alusión al papel del ajolote en la cocina del pueblo azteca el naturalista y geógrafo alemán Alexander von Humboldt comentó lo siguiente:

“En el año de 1245, según la cronología del abate Clavijero, llegaron (los aztecas) a Chapultepec [...] se refugiaron los aztecas para conservar su independencia en un grupo de islotes llamados Acocolco, situado en el extremo meridional del lago de Texcoco. Allí vivieron por espacio de medio siglo en espantosa miseria, precisados a alimentarse de raíces de plantas acuáticas, insectos y de un reptil problemático llamado axolotl que el señor Cuvier mira como el hijuelo de una salamandra desconocida” (Molina, 2010: 55).

De igual modo, dicha especie formaba parte de diversas recetas curativas para aliviar padecimientos del sistema respiratorio como el asma y la bronquitis (Stephan y Ensástigue, 2001).

2.2.2 Época contemporánea

A pesar de que algunos de los usos que actualmente se le dan al ajolote mexicano como recurso natural no difieren en gran medida de los propios de las épocas prehispánica y colonial, han surgido otros basados en las necesidades de la sociedad moderna, como los relacionados con la investigación científica.

Con relación a la explotación del ajolote con fines gastronómicos y de la medicina tradicional, ésta ha ido decreciendo considerablemente debido, principalmente, a la protección legal de la cual es objeto dicha especie en contra de la pesca furtiva y del mercado negro, así como por la proliferación de criaderos autorizados, cuya finalidad no es ninguna de las anteriores. El consumo del ajolote con propósitos alimenticios todavía es realizado por la población local, especialmente durante fiestas y ceremonias, en las cuales es cocinado para elaborar sopas, caldos, guisos y tamales; por otra parte, su utilización en fórmulas medicinales aún persiste, como en el caso de infusiones curativas, jarabes o tónicos para la

garganta y ungüentos para la artritis que pueden hallarse en lugares como el Mercado de Sonora (Stephan y Ensástigue, 2001; Zambrano *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2010).

En contraste, a pesar de que el *A. mexicanum* ha sido estudiado y reproducido en cautiverio desde la segunda mitad del siglo XIX, no fue sino hasta la década de 1980 que la investigación dentro del campo de la medicina científica en torno a la especie comenzó. Primeramente, fue empleado como un organismo modelo en el campo de la experimentación dentro de la clase de los anfibios debido a sus características biológicas antes mencionadas, para posteriormente ser utilizado en la investigación encaminada al desarrollo de tratamientos médicos para el ser humano y la fabricación de fármacos, especialmente antibióticos y otros relacionados con aspectos neurológicos. Adicionalmente, cabe destacar que hacia finales de la misma década existían veinticuatro granjas de reproducción del ajolote mexicano alrededor del mundo, en países como Canadá, Estados Unidos de América (la de la Universidad de Indiana era considerada hasta aquella época como la más importante del mundo, mientras que la Universidad de Kentucky poseía, hacia la segunda década del 2000, un estimado de mil ejemplares), Reino Unido, Francia y Japón. En México, para la misma fecha, se contaba con dos centros de reproducción: el de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala (UNAM) en el Estado de México y el de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco en la Ciudad de México. El propósito de estas granjas es el de proveer de individuos de dicha especie a laboratorios y centros de investigación científica que la estudian (ver Figura 11); sin embargo, en el caso de México, todavía es común que los investigadores soliciten ejemplares silvestres a los pescadores de Xochimilco para realizar sus estudios (Zambrano *et al.*, 2003; Molina, 2010; CONABIO, 2011).

Figura 11. Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 23 de enero de 2018

Por otra parte, además del mercado destinado a la investigación científica, existe el de la venta del ajolote mexicano como mascota (ver Figura 12). A pesar de que en un inicio los ejemplares destinados a este propósito solían ser capturados en su hábitat mediante técnicas tradicionales (especialmente con redes de tipo atarraya) por la población local, en la actualidad la gran mayoría proviene de criaderos que operan con los permisos requeridos para su venta. Entre dichos centros de reproducción autorizados figuran las denominadas Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMAS), las cuales garantizan que su adquisición fue realizada de manera sustentable y legal; algunos ejemplos de UMAS que ofrecen a la especie como mascota son la FES Iztacala y el Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC) de la UAM Xochimilco (Zambrano *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2010; Mena y Servín, 2014).

No obstante, los esfuerzos por comercializar al ajolote como mascota de manera sustentable, éste aún puede conseguirse en algunos mercados de la Ciudad de México, como en el Nuevo San Lázaro. Los ejemplares vendidos en este tipo de

establecimientos alcanzan precios de entre 200 y 300 pesos, y su demanda se explica por el hecho de que son organismos silvestres, y no nacidos en cautiverio como los de los criaderos, a pesar de que su captura se considera clandestina (Zambrano *et al.*, 2003).

Figura 12. Utilización del ajolote mexicano como mascota

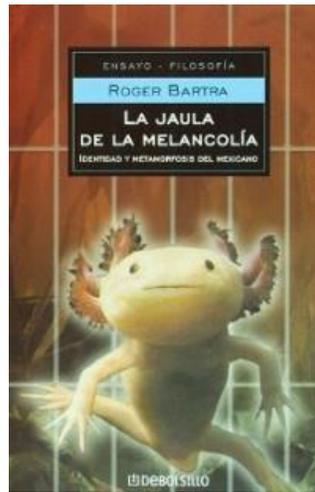


Fuente: Mena y Servín (2014). Recuperado el 12 de octubre de 2016 a partir de:
http://www.ibiologia.unam.mx/barra/publicaciones/manual_axolotes.pdf

Finalmente, cabe destacar el papel que el *Ambystoma mexicanum* ha tenido recientemente dentro del ámbito de las artes a nivel nacional e internacional. Diversos artistas han utilizado al ajolote como fuente de inspiración de sus obras, entre ellos pintores, escultores y escritores. En el campo de la literatura sobresalen autores como el argentino Julio Cortázar con su cuento “Axolotl”, publicado en 1952; el antropólogo y escritor mexicano Roger Bartra, con su obra “La jaula de la melancolía: identidad y metamorfosis del mexicano” de 1966; y el escritor mexicano Armando Ramírez con la novela “La casa de los ajolotes” del año 2000 (tanto la obra de Bartra como la de Ramírez relacionan al ajolote con la idiosincrasia del mexicano) (Molina, 2010; CONABIO, 2011; Mena y Servín, 2014). De igual modo, en el ámbito de las artes gráficas y la tecnología, el anfibio ha sido fuente de inspiración para la creación de emojis o emoticones²⁴, uno de los cuales ha sido reconocido como el oficial de la Ciudad de México (El Universal, 2017) (ver Figura 14).

²⁴ Palabra japonesa que se utiliza para designar las imágenes o pictogramas que son usados para expresar una idea, emoción o sentimiento en medios de comunicación digital.

Figura 13. Portada del libro “La jaula de la melancolía” de Roger Bartra



Fuente: Sitio web de la librería Gandhi. Recuperado el 12 de octubre de 2016 a partir de: http://www.gandhi.com.mx/la-jaula-de-la-melancolia-9789685958172?landing_source=digital

Figura 14. Emojis inspirados en el ajolote mexicano



De izquierda a derecha: emoji oficial de la Ciudad de México; emoji de un ajolote comiendo tacos; emoji inspirado en el edificio de Bellas Artes que incorpora al ajolote; emoji de un ajolote vestido como mariachi. Fuente: Milenio, 2017.

Capítulo 3. Estado de conservación, biogeografía y destrucción del hábitat del ajolote mexicano

3.1 Estado de conservación de la especie

Desde mediados de la década de 1970 el ajolote mexicano se encuentra incluido en diversos listados ecológicos nacionales e internacionales destinados a la protección de especies de flora y fauna en riesgo mediante la evaluación de su estado actual de conservación. Por su relevancia destacan los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y las Normas Oficiales Mexicanas elaboradas de manera conjunta por diversas dependencias gubernamentales como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), entre otras, así como por múltiples instituciones de educación superior, entre las que se incluyen la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Históricamente, la CITES²⁵ fue el primer acuerdo en incluir al *Ambystoma mexicanum* en una relación de especies amenazadas. El texto de dicha Convención establece tres niveles de restricciones comerciales internacionales entre los Estados Contratantes, denominados Apéndices, basados en el estado actual de conservación de las especies animales y vegetales analizadas (ver Tabal 2).

²⁵ La CITES es un “acuerdo internacional concertado entre los gobiernos, cuya finalidad es velar por que el comercio internacional de especímenes de animales y plantas silvestres no constituya una amenaza para su supervivencia”. A raíz de una reunión de la UICN en la década de los sesenta, el texto de la Convención fue redactado, para finalmente ser aprobado en una asamblea celebrada en la ciudad de Washington, Estados Unidos, el 3 de marzo de 1973, aunque su entrada en vigor se daría hasta el 1° de julio de 1975 (CITES, 2016).

Tabla 2. Apéndices de la CITES

Categoría	Disposiciones
Apéndice I	“Incluirá todas las especies en peligro de extinción que son o pueden ser afectadas por el comercio. El comercio en especímenes de estas especies deberá estar sujeto a una reglamentación particularmente estricta a fin de no poner en peligro aún mayor su supervivencia y se autorizará solamente bajo circunstancias excepcionales”.
Apéndice II	<p>“Incluirá:</p> <p>a) todas las especies que, si bien en la actualidad no se encuentran necesariamente en peligro de extinción, podrían llegar a esa situación a menos que el comercio en especímenes de dichas especies esté sujeto a una reglamentación estricta a fin de evitar una utilización incompatible con su supervivencia.</p> <p>b) aquellas otras especies no afectadas por el comercio, que también deberán sujetarse a reglamentación con el fin de permitir un eficaz control del comercio en las especies a que se refiere el subpárrafo a) del presente párrafo”.</p>
Apéndice III	“Incluirá todas las especies que cualquiera de las Partes manifieste que se hallan sometidas a reglamentación dentro de su jurisdicción con el objeto de prevenir o restringir su explotación, y que necesitan la cooperación de otras Partes en el control de su comercio”.

Fuente: elaboración propia a partir de CITES, 1973: 2. Recuperado el 22 de febrero de 2017 a partir de: <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/disc/CITES-Convention-SP.pdf>

Desde la concepción del tratado el ajolote mexicano fue integrado en el Apéndice II y desde entonces su posición fue ratificada en las enmiendas de 1979 y 1983. Específicamente, la reglamentación comercial de especímenes incluidos en dicha categoría aborda disposiciones relativamente moderadas en torno a su exportación, importación y reexportación, lo cual incluye la necesidad de contar con determinados permisos y/o certificados expedidos bajo ciertas normas (CITES, 1973) (Ver Apéndice B). No obstante, se está analizando el traspaso de categoría del *A. mexicanum* al Apéndice I del tratado, es decir, aquel cuyas

disposiciones comerciales son aún más estrictas (CONABIO, 2011) (Ver Apéndice A).

Posteriormente, en el año de 1986, el ajolote mexicano fue adherido por la UICN²⁶ a la denominada Lista Roja de Especies Amenazadas²⁷ (Red List of Threatened Species, en inglés), específicamente en la categoría²⁸ de Raro o Escaso²⁹ (R, por sus siglas en inglés), en la cual fue posicionado nuevamente en las ediciones de 1988, 1990 y 1994. Más tarde, la Lista Roja de 1996 trajo consigo una serie de cambios que implicaron la reestructuración de las categorías de riesgo de las especies (versión 2.3), así como el reposicionamiento del *Ambystoma mexicanum* como una especie Vulnerable (VU, por sus siglas en inglés), lo cual se habría de refrendar en la edición de 2004 (en la cual se manejó la versión 3.1 de categorías de especies amenazadas instaurada en 2001 – ver Tabla 3), para finalmente ser reubicada en el nivel de En peligro crítico (CR, por sus siglas en inglés) (Ver Apéndice C) en las evaluaciones de 2006 y 2010 (UICN, 1996; Zambrano *et al.*, 2010; UICN, 2012).

La justificación de la UICN para situar al ajolote mexicano en esta última categoría obedece a los siguientes criterios:

- El área de ocupación de la especie es menor a los 10 km².
- Su distribución geográfica está severamente fragmentada.
- Se presenta un continuo declive en la extensión y calidad de su hábitat y en el número de individuos maduros (Zambrano *et al.*, 2010).

²⁶ La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza es una organización medioambiental internacional fundada en 1948 en la ciudad francesa de Fontainebleau y con sede en Gland, Suiza, cuya misión es “influir, alentar y ayudar a las sociedades de todo el mundo a conservar la integridad y diversidad de la naturaleza y asegurar que todo uso de los recursos naturales sea equitativo y ecológicamente sostenible.” Actualmente está compuesta por una serie de “Estados Soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil” (Biodiversidad mexicana, 2016; UICN, 2016).

²⁷ En 1963, la UICN inició la evaluación del estado de conservación de especies y subespecies alrededor del mundo, derivando en la creación de la denominada Lista Roja de Especies Amenazadas (o Libro Rojo), la cual identifica y documenta a las especies amenazadas, provee de un índice global del declive de la biodiversidad, concientiza acerca de la importancia de la biodiversidad amenazada y define prioridades de conservación a nivel local (Sharma, 2009).

²⁸ Hasta 1994 la Lista Roja de la UICN contaba con ocho categorías basadas en el estado de conservación de las especies evaluadas. De mayor a menor riesgo éstas eran: Extinto (Ex), En peligro (E), Vulnerable (V), Raro o Escaso (R), Amenazado (T), Amenazado comercialmente (CT), Indeterminado (I) e Información Insuficiente (K) (UICN, 1986 y 1996).

²⁹ La categoría de Raro o Escaso abarcaba aquellos “taxones con pequeñas poblaciones a nivel mundial que a pesar de no estar de momento “En peligro” o “Extintas” se encuentran en riesgo. Dichos taxones están localizados generalmente en áreas geográficas o hábitats restringidos o escasamente esparcidos en una mayor extensión” (UICN, 1986: ix).

Tabla 3. Categorías de la Lista Roja de la UICN (versión 3.1)

Categoría	Definición
Extinto (EX)	"Un taxón está extinto cuando no queda ninguna duda razonable de que el último individuo existente ha muerto".
Extinto en estado silvestre (EW)	"Un taxón está extinto en estado silvestre cuando sólo sobrevive en cultivo, en cautividad o como población naturalizada completamente fuera de su distribución original".
En peligro crítico (CR)	"Un taxón está en peligro crítico cuando se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre".
En peligro (EN)	"Un taxón está en peligro cuando se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción muy alto en estado de vida silvestre".
Vulnerable (VU)	"Un taxón es vulnerable cuando se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción alto en estado de vida silvestre".
Casi amenazado (NT)	"Un taxón está casi amenazado cuando está próximo a satisfacer los criterios en peligro crítico, en peligro o vulnerable, pero está próximo a satisfacerlos o posiblemente los satisfaga en un futuro cercano".
Preocupación menor (LC)	"Un taxón se considera de preocupación menor cuando es abundante y de amplia distribución".
Datos insuficientes (DD)	"No hay información adecuada para hacer una evaluación, directa o indirecta, de su riesgo de extinción basándose en la distribución y/o condición de la población".
No evaluado (NE)	"Todavía no ha sido clasificado en relación a estos criterios".

Fuente: Elaboración propia a partir de UICN, 2012:14-15. Recuperado el 28 de febrero de 2017 a partir de: http://s3.amazonaws.com/iucnredlist-newcms/staging/public/attachments/3099/redlist_cats_crit_sp.pdf

Por otra parte, en el ámbito nacional, el estado de conservación del *A. mexicanum* comenzó a ser documentado mediante las denominadas Normas Oficiales Mexicanas, expedidas por el gobierno mexicano. La primera que incluyó a la especie fue la NOM-059-ECOL-1994, en la cual se le situó en la categoría de "Sujeta a protección especial (Pr)"; posteriormente, en la NOM-059-ECOL-2001 se refrendó su posición, mientras que en la NOM-059-SEMARNAT-2010 fue reubicada como "Especie en peligro de extinción (P)" (CONABIO, 2011). Las categorías que contemplan dichas Normas, denominadas "Categorías de riesgo", se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Categorías de riesgo de las Normas Oficiales Mexicanas

Categoría	Definición
Probablemente extinta en el medio silvestre (E)	"Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del territorio nacional han desaparecido hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos en confinamiento o fuera del territorio mexicano".
En peligro de extinción (P)	"Aquellas cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural debido a factores tales como la destrucción o modificación drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación, entre otros".
Amenazadas (A)	"Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones".
Sujetas a protección especial (Pr)	"Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas".

Fuente: Elaboración propia a partir de DOF, 2010:5. Recuperado el 7 de marzo de 2017 a partir de: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

Por último, cabe destacar que aunque en diversos artículos periodísticos (como El Universal, 2010) se menciona que el *Ambystoma mexicanum* forma parte del denominado Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER)³⁰, adscrito a la CONANP, dicha especie nunca ha sido incluida en su lista (CONANP, 2007; Sitio web de la CONANP), por lo que no queda claro a qué se debe dicha confusión.

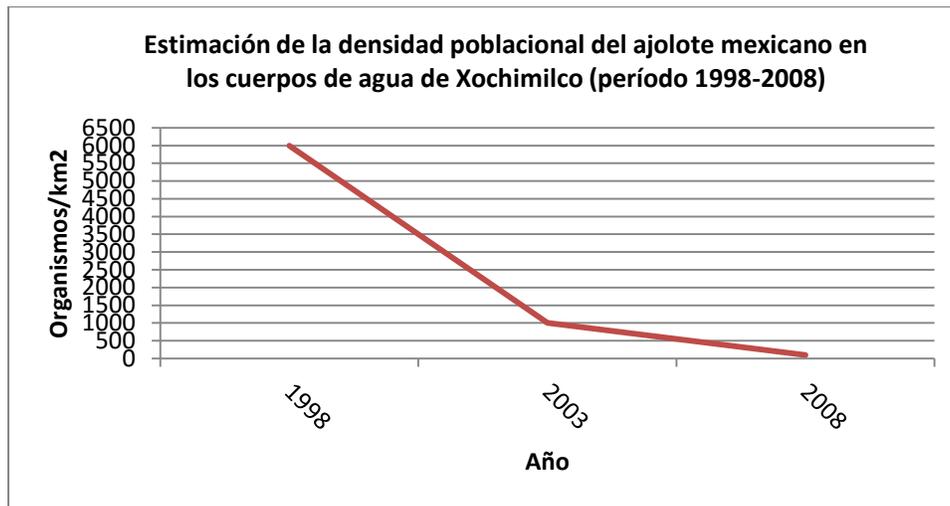
3.2 Biogeografía del ajolote mexicano y causas de la destrucción de su hábitat

A pesar de la falta de investigaciones científicas realizadas en torno al estado poblacional del *A. mexicanum*, debido principalmente a lo difícil que resulta su evaluación en estado silvestre (Zambrano *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2010), diversos autores (Zambrano *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2010; Molina, 2010; CONABIO, 2011) coinciden en afirmar que la población absoluta y, por ende, la relativa (o densidad de población) del ajolote mexicano en su hábitat nativo ha disminuido considerablemente en las últimas décadas. Molina (2010) señala que Calderón y Rodríguez (1986) estimaron que alrededor del año de 1976 podría haberse iniciado el descenso de la población de la especie en estado silvestre. Un estudio científico realizado a lo largo de poco más de 19 meses (enero de 2002-septiembre de 2003) en el Sistema Lacustre de Xochimilco (el cual abarcó 62 canales y 8 lagos cuya superficie total es de 39,173 m²) (Zambrano *et al.*, 2003) reportó una densidad aproximada de 0.001 organismos/m² (1,000 org./km²), es decir, seis veces menos respecto a un estudio previo (Graue, 1998, citado por Zambrano *et al.*, 2003) realizado cinco años atrás, el cual registró una densidad de alrededor de 0.006 org./m² (6,000 org./km²); finalmente, ya para el año de 2008 dicho valor habría descendido a 0.0001 org./m² (100 org./km²) o menos (CONABIO, 2011), lo cual significa que en una década la población del ajolote mexicano pudo haber decrecido unas 60 veces (- 6,000%).

³⁰ El Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) “es un instrumento de política pública para contribuir y recuperar la funcionalidad de cuencas y paisajes a través de la conservación y aprovechamiento sustentable del patrimonio natural mediante la conservación y recuperación de las especies en riesgo y su hábitat (Sitio web de la CONANP).

En ese sentido, diversos censos poblacionales realizados recientemente en torno a la especie han arrojado menos de cien capturas cada uno a lo largo de distintos intervalos de tiempo. Otto (1999) señala que en tres días consecutivos fueron capturados únicamente seis individuos de la especie dentro del ANP; Zambrano *et al.* (2003) reportan que durante un año con nueve meses se logró atrapar un total de 67 ajolotes; por otra parte, Contreras, Martínez, Valiente y Zambrano (2009) mencionan que durante un estudio *in situ* que abarcó 27 salidas a campo a lo largo de siete canales, durante el período comprendido entre septiembre de 2002 a noviembre de 2003, se logró la captura de 23 ajolotes, mientras que en otro realizado por los mismos autores entre octubre de 2005 y enero de 2006 (el cual abarcó 24 canales en 37 salidas a campo), sólo fue atrapado un ajolote. Finalmente, Zambrano *et al.* (2010) señalan que en una investigación científica no especificada ningún ajolote fue capturado. Asimismo, CONABIO (2011) indica que, para 2008, diversos estudios no citados estimaban que la población de *A. mexicanum* en estado silvestre oscilaba entre los 700 y 1,200 individuos, mientras que un año después el Instituto de Biología de la UNAM calculaba la existencia de sólo 20 ajolotes; igualmente, Molina (2010) señala que este mismo Instituto proyectaba la extinción definitiva del ajolote mexicano en la naturaleza para 2014 si continuaba el deterioro ambiental del hábitat de la especie. No obstante, a pesar de que la colecta del anfibio se ha vuelto cada vez más difícil debido a su evidente disminución, algunos pescadores locales saben dónde y cómo atraparlos; sin embargo, éstos se rehúsan a compartir dicha información (Zambrano *et al.*, 2003; Zambrano *et al.*, 2010). Aunado a lo anterior, la distribución geográfica de los ajolotes no es homogénea, ya que la mayor parte de las capturas (encima del 70%) se hicieron en sitios cercanos a la zona chinampera, así como en zonas poco contaminadas y con menor presencia de especies exóticas (Zambrano *et al.*, 2003).

Gráfica 1. Dinámica poblacional del ajolote mexicano en Xochimilco durante la década de 1998 a 2008



Fuente: elaboración propia a partir de Zambrano *et al.*, 2003; CONABIO, 2011

Por otra parte, en el Lago de Chalco (sitio que también forma parte del hábitat del ajolote mexicano) no se han realizado censos que permitan conocer la densidad poblacional de la especie en cuestión (Zambrano *et al.*, 2010), lo cual ha derivado en estimaciones contradictorias en torno a esta última, ya que mientras Zambrano *et al.* (2003) sugieren que la densidad de su población en este cuerpo de agua podría ser mayor a la de Xochimilco debido a la facilidad de su captura, Zambrano *et al.* (2010) señalan que existe evidencia que insinúa que la población de ajolotes en dicho lago podría ser muy pequeña, además de que este último constituye un “sistema altamente inestable que corre el riesgo de desaparecer en un futuro cercano”. La divergencia de los argumentos mencionados podría significar que en unos cuantos años la población del *Ambystoma mexicanum* en este lago pudo haber decrecido considerablemente.

En resumen, los diversos autores consultados coinciden en que la reducción de la población del ajolote mexicano y el deterioro de su hábitat en el Sistema Lacustre de Xochimilco han sido constantes durante las últimas dos décadas, sin embargo, éstos parecen haberse agudizado desde mediados de la primera década de 2000; igualmente, existe un consenso en torno al hecho de que el impacto ambiental que

ha derivado en la grave situación por la que atraviesa la especie obedece principalmente al factor antrópico. A pesar de ello, existen algunas discrepancias considerables respecto a las causas concretas que han generado dicha situación, así como a la gravedad del actual estado de conservación del *A. mexicanum*.

A continuación se analizan las principales causas por las cuales la población y el hábitat del ajolote han sido mermados en los últimos años, entre cuyos factores claves figuran aquellos relacionados con la dimensión espacial, es decir, con la ciencia geográfica, específicamente con el campo de la biogeografía³¹ (y en concreto con la zoogeografía), cuyos enfoques cultural³² y ecológico³³ explican en gran medida la dinámica de su población y, por ende, la actual distribución de la especie en su reducido hábitat.

3.2.1 Introducción de especies exóticas

La alta densidad de especies exóticas nocivas en el Sistema Lacustre de Xochimilco, junto con la pesca furtiva, son consideradas las principales causantes de la drástica disminución poblacional y del hábitat del ajolote mexicano (Zambrano *et al.*, 2003). En concreto, la introducción de tres especies de peces: la carpa común o europea (*Cyprinus carpio*), la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y la lobina negra o perca americana (*Micropterus salmoides*); así como del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), ha afectado de manera directa e indirecta y, en diversa medida, la subsistencia del *A. mexicanum*, especie endémica de dicho cuerpo de agua (Molina, 2010; CONABIO, 2011).

