



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“Distribución potencial del “*Ambystoma mexicanum*” en los canales de la zona chinampera de Xochimilco”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

ANA VICTORIA CONTRERAS RUIZ ESPARZA



DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del Alumno
Contreras
Ruiz Esparza
Ana Victoria
56 22 91 48
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
098543201
2. Datos del tutor
Dr
Luis
Zambrano
González
3. Datos del sinodal 1
Dr
Enrique
Martínez
Meyer
4. Datos del sinodal 2
Dra
Marisa
Mazari
Hiriart
5. Datos del sinodal 3
Dr
Leopoldo
Galicía
Sarmiento
6. Datos del sinodal 4
Dr
Gerardo
Pérez
Ponce de León
7. Datos del trabajo escrito
Análisis de la distribución potencial del *Ambystoma mexicanum* en los canales de la zona chinampera de Xochimilco
45 p
2006

Agradecimientos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi alma mater y apoyarme en el desarrollo integral de mis capacidades profesionales.

Al Instituto de Biología de la UNAM, Delegación Xochimilco, Instituto Nacional de Ecología. Sin su apoyo y participación no hubiera sido posible realización de este proyecto.

A la Iniciativa Darwin por la ayuda, los comentarios enriquecedores y la confianza depositada en mi persona para la realización de esta investigación.

A Polo y Alba, a Rigel Zaragoza, Enrique Martínez y a Óscar Zepeda porque sin su ayuda sus jalones de orejas y su paciencia no estaría hoy a punto de titularme.

A Luis Eguiarte, Valeria Souza y Francisco Molina por su contribución en mi formación profesional.

A Roberto Altamirano por brindarme sus conocimientos y su ayuda en las colectas.

Los sentimentales...

A mi madre por ser un gran ejemplo a seguir, por nunca darse por vencida y salir adelante por enseñarme a mantener una sonrisa en la cara aún en tiempos difíciles. Por educarme para tener fortaleza sin dejar de tener un huequito para el corazón.

A mi padre por enseñarme a ser crítica desde pequeña...aunque le haya salido el tiro por la culata por lo tozuda que le salí. Por enseñarme a caminar por la vida y admirar la naturaleza, por enseñarme a ver que aún en las cosas más pequeñas hay grandes preguntas.

A chanhuechimmon por ser tan diversos de ustedes he aprendido tanto! La dulzura y protección de Ana Ly, lo crítico y arriesgado de Beatriz, lo persistente y alegre de Adolfo, la enorme capacidad y la nobleza de Moisés. Gracias por seguir siendo familia!

A Nina por haber sido el mejor perro del mundo por sostenerme y guiarme siempre.

A mis viejas...amigas por llevar años conmigo y no desistir en el intento! Gracias por sus risas, sus sarcasmos sus ironías, gracias por no dejarme sola todas esas veces. Gracias por su amistad.

A la camada en la que crecí: Ángel, Juancho, Raúl, Abraham, Soraya y Claudia gracias por su amistad y por todos esos recuerdos...que más puedo decir con ustedes crecí.

A Luis Zambrano por nunca perder la oportunidad de aventarme al ruedo cuando veía que dudaba, gracias por todo tu apoyo y dedicación.

Al nicho y a los cuates: Luis, Paco, Laura, Chucho, Tona, Bibiana, Perla, Juan, Erika, Sofia, Roberto, Rosy, Pablo, Karla, Daniel, Lupita, Hugo, Sandra M., Marx, Lety y los que falten por haber recorrido este camino conmigo.

A mis compañeros del Laboratorio de Restauración por dejarme de hablar mientras escribía la tesis, jalarme las orejas cuando era necesario, demostrarme su cariño y brindarme su ayuda todo este tiempo.

A Aline por haberme ayudado a descubrir la otra parte de esta científica. A las niñas de la danza por su amistad y su alegría.

A todos aquellos que han contribuido de una u otra forma en mi formación.

A quienes lean después de la página 25, mi eterno agradecimiento.

Índice.

1. Resumen	1
2. Introducción	2
Antecedentes	5
Objetivos	6
Descripción del área de estudio	7
3. Método	9
4. Resultados	15
Variabilidad vertical	15
Variabilidad temporal	17
Análisis espacial	17
Variabilidad espacial	18
Zonificación	29
Distribución potencial del ajolote	31
5. Discusión	37
6. Conclusiones y Recomendaciones	44
7. Literatura citada	46

1. Resumen.

Las poblaciones de anfibios han disminuido dramáticamente en los últimos 50 años, siendo las familias Rheobatrachidae, Lepodactylidae, Bufonidae y Ambystomatidae las que presentan un declive poblacional mayor que el resto de los anfibios. Este problema se ha visto acentuado en la última década en América del Norte donde se distribuye la familia Ambystomatidae, una de las más expuestas al declive poblacional. Perteneciente a esta familia, la especie *Ambystoma mexicanum* es endémica de la Cuenca del Valle de México. Esta especie sobrevive de manera relictual en los lagos de Xochimilco y Chalco.