³¹ La biogeografía es una disciplina científica, considerada como una rama de la biología comparada, que se encarga del estudio de la distribución espacial de los seres vivos en la superficie de la Tierra, tanto en el presente como en el pasado. Por su objeto de estudio suele dividirse en dos grandes ramas: Fitogeografía (distribución geográfica de la vegetación) y Zoogeografía (distribución espacial de los animales); y dos enfoques: histórico y ecológico (aunque también pueden ser incluidos el cultural y el médico) (Figueiró, 2015).

³² La biogeografía cultural, propuesta en 1979 por el geógrafo británico Ian Simmons, "representa una síntesis de los enfoques histórico y ecológico centrada en el estudio del papel del ser humano en la modificación de la biota terrestre a través de diversos procesos como la domesticación de animales y plantas, la diseminación forzada de especies invasoras, así como la alteración genética y la producción artificial de nuevas especies" (Figueiró, 2015: 22).

³³ La biogeografía ecológica "analiza el efecto de los factores externos del ambiente que actúan a escala local, a nivel poblacional y de comunidades, sobre la distribución geográfica de las especies" (Llorente y Morrone, 2001: 81).

La lobina negra, nativa de una porción del subcontinente norteamericano que abarca desde la región de los Grandes Lagos al sur de Canadá y al norte de Estados Unidos hasta el río Soto la Marina en México (estado de Tamaulipas) (Espinosa, Gaspar y Fuentes, 1993, citado por Contreras, Gaspar, Huidobro y Mejía, 2014) fue introducida en Xochimilco y otros cuerpos de agua de la Cuenca de México en la década de los cincuenta (Valiente, 2006; Martín del Campo, 1955, citado por Rojas, 1998) con la finalidad de desarrollar la pesca deportiva e impulsar la producción pesquera y el turismo (Contreras *et al.*, 2014).

Por otra parte, tanto la carpa común, oriunda de Asia Central e introducida en el este de China y el noroeste de Europa siglos atrás (Balon, 1974, citado por Contreras *et al.*, 2014), y más recientemente en los Estados Unidos y México (en este último alrededor del año de 1872) (Martín del Campo, 1955:60-61; Álvarez del Villar, 1970:56, citado por Rojas, 1998), como la tilapia del Nilo, originaria del África tropical y subtropical, así como del Medio Oriente, y llevada a México desde Panamá (Huidobro, 2000), fueron introducidas en el Sistema Lacustre de Xochimilco en la década de los setenta a través del Programa Nacional de Acuicultura, impulsado por el gobierno federal a raíz de una recomendación hecha por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) a los países en vías de desarrollo para fomentar la introducción de dichas especies en sus respectivos cuerpos de agua con el fin de ampliar y diversificar la oferta de alimentos altamente proteicos a nivel local (Valiente, 2006; Juárez, 2010; Zambrano, 2010; Von Bertrab, 2013). Aunado al propósito de fomentar la economía local mediante la práctica de la acuicultura extensiva, la carpa y la tilapia también fueron introducidas en los cuerpos de agua del centro de México para el desarrollo de la actividad pesquera (Contreras *et al.*, 2014).

Las altas densidades poblacionales de estas tres especies de peces contrastan de manera drástica con la del ajolote mexicano. Por ejemplo, mientras que el valor de este último oscila entre los 0.0001 org./m² (CONABIO, 2011) y 0.0012 org./m² (Valiente, 2006), el de la tilapia alcanza entre los 0.093 org./m² (Zambrano *et al.*,

2003) y los 0.11 org./m² (Valiente, 2006) (es decir, hasta más de 90 veces el valor de la densidad más alta del ajolote), mientras que el de la carpa se estima entre 0.031 org./m² (Valiente, 2006) y 0.032 org./m² (Zambrano et. al, 2003) (poco más de 25 veces que la del ajolote). Los perjudiciales efectos que dichas especies invasoras ocasionan en el ajolote mexicano, originados por su abrumadora presencia en el hábitat natural de éste, se manifiestan tanto de manera directa como indirecta, y no únicamente afectan los parámetros físico-químicos y demás factores en los cuales se apoya su subsistencia, sino que también condicionan su distribución geográfica carente de homogeneidad (Valiente, 2006).

En conjunto, las consecuencias directas que la fauna íctica señalada inflige al *Ambystoma mexicanum* son la competencia por el alimento (insectos, peces, etc.) y la depredación de sus puestas y de las larvas o juveniles (aunque en ocasiones el consumo de éstos no se hace de manera intencional), lo cual incide en la tasa de crecimiento poblacional de la especie y en la distribución geográfica de ésta, ya que es desplazada (junto con otras especies nativas) a determinadas áreas de subsistencia al huir de sus depredadores (Zambrano et al, 2003; Valiente, 2006; CONABIO, 2011).

Por otra parte, entre los efectos negativos indirectos se cuentan la probable transmisión de enfermedades al ajolote por parte de las especies exóticas en cuestión, debido principalmente a la diseminación de parásitos alóctonos (sin embargo, cabe resaltar que muchas otras enfermedades que aquejan al ajolote son atribuibles a la contaminación del agua); y la alteración del hábitat y de diversos parámetros físico-químicos del agua, lo cual también contribuye a la migración del ajolote hacia zonas menos desfavorables en el aspecto ecológico (Valiente, 2006; Zambrano et. al, 2010).

Por un lado, entre las principales variables modificadas en el hábitat del *A. mexicanum* por las especies invasoras se encuentran la concentración de oxígeno disuelto y la turbidez, las cuales tienden a incrementar. La alteración de la primera de ellas suele ser la más trascendental para el ajolote, ya que éste presenta una mayor afinidad a los sitios con bajas concentraciones de oxígeno en el agua (a

pesar de que durante el desarrollo de las puestas y de los individuos que se encuentran en sus primeras etapas del ciclo de vida la situación es opuesta), por lo cual se ve forzada a desplazarse dentro de su hábitat en busca de condiciones óptimas para su subsistencia. Por otra parte, respecto a la turbidez, ésta aumenta debido a que algunos peces, como la carpa, erosionan las paredes de las chinampas en búsqueda de alimento o con el fin de depositar sus huevecillos, contribuyendo a la suspensión de sedimentos en el agua; sin embargo, la modificación de dicho parámetro físico no afecta en gran medida a la distribución del ajolote, ya que de por sí éste necesita condiciones de elevada turbidez en el agua (Valiente, 2006).

Figura 15. Inclinción de un ahuejote en Xochimilco debido a la erosión de las paredes de las chinampas provocada por las tilapias



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 4 de junio de 2018 en la zona chinampera de Xochimilco

Adicionalmente, la alta densidad de carpas en los canales y cuerpos de agua de Xochimilco podría estar relacionada con la disminución de plantas sumergidas, las cuales son necesarias para el desove, la búsqueda de alimento y el resguardo del ajolote (Zambrano *et al.*, 2003), lo cual también implica un obligado desplazamiento de la especie para encontrar mejores condiciones.

Valiente (2006) señala que el ajolote presenta una correlación negativa respecto a la carpa y la tilapia, debido a los efectos directos e indirectos que el aumento de las poblaciones de dichas especies exóticas en Xochimilco le ocasiona. Como ejemplo, la autora expone la relación existente entre la distribución geográfica del *A. mexicanum* y la densidad poblacional de dichas especies de peces (ver Gráfica 2) mediante una investigación científica realizada a lo largo de siete cuerpos de agua y canales del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” (Lago Huetzali o Huetzalin, Canal El Bordo, Canal Japón, Laguna El Toro, Canal Celada, Canal Costetexpan y el Canal Puente de Urrutia) que pretendía estimar la densidad de población de la carpa, la tilapia y el ajolote en éstos. En la Tabla 5 se sintetizan los valores promedio obtenidos durante las colectas de dichas especies, realizadas entre septiembre de 2002 y abril de 2004.

Tabla 5. Valores promedio de carpas, tilapias y ajolotes capturados por día en Xochimilco

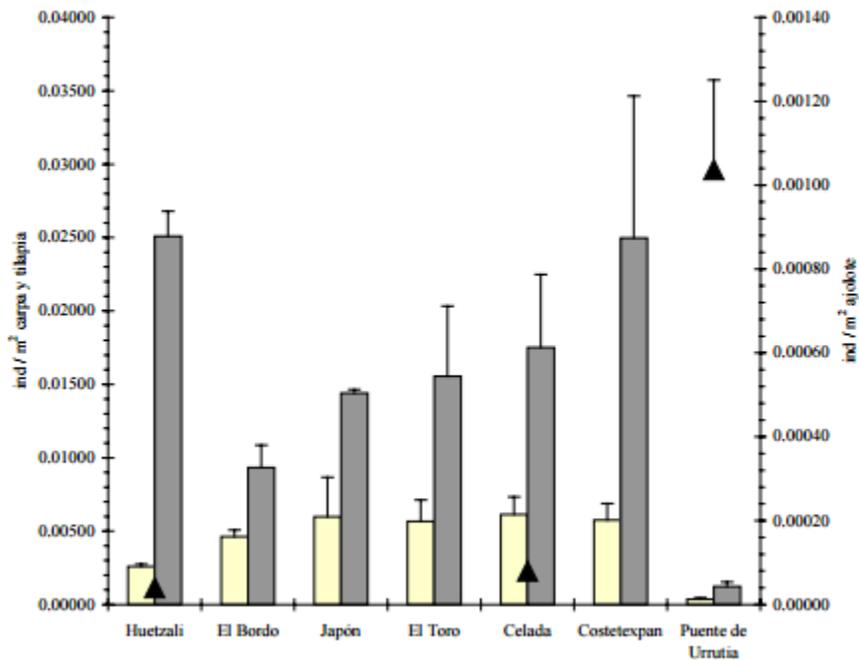
Promedio de individuos de carpa, tilapia y ajolote capturados por día en el Sistema Lacustre de Xochimilco			
Cuerpo de agua/Canal	Carpa (ind./día)	Tilapia (ind./día)	Ajolote (ind./día)
Huetzalin	16.25	157.25	0.25
El Bordo	23.20	46.80	0
Japón	50.00	120.33	0
El Toro	35.50	97.50	0
Celada	51.33	146.33	0.67
Costetexpan	48.00	208.67	0
Puente de Urrutia	1.80	6.20	5.20

Fuente: elaboración propia a partir de Valiente (2006)

Como puede notarse, existe una significativa relación entre las altas/bajas densidades de carpas y tilapias, y la ausencia/presencia del ajolote mexicano. Por

un lado, la mayor captura de ajolotes, al igual que la de diversas especies de peces pequeños (Valiente, 2006), se realizó en el Canal Puente de Urrutia (5.2 ind./día), ahí donde las colectas de carpas y tilapias fueron menores de entre la totalidad de los cuerpos de agua y canales considerados (1.8 ind./día y 6.2 ind./día, respectivamente); mientras que en el resto de las estaciones evaluadas el promedio de ajolotes atrapados no superó el individuo por día, siendo los valores medios de captura de ambos peces varias veces superiores a los hallados en Puente de Urrutia (entre 9.03 y 28.52 veces en el caso de la carpa, y entre 7.55 y 33.66 veces en el de la tilapia). A pesar de ello, también puede apreciarse que incluso en los sitios donde la captura de carpas y tilapias resultó elevada, fue posible encontrar ejemplares de ajolote mexicano coexistiendo junto con éstas, aunque los valores de este último hayan sido sumamente bajos (ver Gráfica 2).

Gráfica 2. Densidad poblacional de carpas, tilapias y ajolote en canales y cuerpos de agua seleccionados del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”



Fuente: Valiente (2006). Simbología: Barra amarilla – carpa; Barra gris – tilapia; Triángulo negro – Ajolote mexicano. Nota: obsérvese que existen dos escalas distintas: una para la carpa y la tilapia, y otra para el ajolote.

A partir de lo anterior, puede concluirse que aunque las altas densidades de fauna exótica de naturaleza invasora han condicionado de manera significativa la distribución geográfica del ajolote mexicano, no resultan determinantes. No obstante, muchos de los canales y cuerpos de agua del ANP cuentan con presencias esporádicas o nulas de *A. mexicanum*, lo cual contrasta de manera importante con la relativa homogeneidad de la distribución de la tilapia y la carpa. Asimismo, cabe añadir que la distribución del anfibio también podría darse en función de la variabilidad de la localización de las especies mencionadas, las cuales, como se mencionó anteriormente, actúan como sus depredadores (Zambrano *et al.*, 2003; Valiente, 2006).

Por otra parte, algunos parámetros físico-químicos también podrían ayudar a explicar la distribución del ajolote mexicano dentro de las aguas del ANP, lo cual corresponde principalmente al campo de la biogeografía ecológica. Valiente (2006) menciona que esta especie presenta cierta afinidad por zonas con niveles relativamente altos de conductividad y turbidez, y bajos en cuanto a la proporción de oxígeno disuelto en el agua.

Con la finalidad de hallar posibles relaciones entre dichos parámetros y la presencia o ausencia del *A. mexicanum* en Xochimilco se analizarán las Tablas 6 y 7, cuyo contenido hace alusión a estas y otras mediciones tomadas con aproximadamente tres años de diferencia.

Tabla 6. Parámetros físico-químicos diversos en canales y cuerpos de agua seleccionados del Sistema Lacustre de Xochimilco en 2003

Localidad	T °C	C	OD mg/l	pH	S mg/l	Trb UTS
Xochimilco						
Bordo	16.51	0.88	33.97	9.18	0.58	86.59
Celada	19.12	0.91	6.00	7.69	0.45	53.68
Costetexpan	17.74	0.86	5.28	7.77	0.42	35.64
Huetzali	19.50	0.90	6.26	9.12	0.44	125.20
Japón	19.23	0.97	7.23	8.60	0.48	32.21
Puente de Urrutia	16.97	1.02	10.53	7.91	0.51	20.71
El Toro	16.92	1.11	38.79	8.24	0.56	64.37

Fuente: Zambrano *et al.* (2003). T (°C)= Temperatura (grados centígrados); C= Conductividad (medida en mS/cm, es decir, milisiemens por centímetro); OD (mg/l)= Oxígeno disuelto (miligramos/litro); pH= Potencial de hidrógeno; S (mg/l)= Salinidad (miligramos/litro); Trb (UTs)= Turbidez (Unidades de Turbidez)

Tabla 7. Parámetros físico-químicos diversos en canales y cuerpos de agua seleccionados del Sistema Lacustre de Xochimilco en 2006

		Huetzali	Bordo	Japón	El Toro	Celada	Costetexpan	Urrutia
Temperatura	<i>media</i>	20.09	17.17	18.16	16.88	17.25	18.68	18.01
°C	<i>desv. estándar</i>	2.39	2.37	2.73	3.94	2.98	1.92	1.64
Conductividad	<i>mediana</i>	0.80	0.89	0.88	1.05	0.96	0.86	1.00
mS/cm								
O.D.	<i>mediana</i>	5.95	7.66	6.11	8.64	5.70	4.07	2.58
mg/l								
pH	<i>media</i>	9.45	9.23	8.84	8.21	7.93	7.68	7.74
	<i>desv. estándar</i>	0.61	0.61	0.66	0.41	0.28	0.30	0.61
Salinidad	<i>media</i>	0.40	0.42	0.45	0.54	0.48	0.45	0.53
PSS	<i>desv. estándar</i>	0.11	0.01	0.05	0.12	0.04	0.06	0.09
Sat. oxígeno	<i>media</i>	74.10	76.89	78.26	77.08	77.83	42.76	26.93
%	<i>desv. estándar</i>	42.49	38.46	5.46	29.82	44.28	19.53	8.39
Turbidez	<i>media</i>	130.04	80.54	41.19	53.56	54.10	28.25	17.21
UNT	<i>desv. estándar</i>	42.73	41.75	12.50	11.81	25.09	13.16	5.39

Fuente: Valiente (2006). Temperatura (°C, grados centígrados); Conductividad (mS/cm, milisiemens por centímetro); O.D. (mg/l)= Oxígeno disuelto (miligramos/litro); pH= Potencial de hidrógeno; Salinidad (PSS)= (se emplea la Escala Práctica de Salinidad o PSS; medida en miligramos/litro); Sat. oxígeno (%)= Saturación de oxígeno (porcentaje); Turbidez (UNT, Unidad Nefelométrica de Turbidez)

A partir del supuesto de que los valores elevados de conductividad y turbidez, así como las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua se encuentran entre las variables físico-químicas más propicias para el desarrollo óptimo del ajolote y, por ende, condicionan de cierta manera la distribución geográfica de la especie, puede concluirse lo siguiente:

1) en ambas mediciones la turbidez varía considerablemente entre los lagos y canales del ANP evaluados; a diferencia de lo señalado, es decir, que el ajolote prefiere establecerse en aquellos sitios en donde dicho parámetro físico es mayor, la mayor captura de individuos de dicha especie se realizó en la estación con las aguas menos turbias (canal Puente de Urrutia), mientras que en las otras dos donde también se colectaron ajolotes, aunque en menor medida, se obtuvieron valores de turbidez diversos: cercanos a la media en el caso de Celada y los de mayor valor en Huetzalin. En ese sentido, el resto de las estaciones, en las cuales

la captura de *A. mexicanum* fue nula, posee valores fluctuantes respecto a dicha variable, que van de elevados a bajos. Cabe destacar que en torno a la ambigüedad de la influencia de dicho parámetro sobre el ajolote mexicano, se ha señalado que esta especie requiere de aguas claras para hallar a sus presas con mayor facilidad (Abrahams and Kattenfeld, 1997, citado por Contreras *et al.*, 2009);

2) en el caso de la conductividad en las aguas de Xochimilco nuevamente se reportaron números poco uniformes en ambos estudios. A pesar de que en Puente de Urrutia se estimaron valores de 1.00 mS/cm en adelante (2ª posición en ambos casos), en la estación con mayor conductividad, es decir, El Toro, no se logró capturar ningún ejemplar; en los demás sitios donde sí se consiguió esto (Huetzalín y Celada) se obtuvieron valores medio-bajos y medios, respectivamente. En el resto de las estaciones la fluctuación también fue significativa, oscilando entre el promedio y las mediciones bajas;

3) por otra parte, aunque con la variable del oxígeno disuelto (O.D.) parece existir una ligera relación con la distribución geográfica del ajolote en uno de los estudios, ésta no parece ser conclusiva. Las mediciones obtenidas por Valiente, 2006 muestran que en tres de las cuatro estaciones con menores niveles de O.D. se observó la presencia del ajolote mexicano, incluyendo Puente de Urrutia, la cual obtuvo los valores más bajos y la mayor colecta de la especie. A pesar de ello, en Costetexpan no hubo captura de individuos incluso cuando la cantidad de O.D. es la segunda cota más reducida; sin embargo, esto no quiere decir que no haya ajolotes en este canal. En contraste, en la investigación de Zambrano *et al.*, 2003 los valores de dicho parámetro químico estuvieron más dispersos y no necesariamente coincidieron con los del otro estudio. Aun cuando en las estaciones con los mayores niveles (El Bordo y El Toro) no se hallaron individuos de *A. mexicanum*, lo cual en teoría correspondería con la lógica debido al enunciado planteado anteriormente, en Puente de Urrutia se presentó el tercer valor más alto dentro de las estaciones seleccionados, por lo que el supuesto de la aparente tendencia del estudio alterno se refutaría; asimismo, el caso de

Costetexpan contribuye a confirmarlo, ya que la variable volvió a ser la más baja de todo el conjunto;

4) de igual modo, algunos de los restantes parámetros evaluados, aunque no son señalados como factores cruciales en la distribución geográfica del ajolote, sí presentan cierta relación con las variables anteriores; tal es el caso de la saturación de oxígeno con el oxígeno disuelto y la conductividad con la salinidad. La tendencia del primer par, aunque no del todo simétrica, resultó bastante uniforme, coincidiendo en que la estación de Puente de Urrutia presenta el menor porcentaje de saturación de oxígeno y la menor cantidad de O.D., y como ya se mencionó, la mayor captura de individuos de la especie; en ese sentido, el resto de los canales y cuerpos de agua tuvieron valores relativamente paralelos, aunque nuevamente ninguno fue conclusivo para explicar la localización del *A. mexicanum* en el ANP. Por otra parte, a pesar de que el segundo par de parámetros mostró cierta relación entre sí, fue ligeramente menor que la anterior y tampoco fue definitiva; asimismo, los demás parámetros, es decir, la temperatura y el pH, no revelaron vínculo alguno con la distribución del anfibio;

5) adicionalmente, cabe señalar que aunque la temperatura no pareció condicionar en absoluto la distribución de *A. mexicanum* en los sitios señalados (desde luego dentro del rango de temperatura adecuado para éste en estado silvestre) (Ver Capítulo 2), Contreras *et al.* (2009) mencionan que este anfibio es más vulnerable a contraer enfermedades parasitarias con el aumento de dicho parámetro; asimismo, señalan que el cambio climático y las alteraciones ambientales representan una amenaza importante para los anfibios en general, sin embargo, ninguna de las fuentes consultadas, incluyendo ésta, hacen referencia al impacto del cambio climático global sobre el ajolote mexicano;

6) en resumen, pese a que ningún parámetro físico-químico fue decisivo para aclarar la presencia o ausencia del ajolote mexicano a lo largo del ANP, el análisis de ambos estudios permitió observar un moderado nexo entre la distribución de dicha especie y las variables de la conductividad (asociada con la salinidad) y los niveles de oxígeno disuelto en el agua (relacionada con la saturación de oxígeno);

en contraste, la turbidez apenas si mostró una leve correlación con la localización del anfibio. A pesar de lo anterior, varios autores (Zambrano et. al, 2003; Valiente, 2006, CONABIO, 2011) insisten en que estas variables son importantes para su desarrollo y subsistencia. En ese sentido, el examen de la tabla de la densidad de peces introducidos arrojó que la interacción de éstos con el ajolote parece tener más peso en la geografía de este último que las variables ecológicas consideradas; como ejemplo, Valiente (2006) menciona que probablemente las especies exóticas invasoras señaladas fuerzan el desplazamiento del anfibio hacia sitios con condiciones ecológicas menos aptas para su desarrollo, especialmente para las puestas y los individuos que se encuentran en sus primeros estadios de vida, ya que en este caso requieren de mayores concentraciones de oxígeno en el agua. De igual modo, menciona que en el caso de la estación con más individuos capturados, es decir, el canal Puente de Urrutia, además de la baja presencia de carpas y tilapias, y la conjunción de parámetros físico-químicos más o menos favorables, podría contribuir su relativo aislamiento geográfico respecto al resto de los canales del ANP, así como una mayor abundancia de vegetación sumergida y litoral, las cuales son propicias para el desove del ajolote;

7) finalmente, cabe destacar que en un estudio más reciente realizado entre 2005 y 2006 dentro de los límites del ANP (Contreras *et al.*, 2009), no fue posible capturar un solo ejemplar de ajolote en las estaciones de Puente de Urrutia y Celada, a diferencia del estudio analizado previamente (Valiente, 2006), mientras que en las estaciones de Japón, El Toro y El Bordo los lances realizados para su captura nuevamente resultaron estériles, ya que ningún individuo de la especie fue atrapado;

8) a pesar de que el estudio de la influencia de los factores ambientales y de la interacción de las diversas especies en la distribución geográfica del ajolote corresponde al campo de la biogeografía ecológica, cabe recordar que parte de la actual problemática referente al *Ambystoma mexicanum* en el ANP se origina tras la introducción, por parte del ser humano, de varias especies exóticas de peces que se han convertido en una plaga, lo cual forma parte del ámbito de la

biogeografía cultural.

En otro orden de ideas, aunque dentro de la misma temática, existen ambigüedades en torno a la influencia del lirio acuático, una especie vegetal exótica, sobre el equilibrio del hábitat del ajolote y la distribución de éste dentro del ANP; dicha planta fue introducida en Xochimilco alrededor de 1870 y gradualmente fue convirtiéndose en una plaga dentro del sistema, especialmente a partir de la década de 1990, debido a su gran capacidad de adaptación a las condiciones físico-químicas del agua (CONANP, 2004; Molina, 2010, Santillán, 2016). El lirio, al realizar el proceso de la fotosíntesis, ocasiona un descenso en los niveles de agua del Sistema Lacustre debido a la evapotranspiración subsiguiente, lo cual perturba hasta cierto punto el hábitat del *A. mexicanum*; asimismo, se considera responsable de bloquear la luz hacia las capas más profundas de los canales y lagos, y de sustituir diversas plantas acuáticas autóctonas del ANP (Zambrano *et al.*, 2003; CONANP, 2004; GODF, 2006). Por otra parte, al lirio también se le atribuye la disminución de las concentraciones del oxígeno disuelto en el agua, el cual, como se mencionó, es un parámetro químico que puede condicionar la distribución geográfica del anfibio, ya que cuando los valores son bajos resulta favorable para su desarrollo durante su madurez (Zambrano *et al.*, 2003). Adicionalmente, las raíces del lirio son empleadas por el ajolote para depositar sus huevecillos (Santillán, 2016), lo cual se suma a los efectos positivos que dicha planta produce sobre el ajolote.

En resumen, el lirio acuático podría influenciar en cierta medida la presencia o ausencia del ajolote dentro del ANP y, aunque dicha planta parece reportar algunos beneficios para el ajolote, la excesiva propagación de ésta en el ANP podría resultar dañina para el hábitat de éste a largo plazo.

3.2.2 Contaminación del agua

Como se mencionó anteriormente, la contaminación de los canales y cuerpos de agua del ANP, además de contribuir de manera importante al deterioro del hábitat del ajolote mexicano, también podría estar condicionando la distribución geográfica de la especie, ya de por sí heterogénea y fragmentada debido a otros factores.

La polución acuática en Xochimilco tiene su origen en las múltiples transformaciones que han sufrido el Sistema Lacustre y su entorno a lo largo de varios siglos debido principalmente al factor antrópico. Cabe recordar que desde la época prehispánica los mexicas realizaron diversas modificaciones al lago de Texcoco a lo largo del tiempo, como la construcción de chinampas con fines agrícolas, la edificación de acueductos para cubrir las necesidades socioeconómicas de la creciente ciudad de Tenochtitlan, el levantamiento de albardas para frenar las inundaciones derivadas del desbordamiento del cuerpo de agua y el desvío de manantiales con fines de riego. Por otra parte, durante la Colonia los españoles construyeron diversas obras como el Tajo de Nochistongo (sistema de desagüe) y el Desagüe de Huehuetoca, levantaron acueductos, albardones, edificaciones y calles en torno al lago, desviaron manantiales y corrientes hídricas, etc., lo cual derivó en la obstrucción y desaparición de acequias, así como en una mayor sedimentación del lago tras el incremento de la erosión del suelo. En ese sentido, en el México independiente también se presentaron algunas transformaciones al lago de Texcoco, incluyendo el levantamiento de diques que produjeron la fluctuación del nivel del agua, así como la construcción del Gran Canal de Desagüe, el cual se inauguró en 1900 (SACMEX, 2012).

A pesar de lo anterior, los mayores efectos ambientales en dicho cuerpo de agua habrían de producirse cuando los manantiales que solían proveer a la Ciudad de México a través de diversos acueductos comenzaron a agotarse a finales del siglo

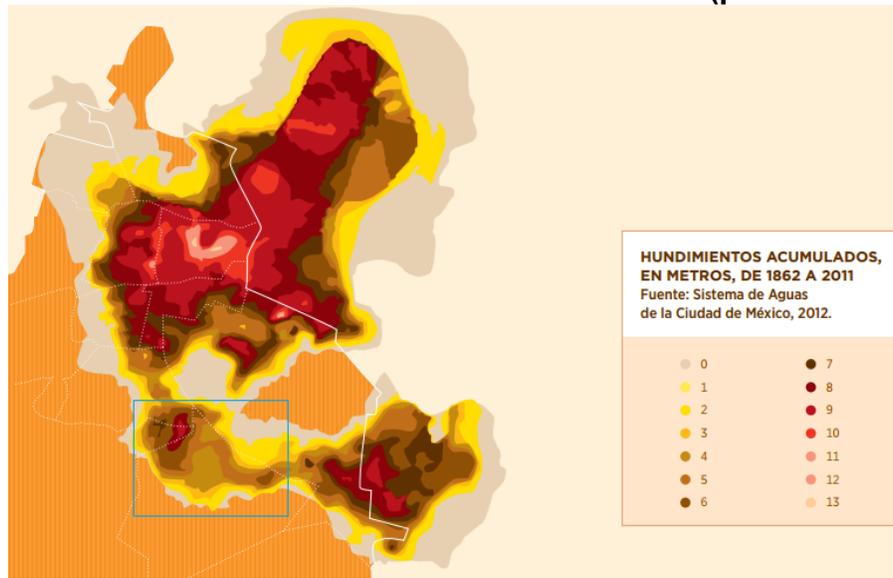
XIX, por lo cual se inició la búsqueda de nuevas fuentes para el suministro de agua potable de dicha urbe, cada más extensa. Los manantiales de La Noria, Nativitas, Santa Cruz y San Luis, localizados en Xochimilco, fueron seleccionados para que sus aguas fueran entubadas y transportadas mediante un acueducto (SACMEX, 2012), pese a que la escasez de agua potable en dicha zona, derivada del desecamiento de la Cuenca de México, ya se había reportado en torno al año de 1883 (PAOT, 2012); dicha obra habría de concluir en 1913 (PAOT, 2012), sin embargo, el bombeo del líquido, el cual fluía de manera natural hacia el Sistema Lacustre, dio inicio en 1908 (GODF, 2006). En ese sentido, las aguas del manto acuífero de la zona también comenzaron a ser extraídas mediante pozos artificiales en el año de 1925 (GODF, 2006) y cinco años más tarde se advirtió que los más de treinta manantiales que alimentaban los lagos de Xochimilco y Chalco estaban prácticamente secos (Molina, 2010).

Lo anterior trajo consigo la disminución de las precipitaciones en el Valle de México, la consolidación y fractura del suelo, así como el gradual hundimiento de diversas zonas del ANP, el cual alcanzó entre 4 y 5 metros de profundidad en el período de 1950 a 1980, siendo la porción central la más afectada (CONANP, 2004; GODF, 2006; PAOT, 2012).

En consecuencia, el vertido de aguas negras semitratadas al lago de Xochimilco inició durante la década de 1950 (a pesar de que la descarga de aguas residuales residenciales e industriales al lago de Texcoco comenzó en torno a 1930 (SACMEX, 2012)) con la finalidad de frenar el descenso del nivel del agua de sus canales (Molina, 2010); aunque inicialmente dichas aguas provenían exclusivamente de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella, en Iztapalapa, posteriormente se sumarían los aportes de las plantas de San Luis Tlaxialtemalco y San Lorenzo Tezonco (GODF, 2006), así como de las aguas negras y grises (estas últimas derivadas del lavado de utensilios y prendas de vestir, es decir que contienen jabón), de origen doméstico e industrial (Molina, 2010), y las tóxicas aguas cloradas (usadas en el tratamiento de las aguas residuales) (Otto, 1999).

Pese a lo anterior, los aportes artificiales de dichas plantas no fueron suficientes para frenar los hundimientos, los cuales aumentaron casi medio metro en diversas zonas del ANP durante la década de los ochenta. Lo anterior ha coadyuvado a la inundación parcial de terrenos (incluyendo la zona chinampera), al desnivel de canales y zanjas, así como a la creación o expansión de cuerpos de agua (esto no implica una ganancia en la extensión del hábitat del ajolote, ya que las fluctuaciones considerables del nivel del agua no permiten su establecimiento), además de que podría ocasionar afectaciones en las edificaciones aledañas (PAOT, 2012; SEDEMA, 2012); asimismo, propició, de manera indirecta, el incremento de la contaminación del Sistema Lacustre, ya que se produjo un cambio gradual en las técnicas agrícolas realizadas en el ANP, pasando de la tradicional producción en chinampas a la de invernadero (especialmente en la zona de San Luis Tlaxialtemalco), la cual es más tecnificada, intensiva y rentable pero es menos sustentable debido a los contaminantes que genera por el empleo de agroquímicos y la acumulación de residuos tóxicos, y al incremento en la utilización de energía eléctrica y de agua potable con fines de riego (GODF, 2006; Valiente *et al.*, 2010; SEDEMA, 2012).

Figura 16. Hundimiento acumulado de las zonas de la Ciudad de México donde se localizaba el Sistema Lacustre de Texcoco (período 1862-2011)



Fuente: SACMEX (2012). Nota: el cuadro azul señala el ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”.

Aunado a esto, factores como la deficiente planeación de las obras del drenaje profundo, la falta de regulación del turismo dentro del ANP, el uso desmesurado de fertilizantes químicos y plaguicidas en la actividad agrícola, el depósito de residuos sólidos dentro de los canales y zonas aledañas (especialmente cascajo y desechos orgánicos de origen animal), una inadecuada explotación forestal, y la presencia de materia vegetal en descomposición derivada de la inadecuada poda y tala de árboles, así como de la extracción de lirio acuático de los canales y su posterior depósito en las orillas de éstos, son algunos de los factores que inciden de manera significativa en el aumento de la contaminación de los cuerpos de agua de Xochimilco (Zambrano et. al, 2003; GODF, 2006; Valiente, 2006; Zambrano et al., 2010; CONABIO, 2011; PAOT, 2012; SACMEX, 2012).

Actualmente, se considera que los niveles de contaminación del agua del Sistema Lacustre han comenzado a decrecer gradualmente (Zambrano et al., 2010); sin embargo, a raíz de los hundimientos y la alteración de la calidad del agua de los canales, el régimen de la hidrología natural del sitio ha sido modificado, incluyendo la dinámica del drenaje superficial (GODF, 2006; PAOT, 2012), y el control hidrológico se ha ido perdiendo (SEDEMA, 2012).

La contaminación acuática del ANP es considerada sumamente heterogénea en cuanto a su distribución, a pesar de la conectividad de los canales y cuerpos de agua, existiendo diferencias significativas en la calidad del agua de las zonas próximas a los sistemas montañosos y las planicies (cuya condición es prácticamente natural debido a que el flujo es corto y rápido) y la propia del Sistema Lacustre (la cual no es buena debido principalmente a su naturaleza léntica y las actividades del ser humano) (Zambrano et al, 2003; CONANP, 2004, Contreras et al., 2009); dicha contaminación puede ser biótica o abiótica (orgánica o inorgánica). Dentro del primer tipo destacan los coliformes totales y fecales (especialmente la bacteria *Escherichia coli* o *E. coli*), los cuales superan el 50% de los niveles permisibles estipulados por la NOM-003-ECOL-1997, y los estreptococos, cuya concentración sobrepasa el 90% del valor fijado por ésta; en

ambos casos, el factor antrópico es el principal generador de dichos contaminantes, los cuales se derivan del empleo del estiércol como fertilizante en la agricultura en chinampas, así como de las descargas de aguas negras provenientes de los asentamientos humanos aledaños y de las plantas de tratamiento que alimentan al Sistema Lacustre, siendo las zonas de desembocadura de estas últimas y el área turística los sectores del ANP que contienen una mayor concentración de contaminantes bacterianos (Zambrano *et al.*, 2003; Esquivel y Soto, 1999, Soto y Esquivel, 2003, citado por GODF, 2006; Valiente, 2006; SEDEMA, 2012). Por otra parte, de los contaminantes orgánicos sobresalen por su abundancia los aceites, herbicidas, fertilizantes y plaguicidas (CONANP, 2004), mientras que de los inorgánicos destacan el cloro residual libre, los nitratos, el nitrógeno amoniacal y diversos metales pesados, como el cadmio, el zinc, el plomo, el cobre, entre otros; algunos de éstos también sobrepasan los niveles permitidos por las normas ambientales y tienen su origen en las descargas domésticas, de aguas negras tratadas y de aguas residuales agrícolas (Zambrano *et al.*, 2003; CONANP, 2004; GODF, 2006; Valiente, 2006).

Aunado a lo anterior, el Sistema Lacustre presenta eutrofización, es decir que posee una concentración de nutrientes alta, especialmente de sales y diversos iones como el sodio, lo cual propicia la salinización y sodificación de suelos agrícolas, así como la sobreproducción de algas, las cuales aumentan los niveles de oxígeno disuelto en el agua, resultando mortal para el ajolote mexicano cuando este parámetro químico alcanza niveles de sobresaturación; asimismo, dicha condición fomenta el crecimiento de cianofitas, las cuales favorecen las altas densidades del tóxico amonio (López, 1975, citado por GODF, 2006; Wetzell, 1985, citado por Otto, 1999; Jiménez, 1989, citado por GODF, 2006; Otto, 1999). El principal causante de la eutrofización de los canales y cuerpos de agua del ANP es el agua negra tratada descargada al sistema, la cual incluso presenta limitantes para su uso agrícola debido a que recibe un tratamiento terciario que resulta insuficiente (Otto, 1999; Zambrano *et al.*, 2003; Valiente, 2006; Molina, 2010).

En concreto, en cuanto al ajolote mexicano se refiere, la contaminación acuática le afecta de diversas maneras:

- 1) **Deterioro de su hábitat y del ecosistema:** como se mencionó, el ser humano, a través de diversas actividades socioeconómicas, ha propiciado la gradual y drástica transformación del hábitat del anfibio y del ecosistema del que forma parte, encaminándolos hacia su destrucción; en consecuencia, dicho impacto ambiental, especialmente el relacionado con la calidad del agua de Sistema Lacustre, junto con el cambio de uso de suelo con fines urbanos en detrimento de la zonas de cultivo en chinampas, podrían ocasionar que Xochimilco pierda la categoría de Patrimonio de la Humanidad decretada por la UNESCO (CONANP, 2004; PAOT, 2012).

- 2) **Distribución geográfica poco homogénea:** a pesar de que la contaminación no es el único factor que influye directamente en la biogeografía del *A. mexicanum* (cabe recordar que las especies exóticas introducidas también tienen un peso importante en este aspecto), sí podría estar condicionando de manera significativa su presencia o ausencia en un determinado canal o cuerpo de agua, ya que la mayoría de los ajolotes que han sido capturados fueron hallados en sitios menos contaminados (aunado a aquellos con menor densidad de carpas y tilapias) (Zambrano *et al.*, 2003), así como en las cercanías de los escasos manantiales remanentes, cuyo contenido de nitratos y amonio es menor respecto al resto de los canales y cuerpos de agua (Contreras *et al.*, 2009). Como se dijo, aunque los contaminantes en las aguas del ANP podrían estar disminuyendo, éstos estarían estancándose debido a la escasa circulación que presentan algunos canales (ocasionando asimismo afectaciones a la navegabilidad y el aumento de las inundaciones) por la proliferación de vegetación acuática como el lirio, y la obstrucción y cierre de canales (GODF, 2006; SEDEMA, 2012).

En ese sentido, la contaminación y las especies exóticas, al variar su localización a lo largo del ANP estarían creando zonas menos o más propicias para el desarrollo y subsistencia del anfibio; sin embargo, aquellas consideradas como más favorables podrían estar reduciéndose, además de que éstas suelen ser fáciles de detectar para quienes capturan clandestinamente individuos de la especie (Zambrano *et al.*, 2003).

3) Afectaciones a nivel biológico: la contaminación del hábitat del anfibio es una de las variables ambientales responsables de la drástica disminución poblacional de éste, así como del riesgo de extinción en estado silvestre a que ha estado sujeto en los últimos años (Zambrano *et al.*, 2003; Molina, 2010; Zambrano *et al.*, 2010). Los contaminantes bióticos e inorgánicos (especialmente el nitrógeno amoniacal) ocasionan enfermedades dérmicas y de origen bacteriano o parasitario en los ajolotes, debido a la disminución de la respuesta inmune de los organismos, y pueden derivar en la aparición de hongos en los huevecillos o evitar su eclosión (Zambrano *et al.*, 2003; Valiente, 2006; Zambrano *et al.*, 2010). Por otro lado, cabe mencionar que la mala calidad del agua del Sistema Lacustre ya ha provocado la extinción de diversas especies de peces, como las pertenecientes a la familia de los ciprínidos, y que los anfibios son igualmente vulnerables a ésta y otras variables ambientales (INECOL, 2002, citado por GODF, 2006).

Finalmente, respecto a los sitios del ANP analizados previamente en el ámbito de las especies exóticas, Valiente (2006) y Contreras *et al.* (2009) describen algunas de sus características, entre las que destacan los niveles de contaminación de cada uno de ellos; dos de las tres estaciones que presentaron mejor calidad del agua y diversas condiciones ambientales favorables (Huetzalin y Puente de Urrutia) también tuvieron densidades relativamente bajas de especies exóticas de peces, lo cual podría explicar en gran medida la presencia de un número mayor de ajolotes en dichas zonas del ANP. Entre las características halladas en los canales y cuerpos

de agua con menos contaminación acuática (las dos señaladas y la laguna de El Toro) destacan las siguientes:

- Lago de Huetzalin: escasa erosión de las paredes de las chinampas, uso de suelo mayormente agrícola de tipo chinampa, ausencia de asentamientos humanos aledaños y restricciones de acceso al estar localizado dentro del Parque Ecológico de Xochimilco.

Figura 17. Lago de Huetzalin en el Parque Ecológico de Xochimilco



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 1° de febrero de 2017

- Canal Puente de Urrutia: escasa erosión de las paredes de las chinampas, relativo aislamiento de la zona chinampera, presencia de asentamientos humanos, nula descarga de desechos agrícolas y domésticos, presencia de invernaderos en sus cercanías, y poco tránsito de embarcaciones; a pesar de ello, podría estar entrando agua tratada al canal.
- Laguna El Toro: circulación del agua significativa al ser un punto de confluencia de otros canales, lo cual propicia la dispersión de los

contaminantes, uso de suelo mayormente agrícola de tipo chinampa; en contraste, existe una concentración importante de viviendas próximas a ésta (lo cual implica la descarga de aguas negras), así como un considerable tránsito de trajineras.

Por otro lado, las cuatro estaciones restantes mostraron características ecológicas menos favorables y sólo en una de ellas (Canal Celada) se constató la presencia de individuos de ajolote. Algunas de las condiciones presentes en éstas son: erosión avanzada de las paredes de las chinampas, uso de suelo mayormente agrícola de tipo chinampa, tránsito constante de canoas y/o trajineras, abundantes desechos orgánicos de origen animal, cascajo y restos de poda en las orillas, presencia de metano por la descomposición de heces de la tilapia y de materia orgánica, azolvamiento de canales y descargas de residuos domésticos, agrícolas y ganaderos, presencia importante de asentamientos humanos (Celada) y de zonas ganaderas (Japón).

3.2.3 Pesca furtiva

Como se mencionó en el capítulo 2, el ajolote mexicano ha sido utilizado como un recurso natural con diversos fines desde la época prehispánica (gastronómicos, medicinales, investigación científica, etc.) y hasta hace algunos años era común su venta en diversos mercados de la Ciudad de México; sin embargo, en la actualidad su sobreexplotación mediante la pesca furtiva o clandestina por parte de los habitantes de Xochimilco ha contribuido, junto con otros factores, al descenso de su población dentro del ANP, al grado de orillarlos gradualmente a una posible extinción en vida silvestre al tratarse de un recurso no renovable (Otto, 1999; CONANP, 2004; Molina, 2010; CONABIO, 2011). A raíz de lo anterior, el denominado “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” emitió un reglamento, llamado “Reglas administrativas para el manejo de los recursos naturales y la realización de

actividades en el Área Natural Protegida “Ejidros de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, mediante el cual se establece, entre otras cosas, una serie de condiciones para que puedan ser llevadas a cabo diversas acciones dentro de su jurisdicción; en el ámbito de la pesca furtiva fue estipulado lo siguiente (únicamente se muestran los fragmentos alusivos a dicha actividad, por lo que las reglas citadas no están completas):

“Regla 20.- Las actividades de pesca y acuicultura comercial requerirán del permiso, autorización o, en su caso, concesión que al efecto expida la autoridad competente, atendiendo a las disposiciones jurídicas y normativas aplicables³⁴. Asimismo, se deberá cumplir con las siguientes obligaciones:

- I. La actividad podrá realizarse siempre y cuando la calidad del agua cumpla con los niveles mínimos permisibles de metales pesados y coliformes, entre otros, indicados en las normas oficiales mexicanas;
- II. Durante el desarrollo de las actividades deberá considerarse el uso de artes y métodos de pesca permitidos”.

“Regla 30.- En el ANP queda prohibido:

- IV. Capturar, alimentar, remover, extraer o retener vida silvestre o sus productos, si no se cuenta con el permiso o autorización correspondiente;
- VIII. Realizar actividades de cacería y pesca furtiva” (GODF, 2006: 35 y 37).

Pese a dicha normatividad, el *Ambystoma mexicanum* todavía es sujeto de captura clandestina en los canales y cuerpos de agua del ANP (Molina, 2010) y la práctica de la pesca, en general, se sigue realizando incluso dentro del Parque

³⁴ Los científicos hacen énfasis en que las restricciones a la prohibición general de la pesca en los canales de Xochimilco deben reducirse, ya que ésta sólo favorece la proliferación de los peces exóticos, en detrimento de especies nativas como el ajolote mexicano, además de que dicha actividad debería enfocarse únicamente en las introducidas (Zambrano *et al.*, 2003).

Ecológico de Xochimilco (principalmente en el lago de Huetzalin) (Valiente, 2006), cuyo acceso, en teoría, está restringido.

Las capturas clandestinas afectan seriamente la tasa de crecimiento anual de la especie, ya que desde los cuatro meses los organismos pueden ser atrapados por las redes de atarraya, lo cual incide drásticamente en el número de individuos que alcanzan la edad reproductiva, los cuales también son sujetos de pesca furtiva (Zambrano *et al.*, 2003; GODF, 2006; Zambrano *et al.*, 2010; Servín, 2011). Como se mencionó, la distribución geográfica restringida y poco homogénea del ajolote mexicano podría estar favoreciendo su captura por pescadores de la zona, quienes localizan fácilmente las concentraciones importantes de individuos de dicha especie; cabe mencionar que hace aproximadamente una década eran extraídos más de 1,400 ajolotes al año dentro del ANP de manera clandestina, la mayoría de ellos bajo pedido; sin embargo, factores como la pérdida de competitividad ante los criaderos o granjas nacionales e internacionales de reproducción en cautiverio de *A. mexicanum*, que ofrecen precios similares a los de los "ajoloteros", la disminución de su población en estado silvestre, los decomisos por parte de la policía ribereña y de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), y las restricciones a su comercio internacional impuestas por la CITES han mermado gradualmente el mercado negro que gira en torno a dicha especie (Zambrano *et al.*, 2003; Servín, 2011).

3.2.4 Pérdida y fragmentación del hábitat³⁵

Como se señaló previamente, el original sistema lacustre localizado al suroeste del Valle de México, del cual el ajolote mexicano es endémico, ha visto disminuida su superficie en los últimos siglos hasta quedar reducido a unos cuantos cuerpos de agua remanentes de diversas dimensiones, aislados entre sí. Dicho sistema, formado por actividad tectónica hace unos 600,000-700,000 años durante la época del Pleistoceno en el período Cuaternario, perdió casi el 99.9% de su extensión

³⁵ La fragmentación del hábitat "es el proceso de fractura y cambio de la matriz homogénea del paisaje hacia la heterogeneidad espacial del área" (Sarmiento, 2001: 153).

desde la época colonial hasta la actualidad debido principalmente al factor antrópico, pasando de un área de entre 1,575 km² (Ramírez, 2001) y unos 2,000 km² (Antón, 1999) hasta antes de la Colonia a 230 km² en 1861 (Ramírez, 2001), a 35 km² en 1940 (Aguilar, López, y Villar, 2013), a 13 km² en 1980 (Ramírez, 2001) y a aproximadamente 2.3 km² en el presente³⁶ (Fox, 1965, citado por Parra, Zamudio, Recuero, Aguilar, Huacuz y Zambrano, 2012; Aguilar *et al.*, 2013). A pesar de que, como se señaló en el capítulo anterior, no hay datos conclusivos acerca del área total ocupada originalmente por la especie, de cualquier forma, gran parte de su hábitat ha sido reducida y fragmentada debido al factor antrópico en menos de dos siglos, ya sea que el ajolote haya abarcado de manera íntegra o parcial el cuerpo de agua mencionado.

En la actualidad sólo algunos de los canales artificiales (incluyendo acalotes – canales primarios usados para la navegación - y apantles – canales secundarios, acequias o zanjas utilizados mayormente para el riego) que atraviesan el ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, así como una parte de los cuerpos de agua permanentes y temporales propios de ésta y del denominado lago de Chalco, constituyen el único hábitat silvestre del ajolote mexicano, el cual se encuentra, además de deteriorado, sumamente fragmentado (Zambrano *et al.*, 2003, Molina, 2010), debido principalmente al cambio de uso de suelo³⁷ (derivado principalmente del fenómeno de la urbanización) (Zambrano *et al.*, 2003; CONANP, 2004; GODF, 2006; CONABIO, 2011, Servín, 2011; PAOT, 2012, SACMEX, 2012; Mena y Servín, 2014).