En estudios recientes se ha encontrado que el ajolote, *Ambystoma mexicanum*, ha reducido su abundancia en Xochimilco cinco veces (0.001org/m^2), por lo que ha sido puesta en la categoría de especie en peligro de extinción por la CITES. Una de las probables causas de su extinción es la reducción de su hábitat ya que la Ciudad de México históricamente ha ejercido una gran demanda sobre los cuerpos acuáticos reduciendo los sitios de distribución de esta y otras especies. Para evitar la extinción del ajolote es necesario conservar los sitios donde aún se distribuye, en el caso Xochimilco los sitios adecuados para su sobrevivencia son escasos y aislados debido a que el sistema de canales que componen este cuerpo acuático tienen un comportamiento muy heterogéneo lo que segrega los sitios que conjuntan las condiciones idóneas para la especie.

Para conocer los sitios que reúnen las condiciones necesarias para la sobrevivencia de esta especie es posible utilizar una herramienta como el GARP (por sus siglas en inglés Genetic Algorithm for Rule Set Prediction) que modela la distribución potencial de las especies en base al concepto de nicho. Esta herramienta ha sido utilizada principalmente para conocer la distribución potencial de organismos terrestres y a nivel regional por lo que son pocos los estudios que han modelado especies acuáticas y en sistemas con alta resolución.

Para lograr modelar el nicho potencial del ajolote fue necesario contar con información cartográfica de distintas variables limnéticas del sistema de canales de Xochimilco. Sin embargo no estaba disponible ya que el sistema de estudio ha sido poco documentado por lo que fue necesario crear una base de datos con variables limnéticas consideradas como fundamentales para la sobrevivencia del ajolote. Por esta razón la cartografía se obtuvo a partir de interpolaciones realizadas con datos obtenidos en el campo.

Las variables limnéticas en el sistema de canales de la zona chinampera de Xochimilco cuentan con una distribución espacial heterogénea más no aleatoria. Variables como turbidez, oxígeno, amonio, nitratos y fosfatos presentan patrones de segregación espacial lo cual sugiere que pueden existir sitios donde las poblaciones del ajolote tienen una sobrevivencia diferencial. Los resultados encontrados con el GARP corroboran lo anterior, ya que predicen pocos sitios que reúnen las condiciones adecuadas que configuran el nicho potencial de estos organismos. Además estos sitios están aislados por canales que no tienen valores de predicción, es decir donde no se puede establecer una población. Esto puede provocar que las poblaciones no estén en contacto entre ellas aumentando su posibilidad de extinción local. Los resultados obtenidos con este estudio contribuirán a la conservación a nivel local del *Ambystoma mexicanum*.

2. Introducción.

Las poblaciones de anfibios han disminuido dramáticamente en los últimos 50 años, siendo las familias Rheobatrachidae, Lepodactylidae, Bufonidae y Ambystomatidae las que presentan un declive poblacional mayor que el resto de los anfibios (Stuart, 2004). Aunque este es un problema mundial, es en América del Norte donde este problema ha aumentado en la última década (Houlahan, 2000 y Alford, 2001). Si bien, los anfibios no son las únicas especies que han visto disminuidas sus poblaciones en los últimos siglos, diversos estudios han tratado de explicar las causas de su declive ya que son considerados como indicadores de la calidad del ecosistema debido a su condición anfibia (Blaustein, 1994, Blaustein & Wake 1995, en Blaustein & Kiesecker 2002).

Existen seis causas principales que pueden explicar la reducción de las poblaciones de anfibios: 1) la sobreexplotación de las especies para usos comerciales, 2) la introducción de especies exóticas a su ambiente, 3) el cambio de uso de suelo que puede reducir su hábitat, 4) el cambio climático global que disminuye la humedad y potencia los efectos de los rayos UV, 5) el incremento en el uso de plaguicidas y otros compuestos tóxicos, 6) enfermedades emergentes, en particular los hongos *Batrachochytrium dendrobatidis* y *Saprolegnia ferax* (Pounds, 2001; Blaustein y Kiesecker, 2002; Collins y Storfer 2003, Pounds y Puschendorf, 2004). Mientras que los efectos de las primeras tres causas pueden ser controlados ya que son efectos directos de la actividad humana, los últimos tienen un espectro de acción más amplio y son de aparición relativamente más reciente.