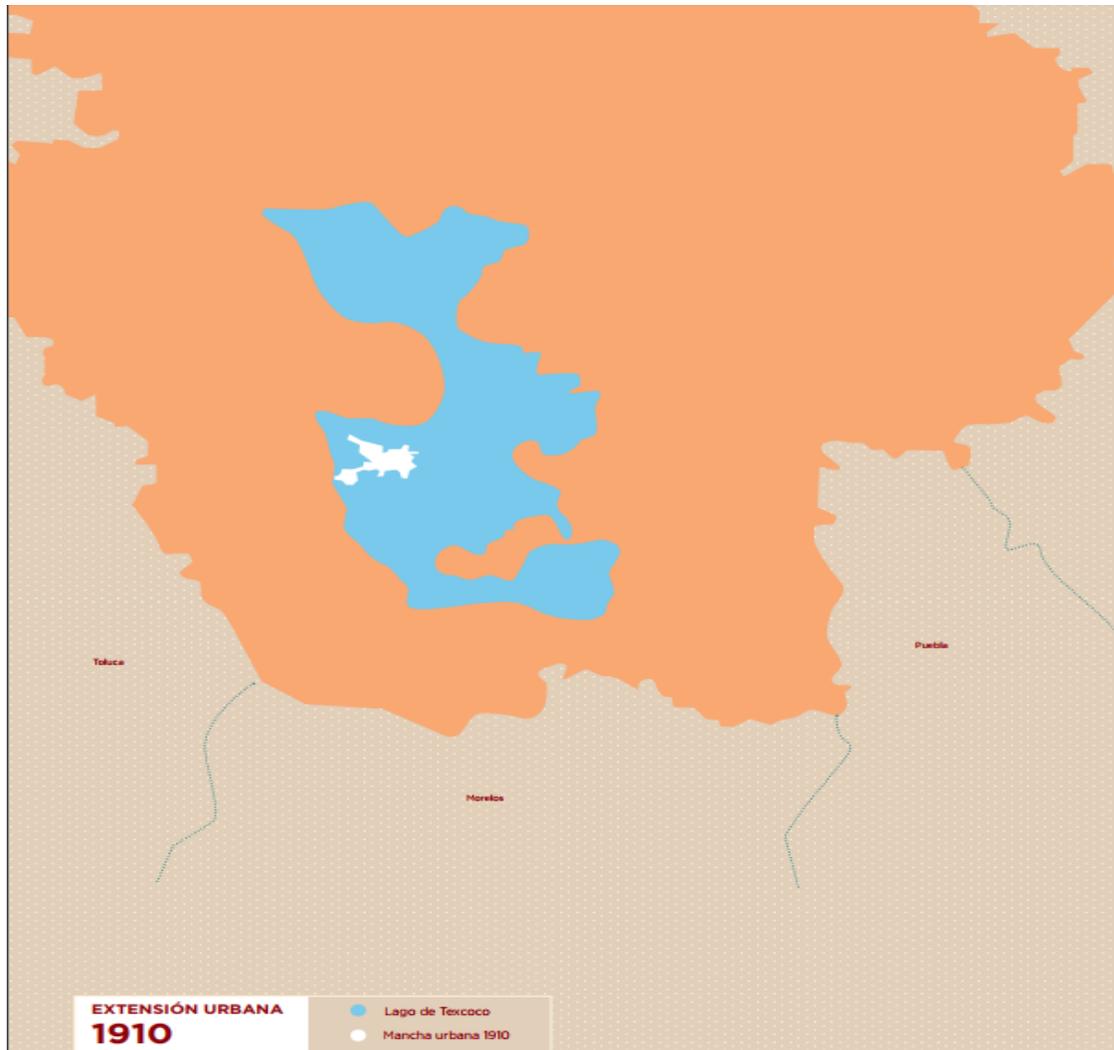
En el caso concreto del ANP en cuestión, el gradual cambio de uso de suelo no sólo ha fragmentado el hábitat del ajolote, sino que también ha influenciado su distribución geográfica, ya que la especie suele hallarse lejos de las zonas habitacionales y comerciales, y cerca de las de agrochinampería (Contreras *et al.*,

³⁶ Fox, 1965 (citado por Parra *et al.*, 2012) señala que el área original del mencionado Sistema Lacustre era de 240 km², la cual es varias veces menor que las indicadas previamente por Antón, 1999 y Ramírez, 2001; en ese sentido, Antón, 1999 y SACMEX, 2012 mencionan que tan sólo la superficie de la porción del Sistema conocida como Lago de Texcoco, la más extensa de todas, era de entre 700 y 1,000 km² antes de la época colonial, lo cual refuerza dicha contradicción. De cualquier modo, aunque el área establecida por Fox, 1965 fuera la más cercana a la realidad, la reducción del cuerpo de agua original seguiría superando el 99%.

³⁷ El proceso de cambio de uso de suelo se refiere a la “modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación” (CONAFOR, 2017).

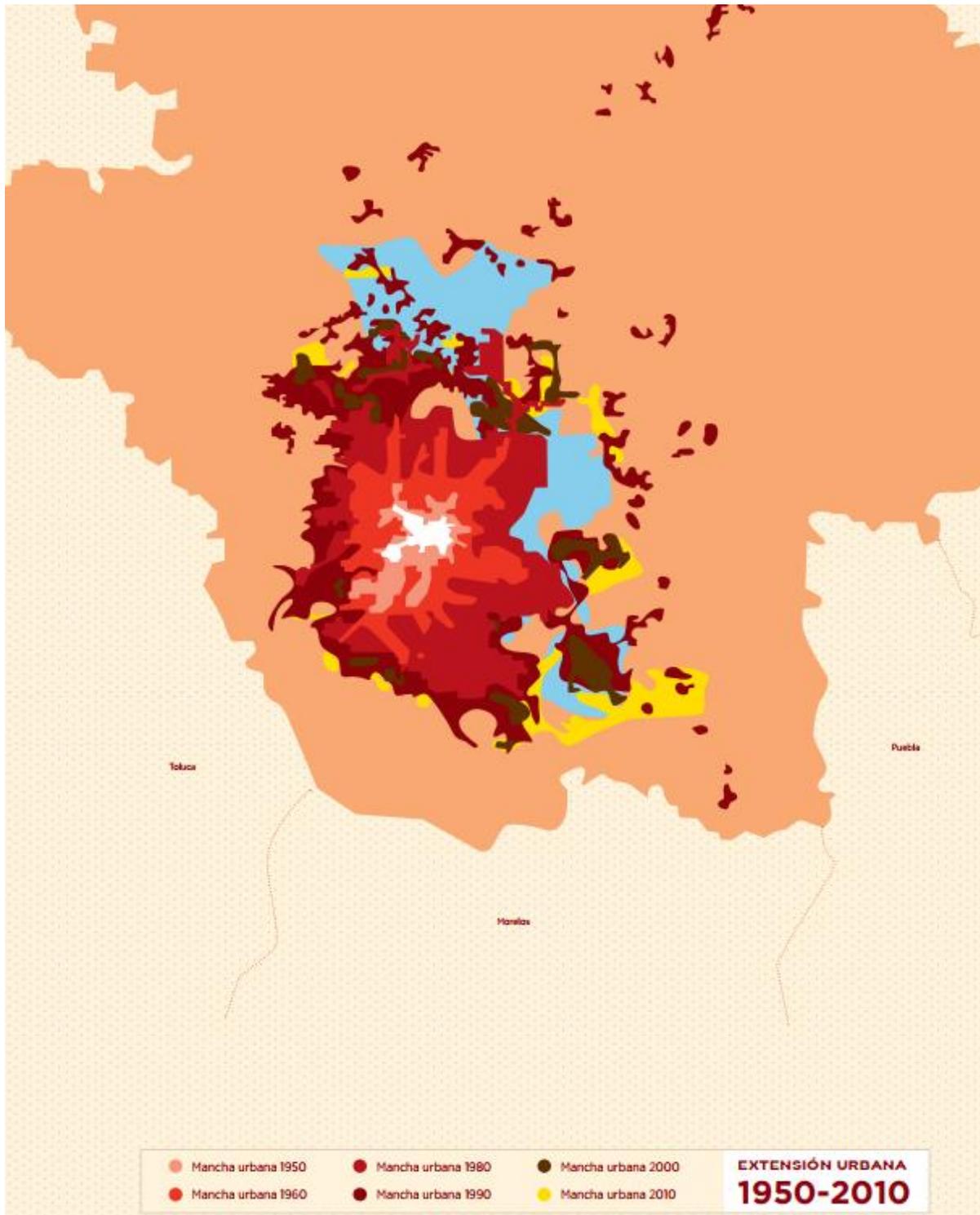
2009). Dicho cambio en el uso de suelo obedece principalmente al acelerado avance de la mancha urbana de la Ciudad de México en dirección sur (GODF, 2006), el cual alcanzó su mayor crecimiento entre las décadas de 1970 y 1980 (López, Martínez y López, 2014) (ver Figuras 18 y 19).

Figura 18. Extensión de la mancha urbana de la Ciudad de México en 1910



Fuente: SACMEX (2012). Recuperado el 2 de agosto de 2017 a partir de:
http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/ElGranRetodelAgua_enla_CiudadMexico.pdf

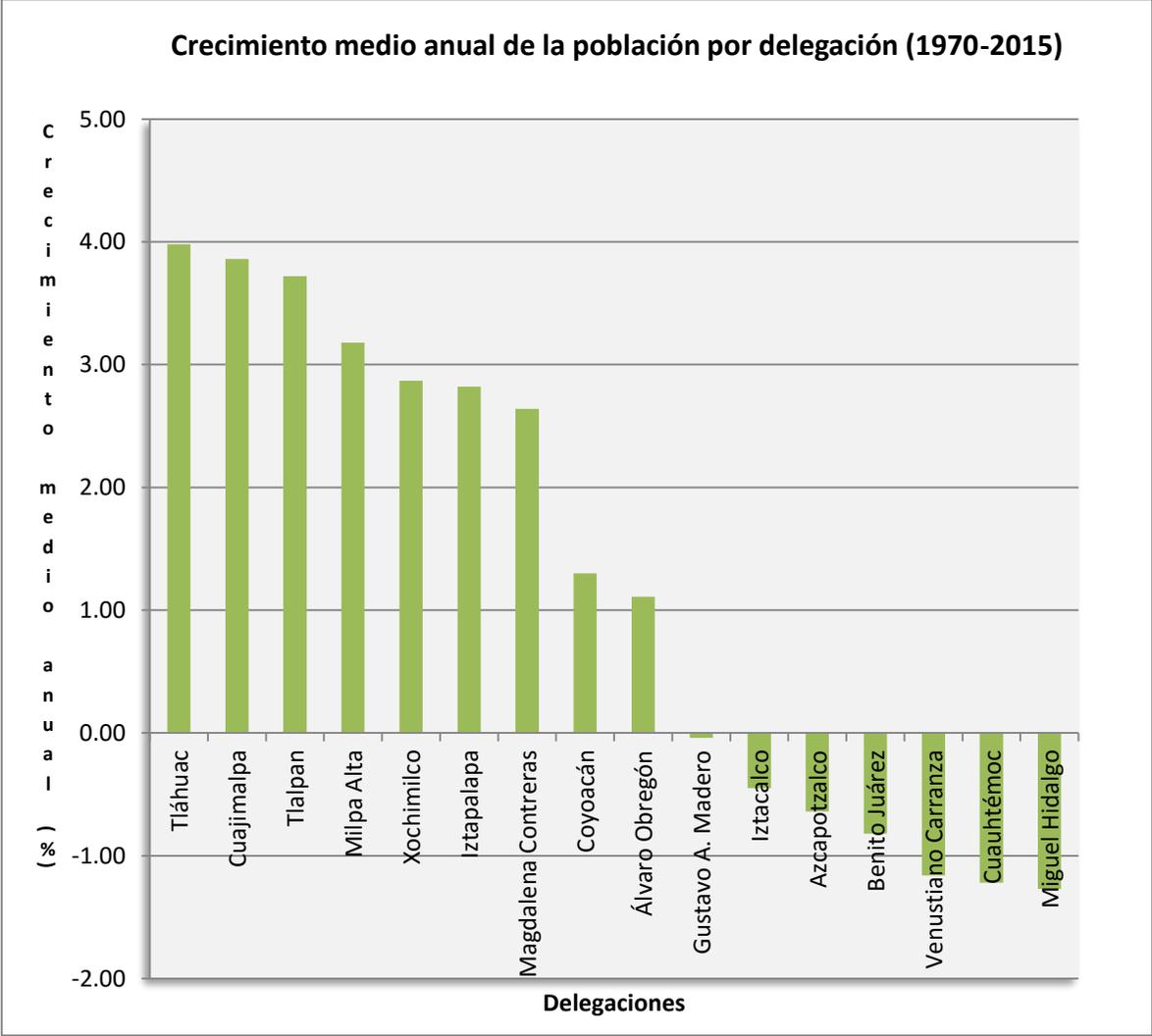
Figura 19. Extensión de la mancha urbana de la Ciudad de México de 1950 a 2010



Fuente: SACMEX (2012). Recuperado el 2 de agosto de 2017 a partir de:
http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/EIGranRetodelAgua_enla_CiudadMexico.pdf

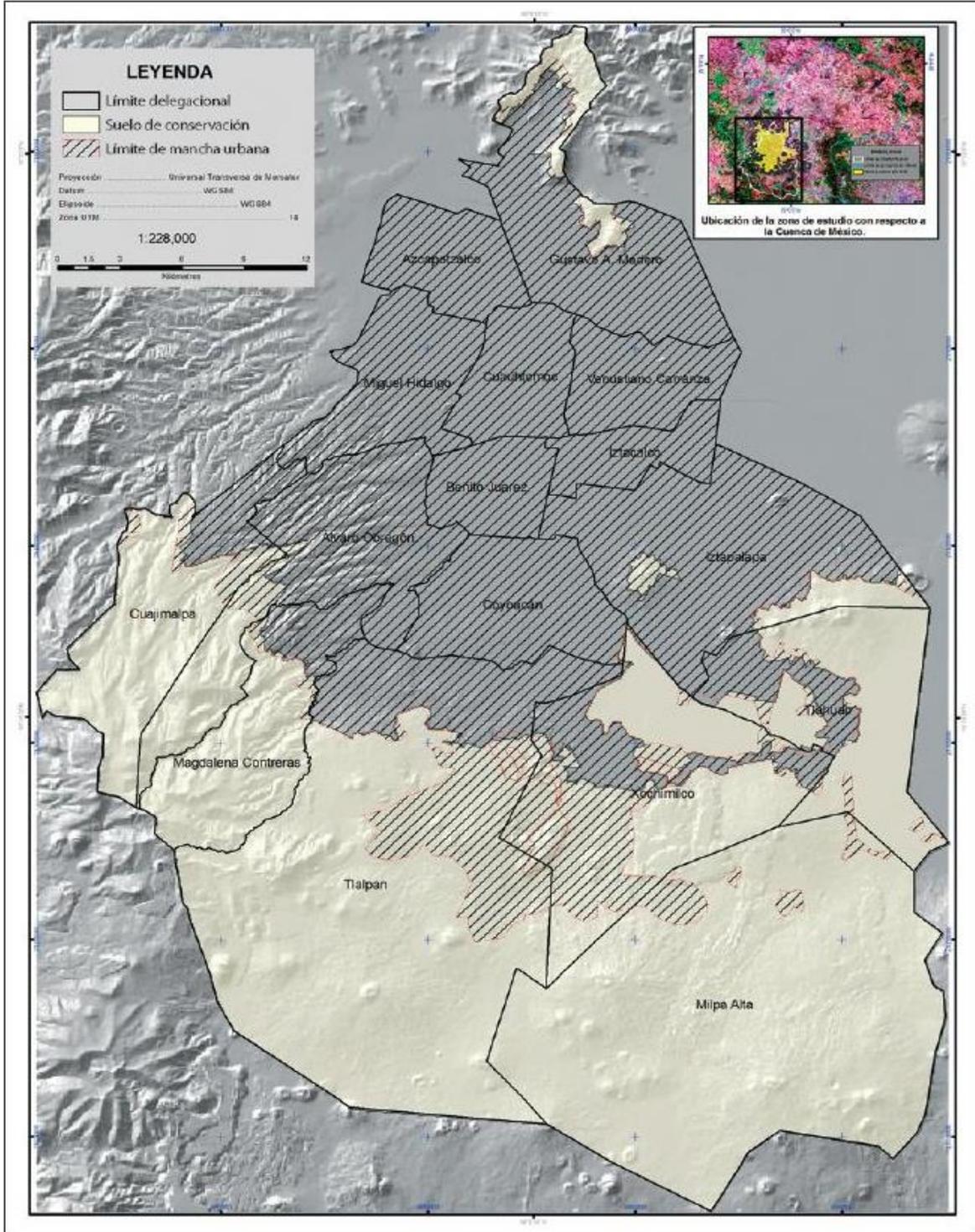
Por otra parte, en la Gráfica 3 y el Mapa 16 puede observarse cómo la mayoría de las delegaciones que presentaron altas tasas de crecimiento medio anual de la población entre 1970 y 2015, incluyendo Xochimilco (5° lugar con una tasa de 2.87%), se encuentran parcial o totalmente al sur de la Ciudad de México y forman parte de la denominada zona de conservación.

Gráfica 3. Crecimiento medio anual de la población por delegación para el período 1970-2015



Fuente: Cálculo y elaboración de la gráfica propios a partir de: a) período 1970-2010 (López *et al.*, 2014); b) 2015: Sitio web del INEGI. Recuperado el 23 de agosto de 2017 a partir de: http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=097

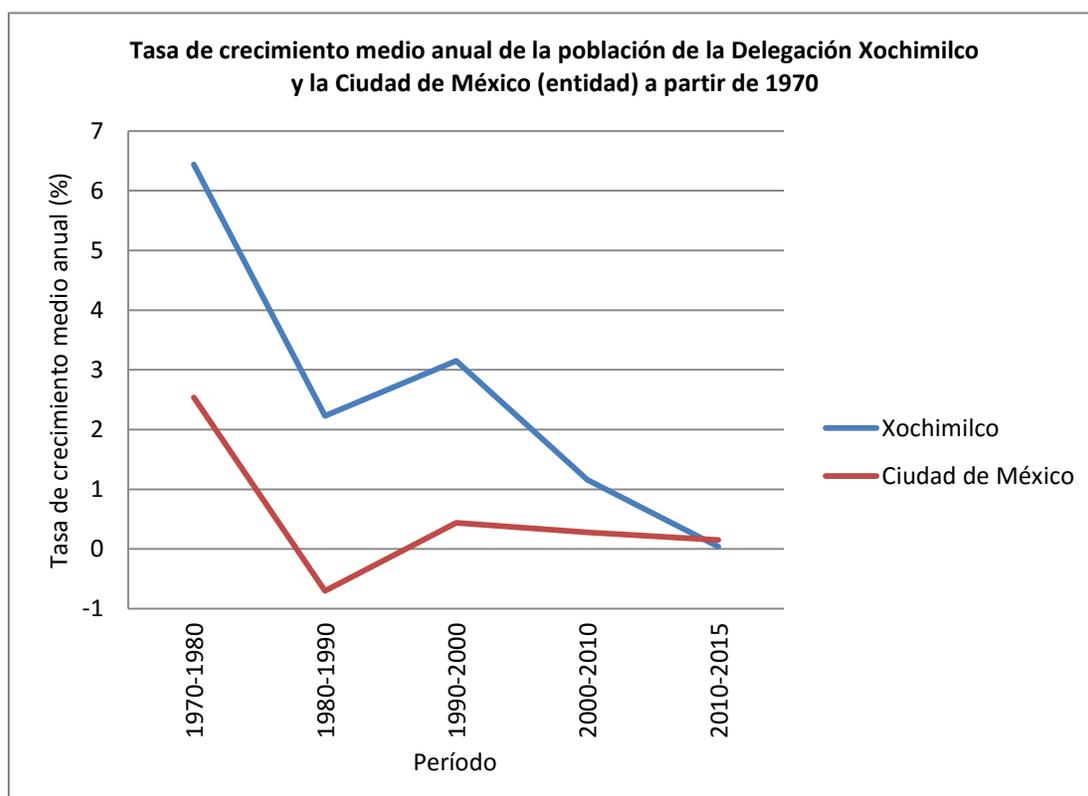
Mapa 16. Avance de la mancha urbana sobre el suelo de conservación de la Ciudad de México (entidad)



Fuente: Cram, Cotler, Morales, Sommer y Carmona (2008). Recuperado el 3 de septiembre de 2017 a partir de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56911123006>

Asimismo, en la Gráfica 4 se puede ver cómo la Delegación Xochimilco y la Ciudad de México (entidad) han mantenido tendencias de crecimiento demográfico relativamente paralelas entre sí. En ambos casos la tasa de crecimiento medio anual de población alcanzó sus niveles más altos entre 1970 y 1980 (cabe recordar que Calderón y Rodríguez (1986) estimaron que durante la década de los setenta pudo haber comenzado el descenso de la población del ajolote mexicano en su hábitat), siendo la tasa de Xochimilco alrededor de 2.5 veces mayor que la propia de la capital del país para dicho período. A partir de entonces, ambas tasas decrecieron gradualmente (a excepción de la década de 1990 en que crecieron nuevamente) hasta alcanzar valores cercanos al crecimiento nulo durante el período 2010-2015.

Gráfica 4. Crecimiento medio anual de la población de la Delegación Xochimilco y la Ciudad de México (entidad) a partir de 1970



Fuente: Cálculo y elaboración de la gráfica propios a partir de: a) período 1970-2010 (López *et al.*, 2014); b) 2015: Sitio web del INEGI. Recuperado el 7 de septiembre de 2017 a partir de: [http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=](http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=09)

En ese sentido, otro claro ejemplo del incremento demográfico suscitado en la delegación Xochimilco es el experimentado en San Gregorio Atlapulco (uno de los pueblos más grandes localizados dentro del polígono del ANP aludida), durante el período comprendido entre 1970 y 1990 (es decir, previo a la Declaratoria de Área Natural Protegida), el cual fue de 2.28%, pasando de 24,700 a 38,736 habitantes en un lapso de 20 años (PAOT, 2012), lo que significa una ganancia de más de 14,000 habitantes.

En resumen, la demarcación en cuestión ganó cerca de 300,000 habitantes en un período de 45 años (1970-2015), es decir que su población creció poco más de 3.5 veces; no obstante, entre 2010 y 2015 sólo se sumaron poco más de 900 habitantes a su población total. Lo anterior refleja un marcado descenso de la tasa de crecimiento medio anual de la población de Xochimilco en los últimos años (siendo incluso inferior a la de la Ciudad de México), debido principalmente a la disminución de su tasa global de fecundidad y al aumento de la emigración, lo cual podría tener implicaciones benéficas en el hábitat del ajolote mexicano de mantenerse o mejorar esta tendencia.

Por otro lado, con relación a la urbanización del ANP, el desmesurado avance de la Ciudad de México, iniciado hace aproximadamente medio siglo, aunado a las modificaciones realizadas durante la época colonial, propició que más de 85% del lago de Xochimilco fuera drenado y rellenado (CONABIO, 2011). Actualmente, los remanentes se encuentran notablemente amenazados debido a la presión que los asentamientos humanos (muchos de ellos irregulares³⁸) ejercen, principalmente en los límites de su polígono (GODF, 2006), donde, por cierto, no existe la señalización adecuada que indique donde empieza o termina éste (PAOT, 2012). Hacia 2008 los asentamientos humanos irregulares, de diversa antigüedad y grado

³⁸ Los Asentamientos Humanos Irregulares son “los núcleos de población ubicados en áreas o predios fraccionados o subdivididos sin la autorización correspondiente, cualquiera que sea su régimen de tenencia de la tierra” (D.O.F., 2017: 2).

de consolidación, ocupaban alrededor del 7.1% de la superficie del ANP³⁹ (178 hectáreas) (PAOT, 2008) y estaban concentrados principalmente en San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco y la cabecera de la delegación Xochimilco, es decir, al suroeste, sur y sureste del polígono, en zonas mayormente destinadas, en teoría, a la agricultura en chinampas y de temporal (GODF, 2006). En la Figura 20 puede observarse la localización de dichos asentamientos en el ANP “Ejididos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, así como dos polígonos, el primero de los cuales hace referencia al decretado oficialmente en 2006, mientras que el segundo, no oficial, alude al ANP en concreto, excluyendo los asentamientos irregulares que se hallan actualmente dentro de ésta.

Figura 20. Polígono decretado del ANP “Ejididos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” y redimensionado en función de los asentamientos humanos irregulares



Fuente: PAOT 2008.



Fuente: PAOT (2008). Recuperado el 14 de septiembre de 2017 a partir de:
<http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-01-2008.pdf>

³⁹ Cabe mencionar que de las delegaciones que forman parte del suelo de conservación de la Ciudad de México, Xochimilco ocupaba, durante el período 2008-2011, el primer lugar en el número de asentamientos humanos irregulares, con 314 (poco más del 36% del total) (GDF, 2012).

La proliferación desmesurada de los asentamientos humanos irregulares dentro de dicha ANP se debe en gran medida a la especulación⁴⁰ inmobiliaria, la invasión de terrenos, la ambigüedad de la tenencia de la tierra y la construcción hormiga (tipo de construcción clandestina que es realizada de manera gradual para evitar su detección por las autoridades) (CONANP, 2004; GODF, 2006). Lo anterior persiste pese a que en el Reglamento del Acuerdo previamente citado se señala lo siguiente:

“Regla 30.- En el ANP queda prohibido:

- I. Realizar prácticas de cambio de uso del suelo;
- II. El establecimiento de cualquier asentamiento humano y la expansión territorial de los existentes;
- V. Alterar o destruir los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de las especies silvestres” (GODF, 2006: 37).

En ese sentido, dichos asentamientos no sólo han propiciado la degradación ecológica del sitio (a través de la contaminación del agua y del acuífero subterráneo, la alteración de las condiciones naturales, la disminución de la infiltración, etc.) (CONANP, 2004; GODF, 2006; SACMEX, 2012), sino que también han implicado cambios en el uso de suelo (principalmente de agrícola de temporal y de chinampa a habitacional y comercial) (GODF, 2006; Contreras *et al.*, 2009; PAOT, 2012) y coadyuvado a la pérdida y fragmentación del hábitat del ajolote mexicano (y, por ende, amenazado su sobrevivencia) (Zambrano *et al.*, 2003; Contreras *et al.*, 2009; Zambrano *et al.*, 2010).

Por otra parte, cabe destacar que los cambios en el uso de suelo en el ANP no sólo se han derivado de la intensa urbanización que ésta ha experimentado, sino

⁴⁰ “Operación comercial que se practica con mercancías, valores o efectos públicos, con ánimo de obtener lucro” (en este caso con las viviendas) (Diccionario de la Real Academia Española. Recuperado el 16 de septiembre de 2017 a partir de: <http://dle.rae.es/?id=GXWb0EB>).

que también se han producido debido a los cambios en las actividades productivas. Ello se debe en gran medida al abandono de la actividad agrícola en el ANP, especialmente la realizada en la zona chinampera, lo cual se atribuye a dos factores principales: **1) baja en la productividad y rentabilidad de las chinampas** ocasionada por la disminución de la calidad del agua, el hundimiento diferencial de la zona y la consecuente inundación de la zona chinampera (calculada en unas 350 ha.), la gradual pérdida de la fertilidad de los suelos debido al aumento de la erosión, la contaminación y la salinidad y sodicidad en éstos (esto último se deriva principalmente del vertido de aguas negras semitratadas al sistema lacustre y el desecamiento de canales), así como la falta de apoyos económicos, capacitación técnica, y programas y acciones encaminados a la conservación de la zona chinampera; y **2) cambios culturales entre la población local** motivados por la pérdida de tradiciones, la falta de interés por conservar el medio ambiente, la precarización del nivel de vida de los habitantes y el acercamiento de éstos hacia las actividades terciarias como el comercio, en detrimento de las primarias (CONANP, 2004; GODF, 2006; PAOT, 2012).

Lo anterior se refleja en el escaso aprovechamiento de la superficie de uso agrícola del ANP (aproximadamente un 15% del total) (CONANP, 2004; GODF, 2006), lo cual incluye la drástica disminución en la extensión ocupada por las chinampas productivas, que pasó de alrededor de 70 km² a sólo una cuarta parte (PAOT, 2012).

En ese contexto, la agricultura de temporal, de riego y en chinampas del ANP referida ha sido sustituida gradualmente por la realizada en invernaderos (PAOT, 2012) y a pesar de que las técnicas agrícolas también contribuyen al deterioro ambiental del ANP debido a la contaminación que genera el uso de agroquímicos, y a la pérdida y fragmentación del hábitat de diversas especies causadas por el desecamiento y rellenado de canales para su empleo como tierras de cultivo (Molina, 2010), así como por la creación de espacios abiertos y caminos (GODF, 2006), la agricultura llevada a cabo en invernaderos, por otra parte, además del

impacto ambiental que implica, altera directamente el hábitat de diversas especies acuáticas (a través de la pérdida y fragmentación de éste), incluyendo el del *A. mexicanum*, debido al cierre de canales y zanjas, derivado de la construcción de la infraestructura apropiada para dicha actividad (CONANP, 2004; GODF, 2006); asimismo, cabe señalar que la presencia de invernaderos, al igual que la de los asentamientos urbanos y otros factores, podría estar condicionando la distribución geográfica del ajolote mexicano, ya que suele concentrarse lejos de éstos (Contreras *et al.*, 2009, citado por Valiente, Tovar, González, Eslava y Zambrano, 2010).

En ese sentido, las malas prácticas agrícolas persisten en el ANP, pese a la existencia del Reglamento de 2006, que en torno a esta problemática señala lo siguiente:

“Regla 21.- La agricultura se realizará mejorando técnicas y prácticas que incrementen la productividad, minimizando el impacto negativo al medio ambiente y de acuerdo a las disposiciones normativas aplicables.” (GODF, 2006: 35) (*Como se mencionó, la productividad agrícola de los invernaderos supera a la propia de las técnicas tradicionales, pero el impacto ambiental que éstos generan es mayor*).

En concreto, con relación a estos últimos se indica que:

“Regla 22.- En el caso de los invernaderos, la permanencia, establecimiento o ampliación, estará sujeta a las siguientes condiciones:

- I. La superficie del invernadero no debe exceder al 50% del terreno, debiendo destinar la restante a la producción a cielo abierto;
- II. Su instalación y construcción será en terrenos con pendiente suave, que no implique el desmonte o daño de la vegetación por cualquier método;
- III. No implique la modificación y cierre de cauces naturales, canales y obras hidráulicas. En las prácticas agrícolas se fomentará el diseño de sistemas alternativos de riego que incorporen la captación e incorporación de agua

pluvial a los sistemas productivos para reutilización o filtración del agua al subsuelo;

- IV. Evitar la presencia de todo tipo de desechos y basura dentro y fuera del invernadero.” (GODF, 2006: 35) *(A pesar de lo anterior se ha reportado que la alteración, obstrucción y desecamiento de cauces, así como el empleo de agua potable y la contaminación mediante residuos tóxicos, derivado de las prácticas agrícolas en invernaderos, siguen presentándose de manera cotidiana dentro del ANP).*

Ahondando en lo señalado en la Regla 22, en el Acuerdo se establece que:

“Regla 30.- En el ANP queda prohibido (en las tres zonas que la constituyen):

- IX. El uso del agua potable para el riego de las áreas agrícolas y para la acuicultura;
- XII. Interrumpir, desviar, rellenar o desecar canales o cuerpos de agua en forma permanente y sin previa autorización;
- XV. Las emisiones de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, así como el depósito o disposición de residuos.

Regla 31.- Previamente a la realización de obras y actividades y en un plazo no menor a quince días hábiles, se deberá dar aviso por escrito a la Dirección General, en los siguientes casos:

- V. Cierre temporal de canales o zanjas.” (GODF, 2006: 37-38) *(Lo estipulado en el Reglamento mencionado no suele coincidir con la realidad del ANP, por lo que más que un reglamento parece una serie de recomendaciones, lo cual contribuye no sólo al deterioro del sitio, sino que también afecta de manera directa al hábitat y, por ende, la supervivencia del ajolote. Asimismo, tampoco parece haber sido evaluado el efecto que el cierre temporal de canales pudiera*

tener en especies vulnerables como ésta). Por último, respecto a la denuncia en materia ambiental se señala lo siguiente:

“Regla 49.- Toda persona podrá denunciar ante las autoridades ambientales todo hecho, acto u omisión que genere o pueda generar daños a los recursos naturales y a la infraestructura existente en el ANP, de conformidad con las disposiciones legales aplicables.” (GODF, 2006: 40) *(Tras más de diez años de la entrada en vigor del Acuerdo que contiene el Reglamento mencionado, la situación del ANP no ha mejorado y, en algunos casos, como el estado de conservación del A. mexicanum, ésta ha empeorado, por lo que las disposiciones en cuestión de poco o nada han servido, ya sea porque la gente no denuncia o porque las autoridades correspondientes no cumplen con su deber).*

Por otra parte, cabe destacar que además de la agricultura, especialmente la de invernadero, otras actividades económicas como la ganadería y el turismo propician la modificación y el deterioro del hábitat del ajolote mexicano, al mismo tiempo que condicionan su distribución geográfica. La sustitución pecuaria de las zonas agrícolas del ANP, especialmente la desarrollada en chinampas, afecta a la especie mediante la destrucción de su hábitat (pérdida y fragmentación), ya que los agricultores han desecado pantanos del ANP para evitar pérdidas de ganado debido principalmente a la recurrente escasez de agua en la zona (PAOT, 2012); mientras que la actividad turística, como ya se mencionó, ha deteriorado considerablemente el hábitat del ajolote a través de la contaminación que genera a lo largo del sitio (incluyendo la zona chinampera) y, en consecuencia, condiciona la distribución geográfica de éste al alejarlo de las zonas menos limpias.

En resumen, los cambios en el uso de suelo del ANP, originados por el proceso de urbanización dentro y fuera de ésta, así como la gradual sustitución de las actividades productivas en la zona (especialmente de agricultura en chinampas a la realizada en invernaderos) propician la pérdida y fragmentación del hábitat del ajolote mexicano, a pesar de la existencia de un reglamento que, en teoría, regula

las actividades que se realizan en el ANP. Además, cabe destacar que pese a que aparentemente los canales y apantles que aún no han sido cerrados se encuentran todavía interconectados entre sí, la realidad es otra en muchos de éstos, ya que al no ser desazolvados acumulan grandes cantidades de lodo y sedimentos que terminan por restarles profundidad, lo cual en el caso del ajolote es sumamente perjudicial, ya que, como se mencionó, se trata de una especie que habita en el fondo de los canales y cuerpos de agua, por lo que aquellos cuyo lecho se ha vuelto somero resultan inhabitables para el anfibio, lo cual deriva en el agravamiento de la fragmentación de su hábitat (Sr. Dionisio Eslava, comunicación personal, 04-06-18)

Finalmente, aunado a lo señalado anteriormente, la fragmentación del hábitat del *A. mexicanum* tiene diversas implicaciones en la especie a nivel biológico como la alteración de la dinámica de su población, problemas de competencia intraespecífica, dificultad para hallar pareja, reducción del flujo genético y mayor propensión a la extinción (Contreras *et al.*, 2009).

Capítulo 4. Acciones de conservación del ajolote mexicano

Las diversas acciones de conservación que se han implementado en torno al ajolote mexicano, a nivel nacional e internacional, se han ejecutado tanto de manera directa como indirecta. Las acciones directas, entre las que figuran la reproducción en cautiverio y en criaderos, la creación de refugios (también llamados santuarios o albergues), la erradicación de especies exóticas de los cuerpos de agua donde éste vive y la liberación o reintroducción de ejemplares en su hábitat o fuera de éste, se centran en rescatar propiamente a la especie de la extinción; mientras que las indirectas, como la rehabilitación del hábitat del anfibio mediante la disminución de la contaminación, la regulación del turismo y la concientización de la población local y de los turistas con relación al cuidado del ANP y del estado de conservación de la especie (educación ambiental), se enfocan en mejorar las condiciones ambientales del entorno que rodea al ajolote. A continuación se analiza cada una de estas propuestas, desde sus orígenes hasta el éxito que han tenido, así como su relación con la dimensión espacial.

4.1 Reproducción en cautiverio con fines de investigación y reintroducción

Como se mencionó en el capítulo 2, a raíz del agravamiento del estado de conservación del *Ambystoma mexicanum* en las últimas décadas, diversas organizaciones públicas y privadas de México y del resto del mundo se han abocado a la reproducción (en ocasiones masiva) de dicha especie en cautiverio, ya sea en el laboratorio o en criaderos emplazados en un ambiente natural o seminatural. En ese sentido, mientras que las colonias o granjas internacionales erigidas en países desarrollados de Europa, Asia y América del Norte tienen como principal finalidad evitar la extinción del anfibio, así como el estudio del potencial de dicha especie como recurso natural en diversos campos como la medicina (Stephan y Ensástigue, 2001), a nivel nacional, diversas instituciones educativas como la UNAM (principalmente mediante el Laboratorio de Restauración Ecológica

del Instituto de Biología y la FES Iztacala) y la UAM (a través del CIBAC) no sólo realizan investigaciones científicas en torno al ajolote, sino que a la par de organizaciones no gubernamentales como el Umbral Axochiatl y el Parque Ecoturístico Chinampero “Michmani”, han realizado reintroducciones controladas de ejemplares con fines experimentales y/o de repoblamiento de los canales de Xochimilco (especialmente en la zona chinampera), tras su respectivo cultivo en cautiverio.

En este aspecto destacan diversos proyectos por sus características y/o trascendencia, como el denominado “Conservación del ajolote (*Ambystoma mexicanum*) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco”, realizado entre octubre de 1996 y enero de 1998 por el “Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco”, bajo el auspicio de la CONABIO, el cual pretendía introducir ejemplares de ajolote mexicano criados en cautiverio en diversos cuerpos de agua del Parque Ecológico de Xochimilco; sin embargo, pese a los esfuerzos realizados a lo largo de esta iniciativa, incluyendo también la erradicación de más de mil ejemplares de carpa, la siembra de los ajolotes criados en cautiverio no se concretó debido a que no se obtuvo el número de individuos deseados (Otto, 1999; Stephan y Ensástigue, 2001; CONABIO, 2011).

De igual modo, en los años subsiguientes destacaron programas como el llevado a cabo por el Umbral Axochiatl desde 2006, el cual ha consistido en la liberación de cientos de ajolotes, criados en cautiverio, en los canales de Xochimilco, principalmente en el de Apatlaco (Montes, 2012). El Sr. Eslava (com. pers.) menciona que entre los factores más importantes que han influido para elegir éste como el principal canal para realizar sus liberaciones están la “relativa buena calidad del agua, una profundidad aceptable, una turbidez considerable, la escasez de asentamientos humanos irregulares en sus proximidades, así como el hecho de estar en plena zona chinampera”; sin embargo, el representante de dicha organización señala que en las liberaciones de ajolotes que se han realizado en otros canales la elección puede basarse en el simple aspecto de éstos y su entorno, o como también lo llama “a ojo de buen cubero”.

No obstante lo anterior, a pesar de que las introducciones de ejemplares fueron exitosas, y de los intentos por parte de la organización de promover la conservación de la especie y la educación ambiental, ésta recibió críticas debido a que un sector de la comunidad científica afirma que dichas “siembras” carecen de fundamentos científicos, además de que ponen en riesgo el equilibrio ecológico al incrementar la posibilidad de transmisión de enfermedades (Von Bertrab, 2013), por lo que no se recomiendan mientras el ecosistema se encuentre dañado (Montes, 2012). A pesar de ello, el Umbral Axochiatl hizo caso omiso de las recomendaciones emitidas por los científicos, alegando que dichas reintroducciones son benéficas para la especie y el medio ambiente en general, por lo que la asociación ha continuado liberando ajolotes hasta la fecha (Von Bertrab, 2013; Sitio web del Umbral Axochiatl; Sr. Eslava, com. pers.).

En ese sentido, el CIBAC, fundado en 1994 y considerado como el único espacio en el mundo dedicado a la producción masiva de crías de ajolote mexicano en el mundo (entre 3,000 y 5,000 individuos anualmente), también ha llevado a cabo liberaciones de ejemplares a lo largo del Sistema Lacustre de Xochimilco, destacando por su volumen las realizadas en 2013, en las cuales 2,800 individuos de *A. mexicanum* fueron introducidos, en colaboración con la SEMARNAT, en diversos canales y cuerpos de agua controlados de Xochimilco, especialmente en el Lago de Conservación de Flora y Fauna (también llamado Lago de Conservación de San Gregorio Atlapulco) (Flores, 2013; El Universal, 2015c; UAM, 2016). La selección de los sitios para introducir a los organismos se basó en su aislamiento respecto a otros cuerpos de agua y canales, las restricciones a su acceso, una calidad del agua aceptable y una densidad menor de especies exóticas⁴¹. En ese sentido, también se han realizado liberaciones en diversos canales, como el de Apampilco, y apantles localizados en la zona chinampera del ANP (Flores, 2013), la cual, como ya se mencionó, es una zona ideal para los ajolotes debido principalmente a las favorables condiciones del agua y una menor presencia de asentamientos humanos irregulares.

⁴¹ Cabe señalar que antes de esta inserción no había ajolotes en el mencionado lago (Flores, 2013); sin embargo, ello no convierte al anfibio en una especie exótica debido a que dicho cuerpo de agua forma parte del área de distribución original de la especie.

A pesar de que en los años subsiguientes el CIBAC continuó realizando introducciones, éstas cesaron en 2015 ya que el proyecto era experimental (reproducción y desarrollo) y no con fines de repoblamiento (González, 2016; Vance, 2017; Dr. José Antonio Ocampo, comunicación personal 05-12-17). Algunos de los individuos (marcados con un tatuaje blanco) que lograron adaptarse y sobrevivir a la depredación fueron capturados para su evaluación en el laboratorio y se constató que su desarrollo era adecuado (Flores, 2013; La Crónica de Hoy, 2014).

El CIBAC, en alianza con investigadores de la Universidad de Kent, Inglaterra, también ha realizado labores de educación ambiental entre los chinamperos y turistas para dar a conocer la importancia del ajolote a nivel cultural y biológico, con el fin de convertirlo en una “especie bandera”⁴² dentro de la conservación en Xochimilco (Von Bertrab, 2013).

Adicionalmente, otras organizaciones y dependencias que han materializado sus planes de reintroducción del ajolote en su hábitat natural son: la Comisión de Recursos Naturales (CORENA) de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), la cual trabajó en conjunto con propietarios de las chinampas del ANP señalada en el año 2011 (Pantoja, 2011); la delegación Xochimilco, que liberó 40 ejemplares de *A. mexicanum* en los canales de Cuemanco, Apatlaco y la Draga en marzo de 2014 (El Universal, 2014); así como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual introdujo 500 ajolotes, algunos de ellos con un microchip implantado para su monitoreo, en el Lago de Conservación de Flora y Fauna de Xochimilco, con el apoyo de estudiantes de la Licenciatura en Biología de la UNAM y de los habitantes de la zona (Milenio, 2015).

No obstante lo anterior, gran parte de la comunidad científica y académica, a diferencia de diversas ONG’s, está en contra de las liberaciones no controladas en los canales y cuerpos de agua de Xochimilco por varias razones; es más, incluso

⁴² Una especie bandera es aquella que se considera simpática o carismática y debido a ello se fomenta la recaudación de donativos y la concientización en torno a su conservación. En el caso del ajolote, algunos especialistas no solamente la consideran como una especie bandera sino como una “especie paraguas”, ya que se ha observado que al preservarlo se protege de manera indirecta a otras especies que coexisten con el anfibio en su hábitat (Servín, 2011).

algunas universidades y organizaciones que previamente llegaron a realizarlas dejaron de hacerlo debido a los numerosos argumentos emitidos por organismos y expertos especializados en el rescate del ajolote, como el GIA-X (Von Bertrab, 2013).

En ese sentido, quienes se oponen a dichas introducciones o siembras alegan que la liberación de organismos criados en cautiverio de *A. mexicanum* dentro de los cuerpos de agua de Xochimilco no se recomienda debido a diversos factores adversos como la transmisión de enfermedades, el surgimiento de problemas genéticos en la especie (especialmente la reducción de la variabilidad genética), el deterioro del ecosistema acuático (mala calidad del agua, avance del proceso de urbanización; proliferación de especies exóticas, cadena trófica rota, etc.), así como el desplazamiento de individuos nativos (Zambrano *et al.*, 2010; CONABIO, 2011; Servín, 2011; Von Bertrab, 2013; González, 2016). Es por ello que se considera que mientras las principales amenazas al hábitat del anfibio no sean mitigadas, las introducciones resultarían contraproducentes para la especie y el ecosistema en general (Zambrano *et al.*, 2010; Servín, 2011; Mena y Servín, 2014); asimismo, autores como Valiente *et al.* (2010) mencionan que dichas introducciones serían de poca utilidad para incrementar las poblaciones de ajolote en Xochimilco, mientras que Von Bertrab (2013) argumenta que debido a que las etapas tempranas de desarrollo del anfibio (huevecillos y larvas) son las más cruciales para su sobrevivencia en estado silvestre, es poco útil introducir individuos adultos, además de que la liberación de huevecillos también resulta poco rentable por la presencia de depredadores y la relativa escasez de plantas subacuáticas.

4.2 Habilitación de refugios en Xochimilco y *ex situ*

A diferencia de las reintroducciones antes mencionadas, los refugios creados dentro y fuera de los canales de Xochimilco para evitar la extinción del ajolote mexicano se caracterizan por estar planeados en sitios específicos y por poseer límites estipulados por el ser humano, además de que los individuos de la especie en cuestión suelen estar en jaulas o restringidos por filtros artificiales para evitar la

entrada de especies nocivas y para mejorar la calidad del agua. Detrás de estos refugios, de reciente creación, se encuentran instituciones como la UNAM, a través del Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología y diversas organizaciones no gubernamentales como Restauración Ecológica de Desarrollo (REDES), diversos zoológicos de la Ciudad de México, entre otras, las cuales, generalmente, trabajan junto con los habitantes de la zona, especialmente aquellos quienes trabajan las chinampas que aún quedan dentro del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. A continuación se ahonda en algunos de los programas y soluciones propuestos por los entes mencionados, así como la relación que éstos guardan con la dimensión espacial.

4.2.1 Refugios dentro de los canales de Xochimilco

Ante la crítica antes señalada en torno a las “siembras”, tildadas de irresponsables y hasta cierto punto inútiles, surgió la alternativa de construir refugios en los canales y apantles de Xochimilco, especialmente los situados en la zona chinampera, la cual, como se mencionó en el capítulo 1, abarca cerca de dos terceras partes del ANP referida. Entre las instituciones y organizaciones que destacan en este rubro se encuentran las siguientes:

4.2.1.1 UNAM

El Instituto de Biología de esta institución, mediante el Laboratorio de Restauración Ecológica (al mando del Dr. Luis Zambrano), ha optado por crear, junto con habitantes de Xochimilco, refugios en los canales, apantles y zanjas que rodean las chinampas remanentes con el fin de conservar al ajolote mexicano en su hábitat nativo. Para ello, se han instalado filtros de bajo costo y mantenimiento (La Crónica de Hoy, 2011) a base de grava de silicio y tezontle, además de colocar vegetación acuática y flotante, como tulares, elodeas y colas de zorro, para aislar a los anfibios de las especies nocivas (peces y aves) y promover el

adecuado crecimiento de los huevos y larvas de la especie (CONABIO, 2011; Von Bertrab, 2013; La Jornada, 2014).

La elaboración de dichos refugios consiste en el retiro de carpas y tilapias de la zona seleccionada y la posterior colocación de los filtros biológicos señalados, aunados a vallas, sacos con piedras y mallas que permitan únicamente el paso de agua de buena calidad. Adicionalmente, cabe señalar que, por el momento, este proyecto es considerado como experimental y no para repoblar los canales del ANP, por lo que solamente son introducidos ejemplares nacidos en cautiverio (específicamente en el Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM), para que los investigadores conozcan su desarrollo dentro de los canales controlados, más limpios debido a la extracción del agua contaminada e introducción de agua de pozo y sin presencia de especies exóticas, así como el funcionamiento de estos refugios para determinar cuáles de sus características son las más apropiadas para la especie (El Universal, 2011; Von Bertrab, 2013; La Jornada, 2014).

En ese sentido, el proyecto piloto de los refugios en canales controlados ha resultado ser, en gran medida, exitoso debido a que no solamente han logrado sobrevivir los ajolotes introducidos (además de otras especies como charales, acociles, diversos insectos, fitoplancton, zooplancton, entre otros) (SEDEMA, 2012; Gutiérrez, 2013; La Jornada, 2014), sino que también han mejorado su salud (la talla y el peso son mayores) y calidad de vida, además de que han conseguido reproducirse (Valiente *et al.*, 2010; Gutiérrez, 2013; La Jornada, 2014). Asimismo, los parámetros físico-químicos del agua (altamente condicionantes en la distribución geográfica del ajolote) han mostrado signos de recuperación, ya que se ha demostrado que tanto la turbidez como los niveles de amonio y nitratos han descendido considerablemente, por lo que la calidad del agua es mejor (Valiente *et al.*, 2010).

Por lo anterior, el programa de refugios se ha extendido desde su concepción en 2009 (Valiente *et al.*, 2010) al pasar de un solo refugio a cinco en 2011 (El Universal, 2011) y a diez, con una extensión de alrededor de 40 metros, para 2013

(Gutiérrez, 2013). La intención de los biólogos y ecólogos de la UNAM no solamente es aumentar el número, sino la extensión de los refugios en los canales del ANP de Xochimilco (Excélsior, 2014; La Jornada 2014) hasta establecer una red de entre 15 y 80 kilómetros de longitud donde los ajolotes puedan vivir en mejores condiciones que las actuales (El Universal, 2011; Gutiérrez, 2013).

Figura 21. Ejemplares de ajolote mexicano en el Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 23 de enero de 2018

En ese sentido, pese a que la localización exacta de los refugios creados por científicos de la UNAM no se ha hecho pública debido a la vulnerabilidad del anfibio (especialmente ante la pesca furtiva) (Sitio web del Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM), es un hecho que los canales controlados no son contiguos, es decir que existe una determinada distancia entre éstos, por lo

cual los refugios, de manera indirecta, contribuyen a la fragmentación del hábitat tanto de los ajolotes nacidos en cautiverio como los silvestres, ya que en ambos casos su hábitat, y por consiguiente su desplazamiento, se encuentra limitado artificialmente; asimismo, a esto se suma el hecho de que algunos ejemplares silvestres de *A. mexicanum* que se encuentran cerca de los refugios han sido introducidos de manera deliberada por los científicos para que crezcan y se reproduzcan en ellos (Gutiérrez, 2013) e, incluso, dicha práctica podría extenderse (El Universal, 2011); sin embargo, la Dra. Alejandra Ramos (comunicación personal, 23-01-18) menciona que las medidas adoptadas por la UNAM han devenido en resultados benéficos para la especie, por lo que la atención debe enfocarse en éstos y no en el fenómeno de la fragmentación del hábitat del ajolote. Adicionalmente, y como argumento a favor del costo-beneficio de la estrategia de la creación de los refugios, y en detrimento de la consecuente fragmentación del hábitat del ajolote y otras especies, podría decirse que este último fenómeno sería únicamente temporal, ya que, de expandirse el programa de refugios - como se tiene previsto -, éstos terminarían por fusionarse, con lo cual volverían a conectarse los canales una vez que se restaure el sistema lacustre.

De igual modo, cabe mencionar que este programa también tiene como finalidad evitar, a largo plazo, la introducción de ejemplares criados en cautiverio (incluyendo los liberados por otras instituciones y organizaciones), debido a los problemas genéticos ocasionados ya mencionados (CONABIO, 2011); sin embargo, por el momento, lo único que los científicos pueden hacer respecto a este tema es impedir que se introduzcan hermanos gemelos a los refugios, ya que éstos son menos competitivos, además de que contribuyen a la pérdida de la variabilidad genética de la población silvestre de ajolotes (Valiente *et al.*, 2010; Excélsior, 2014; La Jornada, 2014; Dra. Ramos, com. pers.).

Finalmente, debe hacerse hincapié en que el programa de refugios, de tener éxito y continuidad, pasaría a manos de los chinamperos, quienes establecerían refugios a lo largo de sus parcelas, lo cual también representaría un beneficio para

ellos y no solamente para el anfibio⁴³, ya que se pretende impulsar la venta de los productos agrícolas cultivados en las chinampas donde se establezcan refugios para el ajolote mexicano (Valiente *et al.*, 2010; El Universal, 2011); sin embargo, para que esto suceda, científicos de la UNAM trabajan en persuadir a los productores de la chinampas para que eviten el uso de plaguicidas y fertilizantes (Excélsior, 2014; La Jornada, 2014).

4.2.1.2 Otras organizaciones

De manera paralela a las liberaciones de ajolotes que la organización Umbral Axochiatl ha realizado en los últimos años en los canales del ANP de Xochimilco, ésta también se ha abocado a la creación de santuarios en canales controlados de la zona chinampera del sistema lacustre, al igual que la organización no gubernamental denominada Restauración Ecológica y Desarrollo (REDES), la cual está constituida principalmente por científicos de la UNAM (Von Bertrab, 2013).

En el caso del Umbral Axochiatl⁴⁴, la organización se ha encargado en los últimos años de excavar zanjas entre las chinampas (ver Figura 23) con la finalidad de crear espacios que funjan como refugios para el ajolote y otras especies de peces y anfibios en Xochimilco, aislados de las nocivas tilapias y carpas, y del agua contaminada de los canales aledaños. El Sr. Eslava (com. pers.) comenta que en los próximos tres años la ONG estima introducir hasta 50,000 ejemplares en los refugios y apantles controlados de la zona chinampera del ANP. Los organismos utilizados para dichas siembras son criados en cautiverio en distintos puntos de Xochimilco, como la Granja Didáctica Apatlaco (ver Figura 22), que cuenta con

⁴³ A esta relación se le ha llamado simbiosis chinampa-canal-ajolote o chinampa-refugio), debido a que se impulsa la agrochinampería tradicional y, por ende, la economía de la población local, a la vez que se conserva al ajolote mexicano y se evita la urbanización del ANP en cuestión (Gutiérrez, 2013; Sitio web del Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM).

⁴⁴ El Umbral Axochiatl es una ONG fundada en 1995 localizada en el barrio de la Santísima de la delegación Xochimilco, entre los canales de Apatlaco y Cruztitla, que ha ejecutado diversos proyectos (algunos de ellos en colaboración de algunas universidades) encaminados a rescatar la zona chinampera de Xochimilco y al ajolote mexicano. La organización emplea a voluntarios y biólogos de distintas universidades, y opera con base en donativos, ya que no cuenta con el consentimiento ni el apoyo económico de la delegación Xochimilco (Sr. Eslava, com. pers.).

individuos de diversas edades y con variabilidad genética, lo cual es crucial para la reproducción y supervivencia del ajolote en estado silvestre.

Figura 22. Ejemplares de ajolote mexicano destinados a ser reintroducidos en las zanjas creadas por el Umbral Axochiatl en la zona chinampera



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 4 de junio de 2018 en la Granja Didáctica Apatlaco

Figura 23. Zanja que fungirá como refugio del ajolote en la zona chinampera de Xochimilco creada por el Umbral Axochiatl



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 4 de junio de 2018 en la zona chinampera de Xochimilco

4.2.2 Refugios fuera de Xochimilco

En el rubro de la conservación *ex situ* del ajolote mexicano, escasamente extendida en la actualidad, la UNAM encabeza las acciones en torno a la creación de hábitats alternativos, específicamente en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel (REPSA). Asimismo, el Bosque de Chapultepec posee una población de dicha especie, mientras que en el municipio de Tecámac, Estado de México, en el año 2012 se realizaron investigaciones en un lago artificial para conocer si era apto para la especie (Castello, 2012); sin embargo, ya no hubo reportes acerca de dicho experimento en los años subsiguientes y en el Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM desconocen dicho estudio (Dra. Ramos, com. pers.).

En este contexto, cabe señalar que existen opiniones encontradas en torno a la conservación del anfibio fuera de los canales de Xochimilco, ya que mientras los científicos de la UNAM afirman que el llevar a la especie a otros cuerpos de agua sería como darse por vencidos (no obstante hay que mencionar que al final los biólogos de dicha institución terminaron por ceder al habilitar refugios para el ajolote en Ciudad Universitaria), otros creen que los hábitats *ex situ* para el ajolote son la única manera de salvarlo de la extinción (Castello, 2012).

4.2.2.1 UNAM

Como alternativa, pero no como reemplazo a la habilitación de refugios en los canales de Xochimilco, científicos de la UNAM optaron por lo que ellos denominan su plan "B", que consiste en la creación de un santuario para el ajolote en la REPSA de Ciudad Universitaria (ver Figura 24 y Mapa 17), en la Ciudad de México (Martínez, 2017; Dra. Ramos, com. pers.), localizada a más de 7.5 km de su hábitat nativo. El programa, creado a mediados de 2015 y concebido para un plazo de alrededor de cinco años, inició con la introducción de 10 ejemplares de *A. mexicanum* criados en cautiverio (previamente implantados con un chip para darles seguimiento) en los cuerpos de agua de la Cantera Oriente (19° 19' 03" N,

99° 10' 22.2" W), localizada en la zona de amortiguamiento⁴⁵ de la REPSA de Ciudad Universitaria (Vanguardia, 2015; El Universal, 2015^a; Martínez, 2017).

Figura 24. Localización de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel



Izquierda: Localización del Pedregal de San Ángel (negro) dentro de la Ciudad de México; Derecha: Localización de la REPSA (rojo) dentro de Ciudad Universitaria (amarillo), Fuente: REPSA (2018).

⁴⁵ Las zonas de amortiguamiento de una reserva ecológica o área natural protegida son “áreas sujetas a un uso restringido para protección ambiental, cuya presencia permite reducir el efecto de los disturbios antropogénicos sobre las zonas núcleo” (Lot, 2007:7).

Mapa 17. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel



Leyenda:

Zona	Superficie
Núcleo Protección estricta	171 ha
Amortiguamiento Uso restringido para protección ambiental	66 ha
Superficie total de la Reserva: 237 hectáreas	
Instalaciones no relacionadas con la Reserva	



Universidad Nacional Autónoma de México

Comité Técnico de la Reserva del Pedregal de San Ángel en Ciudad Universitaria



Coordinación de la Investigación Científica



Facultad de Arquitectura



Instituto de Biología



Facultad de Ciencias



Instituto de Ecología



Instituto de Geografía



Instituto de Geofísica

30 de mayo de 2005

Ortomosaico base creado a partir de fotografías aéreas digitales obtenidas el 12 de febrero de 2005

Proyección: UTM
Geode de referencia: GRS80
Datum horizontal: WGS84

Reticula UTM cada 500m



La Cantera Oriente, localizada en el extremo oriente de la REPSA, forma parte de la zona de amortiguamiento. Fuente: REPSA (2018).

En un principio se contemplaba que este proyecto fuera de naturaleza experimental (mediante el monitoreo de la adaptación, reproducción y actividad en general de los ajolotes confinados en jaulas dentro de los cuerpos de agua; la medición de los parámetros físico-químicos del agua; la comparación entre los lagos de la REPSA con los canales de Xochimilco; entre otros aspectos) y que los lagos fueran un hábitat temporal para los ajolotes introducidos, los cuales, una vez concluida la investigación, serían introducidos en los canales de Xochimilco (El Universal, 2015a; El Universal, 2015b; Vanguardia, 2015; González, 2016, Martínez, 2017); sin embargo, los científicos encargados del programa decidieron que este ecosistema fungiría como su morada permanente, aunque, cabe resaltar, los anfibios son constantemente llevados al Laboratorio de Restauración Ecológica para analizar su estado de salud para posteriormente ser reintroducidos en los lagos (Dra. Ramos, com. pers.).

En la actualidad, después de dos años y medio de iniciado el proyecto de los refugios en la REPSA, los investigadores de la UNAM continúan realizando estudios para conocer cuál de los cuatro lagos ubicados en la Cantera Oriente es el más apropiado para el desarrollo de los ajolotes. Dichos cuerpos de agua seminaturales⁴⁶, nombrados arbitrariamente⁴⁷ 1, 2, 3 y 4, de sur a norte (ver Figura 25), por los científicos que encabezan el proyecto, presentan similitudes y diferencias entre sí pese a que se existe poca distancia entre ellos, lo cual implica que algunos sean más o menos favorables para los ajolotes que otros.

La Dra. Ramos (com. pers.) menciona que diversos factores ambientales han contribuido al hecho de que los denominados lagos 2 y 4 sean más propicios para el crecimiento de los ejemplares de *A. mexicanum* introducidos que el resto, como una mejor calidad del agua, una menor presencia de carpas y tilapias, más alimento, menor eutrofización y niveles más adecuados de oxígeno disuelto,

⁴⁶ Los cuatro lagos y el arroyo que conforman la Cantera Oriente de la REPSA son considerados seminaturales debido a que su formación, ocurrida hace aproximadamente 30 años, se debió a la excavación, y posterior inundación causada por las precipitaciones y el afloramiento de agua subterránea, de una porción de ésta para extraer basalto como material de construcción (Lot, 2007; Dra. Ramos, com. pers.).

⁴⁷ La Dra. Ramos (com. pers.) menciona que los lagos de la Cantera Oriente no tienen nombres oficiales, por lo que es usual que los investigadores los llamen de diversas formas.

temperatura y otras propiedades físico-químicas del agua; mientras que, de manera opuesta, aspectos como la profundidad, la forma y el tamaño de los lagos no parecen influir en gran medida. En ese sentido, dicha especialista explica que de los diez ejemplares de ajolote introducidos en la Cantera Oriente, ocho fueron designados al lago 2, el más favorable, y dos al lago 4; sin embargo, durante las primeras fases de la investigación, los anfibios nadaron en los cuatro cuerpos de agua para conocer cuáles eran los más adecuados para ellos.

Figura 25. Lagos de la Cantera Oriente



Fuente: Bing Maps. Recuperado el 6 de marzo de 2018 a partir de: <https://www.bing.com/maps>.

Nota: los números fueron agregados.

Por otra parte, la bióloga señala que el Laboratorio de Restauración Ecológica de la UNAM planea darle continuidad e incluso expandir el programa de los refugios en la REPSA de manera gradual, con lo cual se incrementaría el número de ejemplares de ajolote mexicano y se consolidaría una colonia alterna a la propia de la del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Adicionalmente, menciona que dicha especie no es nociva para el entorno de la Cantera Oriente, debido a que no se considera invasora, pese a que en este caso se trata de una especie introducida y exótica, ya que se encuentra fuera de su área de distribución geográfica original.

4.2.2.2 Bosque de Chapultepec

El Bosque de Chapultepec, localizado al poniente de la Ciudad de México⁴⁸, a 20 kilómetros del sistema de canales de Xochimilco (ver Figura 26), representa otro de los pocos hábitats alternativos del ajolote mexicano⁴⁹. De los tres lagos artificiales que conforman esta importante área verde, el denominado Lago Viejo (1ª sección del Bosque), que es el de mayor extensión con 6 ha., es el único en donde se ha comprobado la presencia de ejemplares de *A. mexicanum*. En ese sentido, pese a que existen similitudes importantes entre este sitio y los canales de Xochimilco, como la significativa presencia de carpas y tilapias, los altos niveles de eutrofización de los lagos debido al vertido de aguas tratadas, así como la alta urbanización de la zona y el empleo de los cuerpos de agua como espacios recreativos, también se presentan diferencias considerables, como la relativa simplicidad y reducidas dimensiones de los lagos, que resultan cruciales para que este sitio sea más fácil de restaurar, de manera que coadyuve a la conservación del ajolote mexicano y al desarrollo de los programas de reintroducción del mismo en otros cuerpos de agua (Recuero, Cruzado, Parra y Zamudio, 2010).

⁴⁸ El Bosque de Chapultepec tiene las siguientes coordenadas extremas: al norte 19° 26' N, al sur 19° 24' N, al oeste 99° 13' W y al este 99° 11' W, y se sitúa a una altitud de 2,240 m.s.n.m. (Recuero *et al.*, 2010).

⁴⁹ El ajolote mexicano se considera una especie exótica en el Bosque de Chapultepec, ya que éste no forma parte del rango de distribución original de la especie (Recuero *et al.*, 2010).

Figura 26. Localización del Bosque de Chapultepec respecto al hábitat natural del ajolote mexicano



El Bosque de Chapultepec (estrella) se halla a unos 20 kilómetros de Xochimilco (círculo) y a 27 del Lago de Chalco-Tláhuac (pentágono). Fuente: Recuero *et al.*, 2010. Recuperado el 15 de marzo de 2018 a partir de: <http://www.annzool.net/PDF/anz47-free/anz47-223.pdf>

Finalmente, cabe señalar que en el Lago Viejo de Chapultepec también se trabaja en la erradicación de las especies nocivas para el ecosistema como la carpa y la tilapia, y en la elaboración de censos de *A. mexicanum*, mientras que en los Lagos Mayor y Menor, localizados en la 2ª sección, se realizan exploraciones para constatar o descartar la presencia de dicha especie; asimismo, se promueve la educación ambiental entre los visitantes del Bosque para concientizarlos acerca de la conservación de la fauna y flora locales (Recuero *et al.*, 2010).

4.3 Restauración / rehabilitación del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”

Al igual que en el caso de la reproducción en cautiverio y la habilitación de refugios, expertos en conservación coinciden en que la restauración del hábitat del

ajolote mexicano, es decir, la zona lacustre de Xochimilco, es crucial para su sobrevivencia, lo cual sólo podrá alcanzarse mediante la mitigación de las principales amenazas al ecosistema (proliferación de especies de fauna y flora exóticas, deterioro de la calidad del agua, avance desmesurado de asentamientos humanos irregulares, entre otras) y la aplicación de diversas medidas ecológicas (educación ambiental para la población local y los turistas, regulación del turismo, biorremediación, etc.) (Valiente, 2006; Zambrano, Vega, Herrera, Prado y Reynoso, 2007; Zambrano *et al.*, 2010; El Universal, 2011; Castello, 2012; Mena y Servín, 2014; González, 2016).

Es por ello que desde el año 1989 se han aplicado diversos programas gubernamentales tendientes a conservar y restaurar el ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, ya sea de manera directa o indirecta (cuando los proyectos abarcan todo el suelo de conservación de la Ciudad de México). Entre éstos destacan el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco (PREX), impulsado en 1989 por el gobierno federal, entre cuyos objetivos estuvieron la creación del Parque Ecológico de Xochimilco, el mejoramiento de la calidad del agua de los canales y cuerpos de agua del ANP, la protección de la agrochinampería, además de la penalización de los asentamientos humanos irregulares en el humedal (Von Bertrab, 2013; Narchi y Canabal, 2017); así como otros planes desarrollados por diversas dependencias federales y del Gobierno de la Ciudad de México, como la SEDEMA, la CORENA y la SEMARNAT, entre los que figuran el “Proyecto de recuperación de la zona lacustre y chinampera de Xochimilco y Tláhuac” y el “Programa de Fondos de Apoyo para la Conservación y Restauración de los Ecosistemas a través de la Participación Social (PROFACE)”, que también buscaron revertir en mayor o menor medida el deterioro ambiental de Xochimilco y de paso coadyuvar a la recuperación de la población silvestre del ajolote mexicano (SEDEMA, 2012).

No obstante lo anterior, y pese a que lo ideal para lograr la recuperación de Xochimilco es que participen de manera conjunta la población local, los turistas y las autoridades locales, estatales y federales (Valiente *et al.*, 2010; El Universal,

2011), el director del LRE del Instituto de Biología de la UNAM, el Dr. Luis Zambrano, menciona que, en la práctica, existe un generalizado desinterés por parte de las autoridades de los diversos niveles del gobierno por asistir en el rescate del ANP en cuestión y del ajolote mexicano, por lo que los científicos están optando por trabajar directamente con los pescadores, los chinamperos y la población nativa de dicha zona para restaurar los deteriorados canales y su respectiva flora y fauna, incluyendo al *A. mexicanum* (El Universal, 2011; Gutiérrez, 2013). En el caso de organizaciones locales como el Umbral Axochiatl, se han comenzado a ofrecer recorridos turísticos distintos a los tradicionales, en los que se centra el enfoque en el medio ambiente; los itinerarios incluyen visitas a las chinampas, la difusión de información relacionada con la educación ambiental y la conservación del ajolote, así como la compra de artículos y servicios a la población local para apoyar su economía (Sr. Eslava, com. pers.).

Por otra parte, el Grupo de Investigación del Ajolote en Xochimilco (GIA-X), conformado por investigadores y estudiantes de diversas instituciones académicas, miembros de asociaciones civiles, profesionistas de diferentes sectores y pobladores de Xochimilco, trabaja desde su fundación, en 2005, en el rescate del anfibio y de su hábitat; sin embargo, aunque dicha agrupación ha contribuido considerablemente en las labores de restauración de Xochimilco, muchos de los resultados obtenidos en dicha empresa han sido mayormente individuales o de una sola organización y sin apoyo del gobierno, por lo que éstos no siempre cumplen con las expectativas (Von Bertrab, 2013). Adicionalmente, cabe mencionar que pese a la existencia de grupos como el GIA-X, aún existe poca coordinación y cooperación entre las diversas partes involucradas en la recuperación de la especie y su ecosistema (Dra. Ramos, com. pers.).

Por otra parte, es preciso señalar que, eventualmente, los canales de Xochimilco terminarían por ser rehabilitados y no restaurados, ya que la restauración de un ecosistema implica “regresar el sistema a las condiciones existentes antes de la perturbación”, lo cual resultaría muy complejo debido a que no es fácil conocer cuáles eran las características originales del Sistema Lacustre, mientras que la

rehabilitación del mismo “consiste en recuperar en mayor o menor grado la estructura y/o la función del sistema, sin pretender llegar a su estado original” (Bradshaw, 2002, citado por Valiente, 2006: 10; Von Bertrab, 2013). En ese contexto, la demanda de los servicios ambientales del ANP de Xochimilco por parte de la Ciudad de México contribuye de manera importante a que la rehabilitación de todo el sistema sea inviable (Valiente *et al.*, 2010).

A continuación se abordan de manera detallada las acciones más trascendentales en la búsqueda de rehabilitar el hábitat nativo del *A. mexicanum*, entre las que se encuentran el control de las poblaciones de especies exóticas en los canales y cuerpos de agua de Xochimilco, el mejoramiento de la calidad de agua de los mismos y la difusión de la educación ambiental entre los habitantes y turistas del ANP.

4.3.1 Reducción / erradicación de especies exóticas de flora y fauna

Científicos de diversas organizaciones e instituciones coinciden en que el control de las poblaciones de especies exóticas de flora (lirio acuático) y fauna (carpa y tilapia) en los canales de Xochimilco es fundamental para rehabilitar el hábitat del ajolote mexicano y salvar a éste de la extinción (Zambrano *et al.*, 2003; Valiente, 2006; Zambrano *et al.*, 2007; Juárez, 2010; Von Bertrab, 2013; Mena y Servín, 2014; Martínez, 2017). El énfasis que se ha puesto en reducir el volumen de los peces y plantas introducidas (también se habla de erradicar, aunque esto parece inviable debido a su capacidad de adaptación y reproducción) desde la década pasada obedece al gran impacto que este factor tiene, como ya se mencionó, en la supervivencia y la distribución geográfica del *A. mexicanum* dentro del ANP (Valiente, 2006). Asimismo, se han llevado a cabo acciones de nivelación de chinampas que buscan contrarrestar la inclinación que éstas han experimentado a raíz del socavamiento que producen los peces exóticos en sus paredes (Pantoja, 2011).

Entre los programas abocados a la disminución de la presencia de especies invasoras y nocivas en los canales de Xochimilco destaca por su relevancia el “Proyecto de restauración de ecosistemas acuáticos mediante la reducción de especies exóticas a través de la pesca intensiva” (PREASPEX), el cual se implementó de mayo de 2004 a mayo de 2008. Dicho plan, considerado como el primero en enfocar sus esfuerzos en esta labor⁵⁰, fue concebido por el Laboratorio de Restauración Ecológica del Instituto de Biología de la UNAM y contó con la colaboración de pescadores locales y el apoyo económico de la delegación Xochimilco (aproximadamente 4.5 millones de pesos).

El PREASPEX arrojó resultados mixtos al cumplir los objetivos planteados de manera parcial, ya que pese a que se logró extraer alrededor de 160 toneladas de peces⁵¹ nocivos para el ecosistema se considera insuficiente para rehabilitar el hábitat y la población del ajolote, además de que existe la posibilidad de que se produzca una propagación o rebote de las poblaciones de especies exóticas de peces. Aunado a esto, el programa enfrentó diversos obstáculos como la dificultad para captar recursos públicos y poder darle continuidad debido a los cambios de administración delegacional, además de la reticencia de los pescadores locales a extraer grandes volúmenes de peces debido a que su sustento depende en gran medida de la venta de la tilapia, aunque eventualmente accedieron a participar en el programa tras ser capacitados en torno a la problemática de las especies exóticas en Xochimilco (Von Bertrab, 2013).

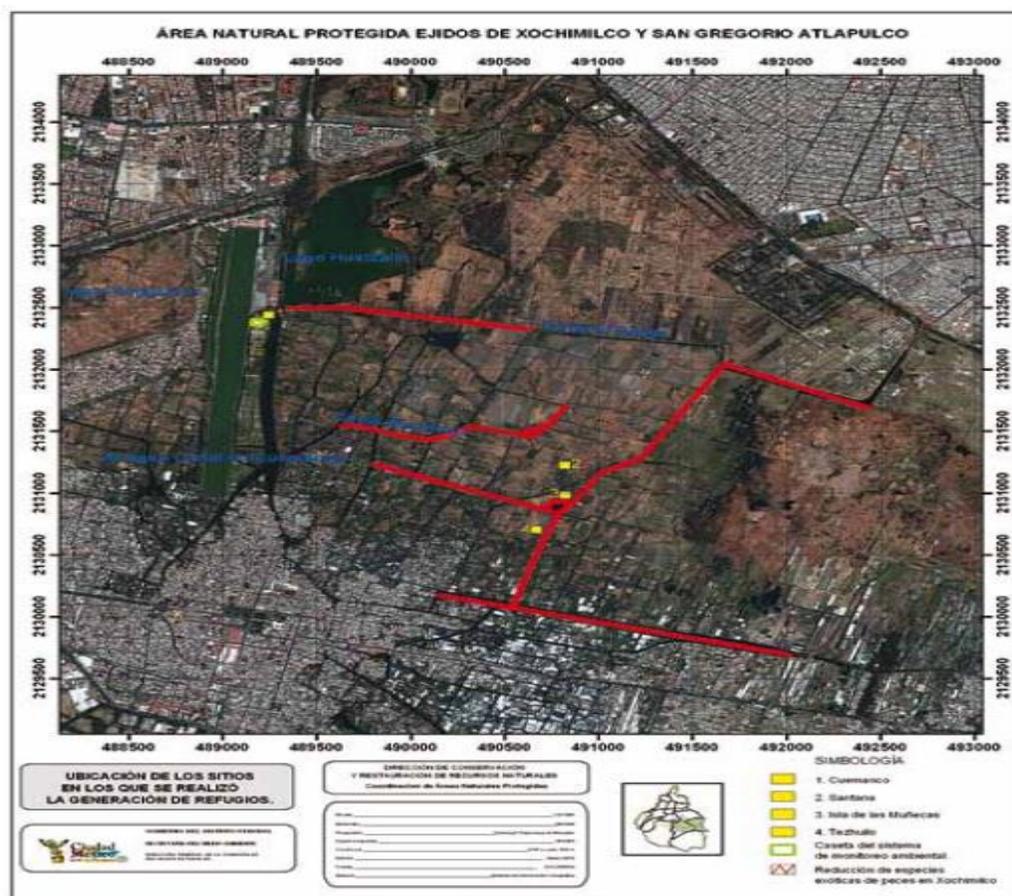
En ese sentido, otro programa digno de mención que incluyó entre sus acciones de restauración el retiro de peces exóticos de los canales del ANP en cuestión, fue

⁵⁰ El PREX, concebido 15 años antes del PREASPEX, no encauzó sus esfuerzos en el control de los peces exóticos en Xochimilco, ya que aún no se había hallado la relación entre éstos y el deterioro del hábitat del ajolote; es más, dicho proyecto promovía la acuicultura debido al abandono de la actividad pesquera en la zona (Von Bertrab, 2013).

⁵¹ Debido al alto grado de toxicidad del pescado extraído durante el programa (a raíz de los elevados niveles de contaminación de los canales y cuerpos de agua de Xochimilco), se optó por molerlo y llevarlo a una planta harinera en la Central de Abasto de la Ciudad de México (Von Bertrab, 2013) - otros usos que se le suelen dar a las carpas y tilapias extraídas de Xochimilco son como composta para las chinampas (Montes, 2012), así como fertilizante orgánico, aunque en este caso también ha habido rechazo debido a su toxicidad (Castello, 2012; Booth, 2012). A nivel local, tanto la tilapia como la carpa se destinan principalmente al autoconsumo, ya que las ventas de estas especies en los mercados de la capital del país han bajado considerablemente debido a que son rechazados por su escasa talla y toxicidad; sin embargo, se espera que una vez que se reduzcan sus poblaciones y se rehabiliten los canales de Xochimilco, dichas especies aumenten de talla y sean aptas para el consumo humano, por lo que su valor comercial se incrementará, beneficiando así a los locales que dependen de la pesca (Mondragón, 2012; Von Bertrab, 2013).

el “Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote” (ver Mapa 18), el cual contó con un presupuesto de más de 10 millones de pesos. Durante el proyecto, ejecutado en 2011 bajo la dirección de la SEMARNAT, se logró la extracción de 50 toneladas de carpas y tilapias en diversos canales del Sistema Lacustre de Xochimilco (ver mapa 18), en beneficio del ecosistema y del ajolote mexicano (SEDEMA, 2012).

Mapa 18. Canales de Xochimilco donde se extrajeron peces exóticos y se erigieron refugios para el ajolote durante el “Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote”



Fuente: SEDEMA (2012)

Por otra parte, también en el ámbito de la restauración de Xochimilco mediante la reducción de especies exóticas, diversos programas han encaminado sus objetivos a la extracción del lirio acuático de los canales y cuerpos de agua del

ANP, que, como se mencionó, además de ser una plaga para el ecosistema, influye en la supervivencia y distribución geográfica del ajolote mexicano.

Entre estos sobresalen el realizado entre enero de 2004 y octubre de 2008, en el cual la delegación Xochimilco, con un presupuesto de más de seis mil pesos, retiró unas catorce mil toneladas de dicha especie (Molina, 2010); así como el llevado a cabo por el gobierno de la misma demarcación durante el año 2016, en el cual se removió lirio de los canales para finalmente ser procesado, en colaboración de la Facultad de Artes y Diseño de la UNAM, como papel tipo amate, aunque, de igual forma, se busca que sea empleado como recurso en la elaboración de composta (Ruiz-Palacios, 2016), así como insumo en la agricultura (Zambrano *et al.*, 2003). De igual modo, el Umbral Axochiatl, junto con habitantes de las chinampas, realizan de manera frecuente el retiro de lirio acuático y maleza de los canales y apantles con el fin de mejorar el ecosistema y ayudar a la sobrevivencia del ajolote en estado silvestre (Sr. Eslava, com. pers.).

Adicionalmente, se considera importante reemplazar el lirio acuático por plantas macrófitas (vegetación acuática macroscópica) tanto emergentes como sumergidas, de manera que favorezcan el reciclaje de nutrientes y se incrementen las zonas de puesta para los ajolotes (Zambrano *et al.*, 2003; Valiente, 2006; Zambrano *et al.*, 2007).

Finalmente, cabe señalar que aún falta mucho por hacer en el rubro del control de las especies exóticas en Xochimilco. Por un lado, se estima que todavía quedan alrededor de 900 toneladas de carpas y tilapias, lo cual se traduce en aproximadamente 8 o 9 millones de organismos (Mondragón, 2012; Gutiérrez, 2013), por lo cual debe haber una adecuada coordinación entre las diversas partes involucradas, de manera que se destinen los recursos necesarios para las labores de remoción de dichas especies, a la vez que se eliminen las trabas burocráticas derivadas, en gran medida, por los cambios de administración delegacional que ocurren cada tres años. Asimismo, dichas labores deben realizarse bajo una rigurosa planeación para que la pesca de carpa y tilapia no afecte a otras especies, incluyendo al ajolote (Zambrano *et al.*, 2003).

Por ahora se ha observado que las acciones encaminadas a reducir el volumen de peces exóticos en el ANP han contribuido a sanear las condiciones biológicas de los canales, ya que las poblaciones de organismos de fauna nativa, como de acociles y charales, han aumentado de manera significativa (Aguilar *et al.*, 2013). Es por ello, en parte, que los programas de reducción del volumen de peces exóticos se han reproducido en los hábitats alternativos del ajolote mexicano, es decir, tanto en Ciudad Universitaria como en el Bosque de Chapultepec (Recuero *et al.*, 2010; El Universal, 2015b).

4.3.2 Mejoramiento de la calidad del agua

Al igual que en el ámbito del control de las especies exóticas, diversos programas se han abocado al mejoramiento de la calidad del agua de los canales y cuerpos de agua del Sistema Lacustre de Xochimilco, a través de diferentes líneas de acción, lo cual obedece al ya mencionado deterioro del ecosistema acuático que afecta a las diferentes especies de flora y fauna que en él habitan, incluyendo al ajolote mexicano. Asimismo, cabe recordar que la distribución geográfica de dicho anfibio dentro de su hábitat natural, así como de los alternativos, depende en gran medida de la calidad del agua, por lo cual la rehabilitación de los canales resulta crucial.

Es indiscutible que entre los principales factores que inciden en el incremento de la contaminación del agua en los canales y cuerpos de agua de la zona se encuentran el turismo, la urbanización (lo cual conlleva la descarga de aguas residuales, entre otros aspectos), el empleo de agroquímicos en la agricultura y el vertido de aguas tratadas provenientes de diversas plantas. El deterioro del agua en Xochimilco persiste, pese a las numerosas disposiciones del ya mencionado Reglamento concerniente al 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”; de entre éstas

destacan, por su alusión a la calidad de agua o a los principales factores que la ocasionan, las siguientes reglas:

- “Regla 26.- La prestación de servicios y actividades de turismo dentro del ANP serán autorizadas por la Secretaría del Medio Ambiente, siguiendo el procedimiento que establece la Ley de Turismo del Distrito Federal. Los usos turístico y recreativo dentro del ANP se podrán llevar a cabo siempre que:
 - I. No provoquen una afectación significativa a los hábitats o ecosistemas;
 - II. Fomenten la participación y el beneficio económico de las comunidades propietarias originarias que, integradas a la actividad turística, preserven sus recursos naturales e identidad cultural;
 - III. Promuevan la educación ambiental; y,
 - IV. Cuenten con la autorización respectiva en materia de Impacto Ambiental, en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables” (GODF, 2006: 36)

- “Regla 30.- En el ANP queda prohibido:
 - III. Verter aguas residuales;
 - VII. Realizar la extracción y manejo de recursos naturales, excepto en los casos de aclareos y la extracción de maleza (impide la correcta circulación del agua y de los contaminantes) acuática para limpieza;
 - IX. El uso del agua potable para el riego de las áreas agrícolas y para la acuicultura;
 - XII. Interrumpir, desviar, rellenar o desecar canales o cuerpos de agua en forma permanente y sin previa autorización;
 - XV. Las emisiones de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, así como el depósito o disposición de residuos” (GODF, 2006: 37-38).

En ese sentido, entre las propuestas y acciones directas enfocadas en mejorar la calidad de agua en el ANP figuran:

- 1) la limpieza y el desazolve de canales (SEDEMA, 2012; El Universal, 2015b; Ruiz-Palacios, 2016), así como la aplicación de la denominada biorremediación⁵², especialmente en las zonas más contaminadas del Sistema Lacustre (Zambrano *et al.*, 2010);
- 2) la reparación y el mantenimiento de las plantas tratadoras de aguas residuales que desembocan en Xochimilco (Zambrano *et al.*, 2003);
- 3) y la prohibición a la entrada de camiones con cascajo al área natural (Pantoja, 2011),

Por otra parte, de los planteamientos y operaciones indirectos destacan los siguientes:

- 1) la promoción de la agricultura tradicional en chinampas y la adopción de nuevas técnicas agrícolas, como la acuaponía⁵³, debido principalmente a que son menos contaminantes e implican un ahorro considerable de agua (Zambrano *et al.*, 2010; Castello, 2012; Vanguardia, 2013);
- 2) el monitoreo de los parámetros físico-químicos del agua (tanto bióticas – localización y desplazamiento del zooplancton, peces y demás especies animales y vegetales, como abióticas – temperatura, contaminación, etc.) (Gutiérrez, 2013);

⁵² “La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas” (Glazer y Nikaido, 1995, citado por Rodríguez y Sánchez, 2003: 12). Dicha técnica puede ser empleada en medios sólidos (como los suelos), líquidos (aguas superficiales y subterráneas) y gaseosos, actuando en contaminantes como los hidrocarburos y metales pesados (Rodríguez y Sánchez, 2003).

⁵³ La acuaponía es un “sistema que combina la acuicultura tradicional (cría de animales acuáticos) con la hidroponía (cultivo de plantas en agua) en un ambiente simbiótico”, el cual, además de fomentar el ahorro de agua, coadyuva a combatir la escasez alimentaria y a proteger especies de animales y vegetales acuáticos en peligro de extinción (Vanguardia, 2013).

- 3) la filtración de contaminantes a canales controlados a raíz de la creación de refugios o santuarios para el ajolote, debido al uso de diversos tipos de barreras;
- 4) el fomento a la regulación del turismo y el impulso al ecoturismo dentro del ANP (Zambrano *et al.*, 2010; Aldaz, 2011; Mena y Servín, 2014), mediante la reducción del número de trajineras en operación, el retiro de canoas de la zona productiva y el establecimiento de rutas fijas para disminuir la remoción de sedimentos que éstas generan a su paso por los canales (Valiente, 2006; Ruiz-Palacios, 2016), así como el retiro de supuestos guías turísticos (Aldaz, 2011); además de la restauración de los daños ocasionados por el turismo como el desnivel y deterioro de chinampas derivados principalmente del acondicionamiento de éstas para fiestas y el tránsito de lanchas con motor (Pantoja, 2011);
- 5) la difusión de la educación ambiental en torno a la problemática por la cual atraviesa Xochimilco actualmente (Zambrano *et al.*, 2010; Mena y Servín, 2014), hacia la población de los barrios de la demarcación (incluyendo escuelas de diversos niveles) (Von Bertrab, 2013), y los turistas (principalmente mediante la visita a una chinampa, lo cual forma parte del denominado turismo de conocimiento) (González, 2016).
- 6) el freno al avance de la urbanización de los canales y cuerpos de agua del ANP (Zambrano *et al.*, 2007; Pantoja, 2011), ya que, como se mencionó, dicho fenómeno influye directamente en el deterioro de la calidad del agua mediante la descarga de aguas negras y grises, las cuales provienen, en gran medida, de los asentamientos irregulares. En ese sentido, hay estimaciones que señalan que hacia el año 2050 todo Xochimilco podría estar urbanizado si no se hace algo al respecto; sin embargo, el crecimiento de la mancha urbana en dicha zona continúa, lo cual puede constatarse en el hecho de que la urbanización de los canales de Xochimilco creció entre 12 y 14% durante el período 2006-2011 (La Crónica de Hoy, 2011).

Con relación a los programas mencionados, destacan los siguientes por la relevancia de sus líneas de acción en materia de mejoramiento de la calidad del agua:

- el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco (PREX), el cual contribuyó en 1989 a disminuir la contaminación de los cuerpos de agua mediante el mejoramiento de la circulación del agua (Von Bertrab, 2013);
- el Programa de Recuperación y Conservación del Sistema Lacustre de Xochimilco y Tláhuac 2011, mediante el cual se mejoró la circulación del agua al realizarse la reapertura, limpieza y desazolve de canales y cuerpos de agua de ambos sitios, se reactivó parte de la producción agrícola en parcelas y chinampas, y se incrementó y rehabilitó la señalización e infraestructura que delimita la poligonal del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, con el fin de reducir el impacto de las actividades antrópicas y frenar el avance de la urbanización en la zona (SEDEMA, 2012);
- el Programa de Análisis y Restauración del Sistema Lacustre de Xochimilco y del Ajolote, cuya finalidad, además de habilitar refugios para el ajolote y reducir las poblaciones de especies exóticas en Xochimilco, fue el fomento a la reducción de agroquímicos en las parcelas y chinampas, y la implementación del monitoreo de parámetros físicos, químicos y biológicos del agua en los canales (SEDEMA, 2012);
- y diversos proyectos y estudios realizados por instituciones de educación superior como la UNAM (a través de los Institutos de Biología y Ecología, y de la FES Iztacala), la UAM (especialmente mediante el campus de Xochimilco y el CIBAC), así como la Universidad Autónoma de Chapingo, los cuales han enfocado sus acciones en restaurar los cuerpos de agua de Xochimilco, principalmente con la mejora de la calidad del agua, la protección de la zona chinampera y la difusión de la educación ambiental en la zona (GODF, 2006).

Finalmente, cabe mencionar que para alcanzar la consecución de dichas acciones se considera necesaria la participación de la población local, los distintos niveles de gobierno (especialmente el estatal y local), así como la de la Comisión Nacional del Agua (El Universal, 2011). Entre las acciones exitosas que está realizando la población local, especialmente entre quienes viven en las chinampas, destaca la difusión del llamado “baño seco vivo” (ver Figura 27), el cual consiste en la acumulación de las heces humanas en cajones con el fin de producir composta y fertilizantes naturales, además de que con dicho sistema se evitan las descargas de aguas negras en los canales aledaños (Sr. Eslava, com. pers.).

Figura 27. Baño seco vivo en la zona chinampera de Xochimilco



Tomada por Adrián Mendoza Velasco el 4 de junio de 2018

Finalmente, respecto a los hábitats alternos del ajolote mexicano, en éstos también se trabaja en rehabilitar los cuerpos de agua, a pesar de que en ellos existen mejores condiciones para la sobrevivencia de dicha especie (Recuero *et al.*, 2010; Dra. Ramos, com. pers.).

Conclusiones

Como se mencionó en el presente proyecto, la actual problemática por la cual atraviesan el ajolote mexicano y el ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco” es consecuencia directa de las diversas actividades que ha realizado el ser humano en este sitio a lo largo del tiempo, especialmente durante las últimas cuatro décadas. Por un lado, la contaminación de los canales y cuerpos de agua, así como la introducción de especies exóticas en el Sistema Lacustre contribuyen a aumentar el deterioro del ecosistema acuático, mientras que el desenfrenado avance de la urbanización y las malas prácticas agrícolas en la zona, además de lo anterior, también propician la pérdida y la fragmentación del hábitat del anfibio; adicionalmente, cabe recordar que estos cuatro factores inciden, en mayor o menor medida, en la distribución geográfica del *Ambystoma mexicanum* y, junto con la pesca furtiva, orillan gradualmente a dicha especie a una posible extinción en estado silvestre.

Por otra parte, las líneas de acción que se han implementado en torno a la conservación del ajolote han arrojado resultados mixtos, siendo las liberaciones o introducciones cada vez menos frecuentes debido a que se considera que el ecosistema aún no es apto para ellas y sólo perjudican a la especie, mientras que el establecimiento de refugios *in situ* y *ex situ*, también basado en criterios geográficos, promete ser una solución a mediano y largo plazo para aumentar las poblaciones silvestres del anfibio, a la vez que éstas se desarrollen en entornos menos contaminados y libres de depredadores.

En ese sentido, los múltiples programas que diversas universidades y organizaciones gubernamentales y civiles han ejecutado desde la década de los ochenta para rescatar al ajolote y su hábitat no han logrado mitigar los riesgos que éstos enfrentan en su totalidad, lo cual no permite que haya una apropiada rehabilitación del sitio. Entre los obstáculos para que ésta se lleve a cabo figuran la reticencia de la población local a participar en los proyectos, los conflictos entre

los agricultores de la zona, la falta de coordinación y compromiso entre los entes involucrados, el escaso apoyo económico brindado por los distintos niveles del gobierno, así como las trabas burocráticas derivadas de los cambios de administración, local y estatal principalmente (cada 3 y 6 años, respectivamente), lo cual se agudiza si se presentan transiciones entre los partidos gobernantes.

Asimismo, es preciso enfatizar que en el intento de salvar al *A. mexicanum* de la extinción en estado silvestre y debido a la importancia cultural que conlleva esta especie única, la problemática de Xochimilco y del ajolote no sólo debería concernir a la biología, sino también a otras áreas del conocimiento científico relacionadas con la dimensión espacial como la biogeografía (ambiental y cultural), la geografía urbana y rural, la geografía ambiental, la hidrografía y la demografía, entre otras, de manera que los aportes teóricos de cada una de éstas coadyuven a tomar mejores decisiones que permitan alcanzar soluciones reales. Estas disciplinas y subdisciplinas pueden colaborar en el rescate del ANP en cuestión y del ajolote a través de la selección de los canales y cuerpos de agua más apropiados dentro y fuera de Xochimilco para la creación de refugios para el anfibio, con base en aspectos relacionados con el medio ambiente y la dimensión espacial, así como mediante las nuevas tecnologías como el GPS y los SIG's, por lo que la participación de los geógrafos debería ser indispensable en este tipo de programas.

Finalmente, cabe recordar que también la categoría de Patrimonio de la Humanidad que ostenta Xochimilco junto con el Centro Histórico de la Ciudad de México (tipo mixto) pudiera perderse de continuar el deterioro del sitio; sin embargo, el panorama no es muy alentador, ya que hay escenarios que estiman que el ajolote estaría extinto en estado silvestre entre el año 2020 (Paz, 2013) y la década de los 50 del presente siglo (Zambrano *et al.*, 2007), mientras que hacia 2050 y 2055 el Sistema Lacustre podría estar completamente urbanizado (La Crónica de Hoy, 2011; Paz, 2013), lo cual podría aumentar la temperatura de la Ciudad de México hasta 4° C. A propósito de esto, se dice que una leyenda xochimilca afirma que el día que desaparezca el ajolote, Xochimilco se acaba (El

Financiero, 2017). Es por ello que en las labores de rescate, conservación y rehabilitación / restauración deben comprometerse y trabajar de manera conjunta la población local, las organizaciones civiles y los distintos niveles de gobierno; los primeros dos mediante la ejecución de líneas de acción encaminadas a recuperar el ecosistema acuático, y los últimos a través del adecuado financiamiento de los programas ambientales realizados por universidades y ONG´s, así como con más y mejores leyes que protejan al ajolote y Xochimilco, que al final son patrimonio de todos los capitalinos y de los mexicanos en general.

Referencias

- Aguilar, J.L; López, J. y Villar, C. (2013), “Axólotl, letra por letra” en *Ciencia*, vol. 64, núm. 2, pp. 78-83. Academia Mexicana de Ciencias, Ciudad de México, México.
- Aldaz, P. (2011, 26 de junio). Preocupa a ONU el grave daño ambiental en Xochimilco. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/primer/37151.html>
- American Museum of Natural History (AMNH) (2006). “The amphibian tree of life” en *Bulletin of the American Museum of Natural History*, núm. 297, 370 pp. Nueva York, Estados Unidos.
- Antón, D. (1999). *Diversidad, globalización y sabiduría de la naturaleza*. Piriguazú Ediciones/ Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Montevideo, Uruguay.
- Biodiversidad mexicana (2016). *Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)*. CONABIO, Ciudad de México, México. Enlace: <http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/uicn.html>
- Booth, W. (2012, 7 de marzo). Mexico City’s ancient Xochimilco floating gardens are in ecological peril. *The Washington Post*. Recuperado a partir de: https://www.washingtonpost.com/world/the_americas/mexico-citys-ancient-xochimilco-floating-gardens-are-in-ecological-peril/2012/03/01/gIQAdt3txR_story.html?utm_term=.519ec152eece
- Castello, S. (2012, 30 de octubre). Mythic salamander faces crucial test: survival in the wild. *New York Times*. Recuperado a partir de: <http://www.nytimes.com/2012/10/31/world/americas/struggle-of-axolotls-mexicos-mythical-salamander.html>
- CITES (1973). *Texto de la Convención*. Washington, Estados Unidos. Enlace: <https://www.cites.org/sites/default/files/esp/disc/CITES-Convention-SP.pdf>

- ----- (2016). *¿Qué es la CITES?* Washington, Estados Unidos. Enlace: <https://www.cites.org/esp/disc/what.php>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) (2011). "*Fichas de especies prioritarias. Ajolote Mexicano (Ambystoma mexicanum)*". Ciudad de México, México. Enlace: http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/especies_priori/fichas/pdf/ajolote_Mexicano.pdf
- ----- (2017). *La diversidad biológica de México*. Ciudad de México, México. Enlace: http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/db_mexico.html
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) (2017). *Glosario de Innovación forestal*. Ciudad de México, México. Enlace: http://www.conafor.gob.mx/innovacion_forestal/?page_id=436
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014). *Atlas del agua en México 2014*. CONAGUA, Ciudad de México, México.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) (2004). *Ficha informativa de los humedales de Ramsar*. Ciudad de México, México. Enlace: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Distrito_Federal/Xochimilco/Sistema%20Lacustre%20Ejidos%20de%20Xochimilco%20y%20San%20Gregorio%20Atlapulco.pdf
- ----- (2007). *Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER) 2007-2012*. Ciudad de México, México. Recuperado el 16 de diciembre de 2017 a partir de: http://www.conanp.gob.mx/pdf_especies/PROCERFinalpubmar2009.pdf
- ----- (2016). *Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo (PROCER)*. Ciudad de México, México. Recuperado el 16 de diciembre de 2017 a partir de: http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/transparencia_focalizada_procer.php
- Contreras, T.; Gaspar, M.T.; Huidobro, L. y Mejía, H. (2014). "Peces

invasores en el centro de México” en *Especies acuáticas invasoras en México*, pp. 413-424. CONABIO, Ciudad de México, México.

- Contreras, V.; Martínez, E.; Valiente, E. y Zambrano, L. (2009). “Recent decline and potential distribution in the last remnant area of the microendemic Mexican axolotl (*Ambystoma mexicanum*)” en *Biological conservation*, pp. 2881-2885. Elsevier, Ámsterdam, Países Bajos.
- Cram, S., Cotler, H., Morales, L.M., Sommer, I. y Carmona, E. (2008). “Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal” en *Investigaciones geográficas*, núm. 66, agosto, pp. 81-104. Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad de México, México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2010, 30 de diciembre). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Enlace: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- ----- (2016, 29 de enero). Decreto por el que se declaran reformadas y derogadas diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de la Reforma Política de la Ciudad de México. Enlace: http://www.dof.gob.mx/avisos/2480/SG_290116_vesp/SG_290116_vesp.html
- ----- (2017, 9 de junio). Metodología de los servicios valuatorios regulados por el Instituto de Administración y Avalúos de Bienes Nacionales para determinar el valor de regularización de terrenos urbanos ejidales, comunales, de propiedad federal y otros en los que se encuentren asentamientos irregulares ocupados por viviendas, así como para los terrenos ocupados con fines distintos a la vivienda. Recuperado el 10 de septiembre a partir de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5486203
- El Financiero (2017, 16 de agosto). Si desaparece el ajolote, 'muere' Xochimilco. *El Financiero*. Recuperado a partir de:

<http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/si-desaparece-el-ajolote-muere-xochimilco>

- El Universal (2010, 4 de octubre). ¿Por qué se celebra el Día Mundial de los Animales? Recuperado el 16 de diciembre de 2017 a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/mundo/por-que-se-celebra-el-dia-mundial-de-los-animales>
- ----- (2011, 25 de octubre). Ajolote podría extinguirse en cinco años: UNAM. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/articulos/66855.html>
- ----- (2014, 21 de marzo). Liberan en Xochimilco ajolotes criados en cautiverio. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciencia/2014/liberan-ajolotes-xochimilco-85327.html>
- ----- (2015, 2 de junio) (a). Ajolotes tendrán su primer albergue en reserva ecológica de la UNAM. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciencia/2015/ajolotes-reserva-ecologica-106558.html>
- ----- (2015, 1° de diciembre) (b). Ajolotes de Xochimilco encuentran refugio en Ciudad Universitaria. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/12/1/ajolotes-de-xochimilco-encuentran-refugio-en-ciudad>
- ----- (2015, 28 de diciembre) (c). UAM posee espacio para producir y preservar ajolotes. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2015/12/28/uam-posee-espacio-para-producir-y-preservar-ajolotes>
- ----- (2017, 1° de agosto). La CDMX ya tiene sus propios emojis. Recuperado el 21 de diciembre de 2017 a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/cultura/2017/08/1/la-cdmx-ya-tiene-sus-proprios-emojis#imagen-1>

- Encyclopedia of life (en línea). Enlace: <http://www.eol.org/>
- Espinosa, D.; Ocegueda, S.; Aguilar, C.; Flores, O. y Llorente, J. (2008). "El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural" en *Capital Natural de México*, vol. 1, pp. 33-65. CONABIO, Ciudad de México, México.
- Excélsior (2014, 28 de enero). Investigadores alertan la posible extinción de los ajolotes. *Excélsior*. Recuperado a partir de: <http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2014/01/28/940813>
- Figueiró, A. (2015). *Biogeografía: dinâmicas e transformações da natureza*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.
- Flores, A. (2013, 21 de mayo). Liberan mil ajolotes en canales controlados de Xochimilco. *La Jornada*. Recuperado a partir de: <http://www.jornada.unam.mx/2013/05/21/cultura/a04n1cul>
- Frost, D. (2016). "*Amphibian species of the world*". Nueva York, Estados Unidos. Enlace: <http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Caudata/Ambystomatidae>
- Fundación para el Avance de los Estudios Latinoamericanos (FAMSI). "*Códice Borgia*". Enlace: http://www.famsi.org/spanish/research/graz/borgia/img_page65.html
- GDF (Gobierno del Distrito Federal) (2012). *Atlas geográfico del suelo de conservación del Distrito Federal*. Secretaría del Medio Ambiente, Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, Ciudad de México, México.
- GODF (Gaceta Oficial del Distrito Federal) (2006, 11 de enero). 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". Enlace: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/lineamientos_instrumentos/XOCHIMILCO.pdf

- González, B. (2016; 12 de diciembre). Al rescate de un legendario monstruo acuático, el ajolote mexicano. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2016/12/12/al-rescate-de-un-legendario-monstruo-acuatico-el-ajolote>
- Gutiérrez, R. (2013, 10 de enero). Continúa la recuperación de Xochimilco y del Axolote. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/cultura/70768.html>
- Huidobro, L. (2000). "Peces" en *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*, pp. 195-263. Ed. Plaza y Valdés, S.A. de C.V., Ciudad de México, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2007). Diccionario de datos de Uso de Suelo y Vegetación Escala 1:250,000 (Vectorial), Aguascalientes, México. Enlace: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/doc/dd_usyv_v1_2_50k.pdf
- ----- (2008a). Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Mapas. Aguascalientes, México. Enlace: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/info/df/m013/mapas.pdf>
- ----- (2008b). Sistema para la Consulta del Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Aguascalientes, México. Enlace: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/cem08/estatal/df/m013/default.htm>
- ----- (2011a). Perspectiva estadística del Distrito Federal. Aguascalientes, México. Enlace: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-df.pdf>
- ----- (2011b). Prontuario de información geográfica delegacional de los Estados Unidos Mexicanos. Xochimilco, Distrito Federal. Aguascalientes,

México. Enlace: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/09/09013.pdf>

- ----- (2015). Anuario estadístico y geográfico del Distrito Federal 2015. Aguascalientes, México. Enlace: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076924.pdf
- ----- (2016a). *Cuéntame. Ciudad de México*. Aguascalientes, México. Enlace: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/>
- ----- (2016b). *Cuéntame. Mapas para imprimir*. Aguascalientes, México. Enlace: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/dfd_elegcolor.pdf
- ----- (2016c). *Glosario*. Aguascalientes, México. Enlace: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=EHENOE15mas#etraGloP>
- Juárez, C. (2010). "Vidas sin límites" en *UNAMirada a la ciencia*, año 6, núm. 277, octubre. UNAM, Ciudad de México. México.
- La Crónica de Hoy (2011, 6 de marzo). El ajolote podría desaparecer en los próximos 15 años. *La Crónica de Hoy*. Recuperado a partir de: <http://www.cronica.com.mx/notas/2011/564420.html>
- ----- (2014, 6 de noviembre). Hay avances en conservación de ajolote mexicano. *La Crónica de Hoy*. Recuperado a partir de: <http://www.cronica.com.mx/notas/2014/838772.html>
- La Jornada (2014, 29 de enero). No hallan un solo ajolote en el censo más reciente. *La Jornada*. Recuperado a partir de: <http://www.jornada.unam.mx/2014/01/29/ciencias/a02n1cie>
- Laboratorio de Restauración Ecológica. *Preguntas frecuentes*. UNAM. Recuperado a partir de: <http://lreunam.wixsite.com/lreunam/faq>
- Llorente, J. y Morrone, J. (2001). *Introducción a la biogeografía en Latinoamérica: teorías, conceptos, métodos y aplicaciones*. UNAM, Ciudad de México, México.

- López, Martínez y López (2014). *Vital and viable services for natural resource management in Latin America*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua/ SEMARNAT, Ciudad de México, México.
- Lot, A. (2007). *Guía ilustrada de la Cantera Oriente*. Secretaría Ejecutiva de la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel, UNAM, Ciudad de México, México.
- Martínez, M.A. (2017, 21 de mayo). El ajolote asombra al mundo pero en México está en riesgo. *Quadratin*. Recuperado a partir de: <https://mexico.quadratin.com.mx/ajolote-asombra-al-mundo-mexico-esta-riesgo/>
- Mena, H. y Servín, E. (2014). *Manual básico para el cuidado en cautiverio del axolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum)*. Instituto de Biología, UNAM, Ciudad de México, México.
- Milenio (2015, 1° de abril). Liberan ajolotes en Xochimilco en rescate de esa especie. *Milenio*. Recuperado a partir de: http://www.milenio.com/df/Ajolotes_Xochimilco-conservacion_ajolote-ajolote_extincion-ajolotes_microchip_0_491951079.html
- ----- (2017, 1° de agosto). Un trompo de pastor y un tierno ajolote, los nuevos emojis de la Cdmx. Recuperado el 21 de diciembre de 2017 a partir de: http://www.milenio.com/tendencias/emojis-ciudad_de_mexico-cdmx-ganadores-fotos-milenio-noticias_5_1003749618.html
- Molina, A. (2010). "El ajolote de Xochimilco" en *Revista Ciencias*, núm. 98, abril-junio, pp. 54-59. UNAM, México.
- Mondragón, S. (2012, 6 de septiembre). Xochimilco, al borde de un colapso ecológico. *Noticieros Televisa*. Recuperado a partir de: <http://noticierostelevisa.esmas.com/especiales/496148/xochimilco-al-borde-colapso-ecologico/>
- Montes, R. (2012, 18 de noviembre). El monstruo de agua es parte de nuestra historia. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/114222.html>

- Morrone, J. (2005). “Hacia una síntesis biogeográfica de México” en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, vol. 76, núm. 2, diciembre, pp. 207-252. UNAM, Ciudad de México, México. Enlace: http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I01_Elconocimientoobiog.pdf
- Narchi, N.E. y Canabal, B. (2017). “Percepciones de la degradación ambiental entre vecinos y chinamperos del Lago de Xochimilco, México” en *Sociedad y ambiente*, año 5, núm. 12, noviembre de 2016 – febrero de 2017, pp. 5-29. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), San Cristóbal de las Casas, México.
- Ortega, A. (2000). “El ajolote” en *Elementos: ciencia y cultura*, vol. 6, núm. 36, noviembre-enero, pp. 55-57. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- Otto, E.S. (1999). *Conservación del ajolote (Ambistoma mexicanum) mediante su cultivo y siembra en el Parque Ecológico de Xochimilco*. Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco A.C., Ciudad de México, México.
- Pantoja, S. (2011, 26 de julio). Rescatarán chinampas autoridades y habitantes. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/107244.html>
- PAOT (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial) (2008). *Estudio sobre la zona chinampera y demás afectadas de las delegaciones Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, por la proliferación de asentamientos humanos irregulares en materia de afectaciones al medio ambiente y el ordenamiento territorial*. PAOT, Ciudad de México, México.
- ----- (2012). *Tendencias y propuestas sobre el hundimiento de la zona del ANP “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”*. PAOT, Ciudad de México, México.
- ----- (2016). *Sistema de Información Geográfica Participativo Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*. Enlace: http://200.38.34.15:8008/mapguide/sig/metadatos/qry_metadatos.php?id=Pr

[ograma%20de%20manejo%20ANP%20Xochimilco](#)

- Parra, G.; Zamudio, K.; Recuero, E.; Aguilar, X.; Huacuz, D. y Zambrano, L. (2012). "Conservation genetics of threatened Mexican axolotls (*Ambystoma*)" en *Animal conservation*, vol. 15, núm. 1, febrero, pp. 61-72. Zoological Society of London, Londres, Reino Unido.
- Paz, R. (2013, 22 de mayo). El ajolote mexicano se extinguirá antes del año 2020: Luis Zambrano. *La Crónica de Hoy*. Recuperado a partir de: <http://www.cronica.com.mx/notas/2013/755048.html>
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (2003). *GEO América Latina y el Caribe: Perspectivas del medio ambiente 2003*. PNUMA, Cd. de México, México.
- Ramírez, H. (2001). "La casa del virrey Luis de Velasco en Huehuetoca" en *Ciencia Ergo Sum*, vol. 8, núm. 2, julio, pp. 199-204. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México.
- Recuero, E.; Cruzado, J.; Parra, G. y Zamudio, K. (2010). "Urban aquatic habitats and conservation of highly endangered species: the case of *Ambystoma mexicanum* (Caudata, Ambystomatidae)" en *Annales Zoologici Fennici*, vol. 46, agosto, pp. 223-238. Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, Helsinki, Finlandia.
- REPSA (Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel) (2018). *Ubicación*. UNAM. Recuperado a partir de: <http://www.repsa.unam.mx/index.php/ubicacion>
- Rimmer, M. (2015). *Indigenous intellectual property: A handbook of contemporary research*. Ed. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, Reino Unido.
- Rodríguez, J.L. y Sánchez, J. (2003). "Biorremediación. Fundamentos y aspectos microbiológicos" en *Industria y minería*, núm. 351, marzo, pp. 12-16. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, Madrid, España.
- Rojas, T. (1998). *La cosecha del agua en la Cuenca de México*. Ed. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS), Segunda edición, Ciudad de México, México.

- Ruiz-Palacios, F. (2016, 15 de diciembre). Buscan Xochimilco y Fonca conservar el ajolote. *El Universal*. Recuperado a partir de: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/cdmx/2016/12/15/buscan-xochimilco-y-fonca-conservar-el-ajolote>
- SACMEX (Sistema de Aguas de la Ciudad de México) (2012). *El gran reto del agua en la Ciudad de México: pasado, presente y perspectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. SACMEX, Ciudad de México, México. Enlace: http://laopiniondelaciudad.mx/wp-content/uploads/2016/02/EIGranRetodelAgua_enla_CiudadMexico.pdf
- Santillán, M.L. (2016). *Lirio acuático cumple una función biológica importante en Xochimilco*. UNAM, Ciudad de México, México. Recuperado el 7 de mayo de 2017 a partir de: http://ciencia.unam.mx/leer/547/Lirio_acuatico_cumple_una_funcion_biologica_importante_en_Xochimilco
- Sarmiento, F. (2001). *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Ed. Abya-Yala, Quito, Ecuador.
- SE (Secretaría de Economía) (2013). Establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal – especificaciones técnicas. Ciudad de México, México. Enlace: <https://proteccionforestal.files.wordpress.com/2011/09/nmx-germoplasma-10-05-2013.pdf>
- SEDEMA (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México) (2012). *Libros blancos. Xochimilco*. SEDEMA, Ciudad de México, México.
- SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) (2013). *Catálogo de localidades. Xochimilco*. Ciudad de México, México. Enlace: <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=09&mun=013>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (2011). *Biodiversidad. Conocer para conservar*. SEMARNAT, Primera edición, Cd. de México, México.

- Servín, E. (2011). *Manual de mantenimiento en cautiverio y medicina veterinaria aplicada al ajolote de Xochimilco (Ambystoma mexicanum) en el Zoológico de Chapultepec*. Tesis de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, Ciudad de México, México.
- Sharma, J.P. (2009). *Comprehensive environmental studies (for undergraduate classes)*. Ed. Laxmi Publications, Tercera edición, Nueva Delhi, India.
- Stephan, E. y Ensástigue, J. (2001). “El ajolote, otro regalo de México al mundo” en *Biodiversitas*, núm. 35, pp. 7-11. CONABIO, Ciudad de México, México.
- UAM (Universidad Autónoma Metropolitana) (2016). “Produce CIBAC hasta 5,000 ajolotes al año mediante tecnología especializada” en *Semanario de la UAM*, vol. 22, núm. 24, febrero, pp. 4-5. UAM, Ciudad de México, México.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) (1986). *1986 IUCN Red List of Threatened Species*. UICN, Gland, Suiza.
- ----- (1996). *1996 IUCN Red List of Threatened Species*. UICN, Gland, Suiza.
- ----- (2012). *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1*. Segunda edición. UICN, Gland, Suiza.
- ----- (2016). *Acerca de la UICN*. Gland, Suiza. Enlace: <https://www.iucn.org/es/acerca-de-la-uicn>
- Umbral Axochiatl. *Proyectos activos*. Recuperado a partir de: <http://axochiatl3.wixsite.com/umbral-axochiatl/umbral-axochiatl--proyectos>
- Valiente, E.L. (2006). *Efecto de las especies introducidas en Xochimilco para la rehabilitación del hábitat del ajolote (Ambystoma mexicanum)*. Tesis de Maestría en Ciencia Biológicas, UNAM, Ciudad de México, México.
- Valiente, E.L.; Tovar, A.; González, H.; Eslava, D. y Zambrano, L. (2010) Creating refuges for the axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en *Ecological restoration*, vol. 28, núm. 3, septiembre, pp. 257-265. University of Wisconsin Press, Madison, Estados Unidos.

- Vance, E. (20 de noviembre, 2017). Biology's Beloved Amphibian –the Axolotl—is Racing toward Extinction. *Scientific American*. Recuperado a partir de: <https://www.scientificamerican.com/article/biologys-beloved-amphibian-the-axolotl-is-racing-toward-extinction1/>
- Vanguardia (2013, 24 de agosto). Rescatan ecosistemas y producen alimentos con acuaponía. *Vanguardia*. Recuperado a partir de: <http://www.vanguardia.com.mx/rescatanecosistemasyproducenalimentosconacuaponia-1817610.html>
- ----- (2015, 1° de septiembre). En México, el ajolote a punto de desaparecer. *Vanguardia*. Recuperado a partir de: <https://vanguardia.com.mx/enmexicoelajoloteapuntodedesaparecer-2370835.html>
- Von Bertrab, A.I. (2013). *De tilapias, chinampas y ajolotes: discursos sobre la restauración ecológica en el lago de Xochimilco*. Tesis de Doctorado en Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, Ciudad de México, México.
- Zambrano, L.; Mosig, P.; McKay, J.; Griffiths R.; Shaffer, B.; Flores, O.; Parra, G. y Wake, D. (2010). “*Ambystoma mexicanum*”. Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, Gland, Suiza. Enlace: <http://www.iucnredlist.org/details/1095/0>
- Zambrano, L., Reynoso, V. H. y Herrera, G. (2003). *Abundancia y estructura poblacional del axolotl (Ambystoma mexicanum) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco*. Instituto de Biología, UNAM, Ciudad de México, México.
- Zambrano, L.; Vega, E.; Herrera, L.G.; Prado, E. y Reynoso, V.H. (2007). “A population matrix model and population viability analysis to predict the fate of endangered species in highly managed water systems” en *Animal Conservation*, vol. 10, núm. 3, agosto, pp. 297-303. Zoological Society of London, Londres, Reino Unido.

APÉNDICES

Apéndice A

Artículo III. Reglamentación del comercio en especímenes de especies incluidas en el Apéndice I de la CITES

1. Todo comercio en especímenes de especies incluidas en el Apéndice I se realizará de conformidad con las disposiciones del presente Artículo.

2. La exportación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice I requerirá la previa concesión y presentación de un permiso de exportación, el cual únicamente se concederá una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Científica del Estado de exportación haya manifestado que esa exportación no perjudicará la supervivencia de dicha especie;
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de exportación haya verificado que el espécimen no fue obtenido en contravención de la legislación vigente en dicho Estado sobre la protección de su fauna y flora;
- c) que una Autoridad Administrativa del Estado de exportación haya verificado que todo espécimen vivo será acondicionado y transportado de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de heridas, deterioro en su salud o maltrato; y
- d) que una Autoridad Administrativa del Estado de exportación haya verificado que un permiso de importación para el espécimen ha sido concedido.

3. La importación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice I requerirá la previa concesión y presentación de un permiso de importación y de un permiso de exportación o certificado de reexportación. El permiso de importación únicamente se concederá una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Científica del Estado de importación haya manifestado que los fines de la importación no serán en perjuicio de la supervivencia de dicha especie;
- b) que una Autoridad Científica del Estado de importación haya verificado que quien se propone recibir un espécimen vivo lo podrá albergar y cuidar adecuadamente; y
- c) que una Autoridad Administrativa del Estado de importación haya verificado que el espécimen no será utilizado para fines primordialmente comerciales.

4. La reexportación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice I requerirá la previa concesión y presentación de un certificado de reexportación, el cual únicamente se concederá una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Administrativa del Estado de reexportación haya verificado que el espécimen fue importado en dicho Estado de conformidad con las disposiciones de la presente Convención;
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de reexportación haya verificado que todo espécimen vivo será acondicionado y transportado de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de heridas, deterioro en su salud o maltrato; y
- c) que una Autoridad Administrativa del Estado de reexportación haya verificado que un permiso de importación para cualquier espécimen vivo ha sido concedido.

5. La introducción procedente del mar de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice I requerirá la previa concesión de un certificado expedido por una Autoridad Administrativa del Estado de introducción. Únicamente se concederá un certificado una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Científica del Estado de introducción haya manifestado que la introducción no perjudicará la supervivencia de dicha especie;
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de introducción haya verificado que quien se propone recibir un espécimen vivo lo podrá albergar y cuidar adecuadamente; y
- c) que una Autoridad Administrativa del Estado de introducción haya verificado que el espécimen no será utilizado para fines primordialmente comerciales.

Apéndice B

Artículo IV. Reglamentación del comercio de especímenes de especies incluidas en el Apéndice II de la CITES

1. Todo comercio en especímenes de especies incluidas en el Apéndice II se realizará de conformidad con las disposiciones del presente Artículo.

2. La exportación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice II requerirá la previa concesión y presentación de un permiso de exportación, el cual únicamente se concederá una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Científica del Estado de exportación haya manifestado que esa exportación no perjudicará la supervivencia de esa especie;
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de exportación haya verificado que el espécimen no fue obtenido en contravención de la legislación vigente en dicho Estado sobre la protección de su fauna y flora; y
- c) que una Autoridad Administrativa del Estado de exportación haya verificado que todo espécimen vivo será acondicionado y transportado de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de heridas, deterioro en su salud o maltrato.

3. Una Autoridad Científica de cada parte vigilará los permisos de exportación expedidos por ese Estado para especímenes de especies incluidas en el Apéndice II y las exportaciones efectuadas de dichos especímenes. Cuando una Autoridad Científica determine que la exportación de especímenes de cualquiera de esas especies debe limitarse a fin de conservarla, a través de su hábitat, en un nivel consistente con su papel en los ecosistemas donde se halla y en un nivel suficientemente superior a aquel en el cual esa especie sería susceptible de

inclusión en el Apéndice I, la Autoridad Científica comunicará a la Autoridad Administrativa competente las medidas apropiadas a tomarse, a fin de limitar la concesión de permisos de exportación para especímenes de dicha especie.

4. La importación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice II requerirá la previa presentación de un permiso de exportación o de un certificado de reexportación.

5. La reexportación de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice II requerirá la previa concesión y presentación de un certificado de reexportación, el cual únicamente se concederá una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Administrativa del Estado de reexportación haya verificado que el espécimen fue importado en dicho Estado de conformidad con las disposiciones de la presente Convención; y
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de reexportación haya verificado que todo espécimen vivo será acondicionado y transportado de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de heridas, deterioro en su salud o maltrato.

6. La introducción procedente del mar de cualquier espécimen de una especie incluida en el Apéndice II requerirá la previa concesión de un certificado expedido por una Autoridad Administrativa del Estado de introducción. Únicamente se concederá un certificado una vez satisfechos los siguientes requisitos:

- a) que una Autoridad Científica del Estado de introducción haya manifestado que la introducción no perjudicará la supervivencia de dicha especie; y
- b) que una Autoridad Administrativa del Estado de introducción haya verificado que cualquier espécimen vivo será tratado de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de heridas, deterioro en su salud o maltrato.

7. Los certificados a que se refiere el párrafo 6 del presente Artículo podrán concederse por períodos que no excedan de un año para cantidades totales de especímenes a ser capturados en tales períodos, con el previo asesoramiento de una Autoridad Científica que haya consultado con otras autoridades científicas nacionales o, cuando sea apropiado, autoridades científicas internacionales.

Apéndice C

Criterios para la categoría de En Peligro Crítico (CR, por sus siglas en inglés) de la UICN

Un taxón está En Peligro Crítico, y se considera que se está enfrentando a un riesgo de extinción extremadamente alto en estado de vida silvestre, cuando la mejor evidencia disponible indica que cumple cualquiera de los siguientes criterios (A a E):

A. Reducción del tamaño de la población basada en cualquiera de los siguientes puntos:

1) La población ha experimentado una reducción observada, estimada, inferida o sospechada $\geq 90\%$ en los últimos 10 años o en tres generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo en el que se puede demostrar que las causas de la reducción son claramente reversibles y entendidas, y que han cesado, basándose en y cumpliendo al menos una de las siguientes opciones:

- a) observación directa
- b) un índice de abundancia apropiado para el taxón
- c) una reducción del área de ocupación, extensión de presencia y/o calidad del hábitat
- d) niveles de explotación reales o potenciales
- e) efectos de taxones introducidos, hibridación, patógenos, contaminantes, competidores o parásitos

2) La población ha experimentado una reducción observada, estimada, inferida o sospechada $\geq 80\%$ en los últimos 10 años o en tres generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo, donde esa

reducción, o sus causas, pueden no haber cesado, o pueden no ser entendidas, o no ser reversibles, basándose en y cumpliendo al menos una de las opciones a) a e) mencionadas en A1.

- 3) Una reducción de la población $\geq 80\%$ que se proyecta o se sospecha será alcanzada en los próximos 10 años o tres generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo (hasta un máximo de 100 años), basándose en y cumpliendo al menos una de las opciones b) a e) mencionadas en A1.
- 4) Una reducción de la población observada, estimada, inferida, o sospechada $\geq 80\%$ en un período de 10 años o tres generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo (hasta un máximo de 100 años en el futuro), donde el período de tiempo debe incluir el pasado y el futuro, y la reducción o sus causas pueden no haber cesado, o pueden no ser entendidas, o pueden no ser reversibles, basándose en y cumpliendo al menos una de las opciones a) a e) mencionadas en A1.

B. Distribución geográfica en la forma B1 (extensión de presencia) o B2 (área de ocupación) o ambas:

- 1) Extensión de presencia estimada menor a 100 km², y estimaciones indicando el cumplimiento de, al menos, dos de los puntos a-c:
 - a) severamente fragmentada o conocida en una sola localidad
 - b) disminución continua, observada, inferida o proyectada, en cualquiera de los siguientes aspectos:
 - i) extensión de presencia
 - ii) área de ocupación
 - iii) área, extensión y/o calidad del hábitat
 - iv) número de localidades o subpoblaciones
 - v) número de individuos maduros
 - c) fluctuaciones extremas en cualquiera de los siguientes aspectos:

- i) extensión de presencia
- ii) área de ocupación
- iii) número de localidades o subpoblaciones
- iv) número de individuos maduros

2) Área de ocupación estimada menor a 10 km², y estimaciones indicando el cumplimiento de, al menos, dos de los puntos a-c:

- a) severamente fragmentada o conocida en una sola localidad
- b) disminución continua, observada, inferida o proyectada, en cualquiera de los siguientes aspectos:

- i) extensión de presencia
- ii) área de ocupación
- iii) área, extensión y/o calidad del hábitat
- iv) número de localidades o subpoblaciones
- v) número de individuos maduros

c) Fluctuaciones extremas en cualquiera de los siguientes aspectos:

- i) extensión de presencia
- ii) área de ocupación
- iii) número de localidades o subpoblaciones
- iv) número de individuos maduros

C. Tamaño de la población estimada en menos de 250 individuos maduros y ya sea:

- 1) Una disminución continua estimada de, al menos, un 25% en un período de tres años o una generación, según cuál sea el período más largo (hasta un máximo de 100 años en el futuro).
- 2) Una disminución continua, observada, proyectada, o inferida, en el número de individuos maduros y al menos uno de los siguientes subcriterios (a-b):

- a) estructura poblacional en una de las siguientes formas:
 - i) se estima que ninguna subpoblación contiene más de 50 individuos maduros
 - ii) por lo menos el 90% de los individuos maduros están en una subpoblación
- b) fluctuaciones extremas en el número de individuos maduros

D. Se estima que el tamaño de la población es menor de 50 individuos maduros.

E. El análisis cuantitativo muestra que la probabilidad de extinción en estado de vida silvestre es de, al menos, un 50% dentro de 10 años o tres generaciones, dependiendo de cuál sea el período más largo (hasta un máximo de 100 años).