México ocupa el quinto lugar en diversidad de anfibios ya que contiene 285 especies, de las 4006 especies existentes, es decir el 7.1% del total mundial. De las especies que se distribuyen en nuestro país 174 son endémicas y más del 50% se encuentra bajo algún nivel de protección (Flores, 1993; IUCN, 2004; CONABIO, 1998). Una de las familias más expuestas al declive poblacional es la Ambystomatidae, que se distribuye exclusivamente en Norte América con un total de 30 especies. De éstas, 17 han sido registradas para México y se distribuyen principalmente sobre el eje Neovolcánico Transversal. Una de las cuencas que comprende este eje es la del Valle de México (Schaffer, 1989). En particular, la especie *Ambystoma mexicanum* es endémica de esta cuenca y se cree que originalmente se distribuía en los seis lagos que conformaban esta cuenca: Chalco, México, Texcoco, Xaltócan, Xochimilco y Zumpango (Duhon, 1997).

El ajolote *Ambystoma mexicanum* se caracteriza por tener una cabeza grande y achatada con ojos de color amarillo iridiscente que carecen de párpados móviles, además presentan branquias externas en forma de abanico. Su cuerpo es robusto alcanzando los 30 cm de largo llegando a pesar hasta 300 gramos, sus apéndices son cortos y su aleta caudal es gruesa. El patrón de coloración de esta especie es oscuro y presenta patrones moteados verdosos o grises (Armstrong *et al.*, 1989; Huacuz, 2002).

El ajolote es una de las cinco especies del Altiplano que tienen la característica de ser neoténicas facultativas. Esto quiere decir que puede retener los caracteres juveniles y alcanzar la madurez sexual, sin tener que salir del agua, a menos que las condiciones del medio no le sean favorables y sufran metamorfosis (Schaffer, 1989). La madurez sexual en esta especie se alcanza al año de edad, llegando a ovopositar hasta 660 huevos por puesta después de los tres años (Armstrong, *et al.*, 1989). En general los ciclos reproductivos del género *Ambystoma* están relacionados con la temperatura y la precipitación pluvial que determinan el inicio de la gametogénesis, presentándose principalmente durante el invierno (Huacuz, 2002). Existen reportes de la reproducción *in situ* de ajolotes donde se observaron puestas sobre las plantas durante el mes de febrero (Duhon, 1997).

Los sitios de distribución del ajolote se han visto reducidos ya que varios de los lagos han sido desecados o entubados, por la alta demanda de agua que ejerce el Distrito Federal, una de las megalópolis más grandes del mundo, sobre los lagos que la rodean. En la actualidad esta especie solo se encuentra en Xochimilco, Chalco y Chapultepec, este último es un lago artificial de reciente creación. (Duhon, 1997; Zambrano *et al.*, 2004; IUCN, 2004).

En un trabajo reciente, (Valiente, 2006), se encontró que la abundancia del ajolote en Xochimilco era de 0.001org/m². Al comparar esta cifra con un estudio realizado por Graue (1998) se encontró que la población había disminuido seis veces en cinco años. Este organismo se encuentra en la lista de especies en riesgo en el listado del CITES (NOM-059-SEMARNAT, 2001) bajo la categoría de Especie Sujeta a Protección Especial y está siendo revisada para entrar al Apéndice I como especie en peligro de extinción.

La estructura poblacional del ajolote sugiere que el primer año de vida es el más vulnerable y del cual depende el éxito de la población. Algunos factores que pueden intervenir en la disminución poblacional en los canales de Xochimilco son los siguientes: 1) los individuos se concentran en sitios aislados y específicos, es decir, se distribuyen en un patrón de agregación en las poblaciones. 2) Existe una fragmentación del hábitat debido al incremento en los asentamientos irregulares en la zona. 3) Existe una mayor propensión a que los individuos adquieran enfermedades de origen bacteriano y fúngico. 4) Las especies introducidas son depredadores potenciales de los primeros estadios y pueden estar compitiendo por los mismos recursos durante el ciclo de vida. 5) El régimen hídrico es manipulado de manera directa por el hombre, por lo que se presentan cambios ambientales rápidos. 6) La pesca furtiva es selectiva sobre los individuos menores de un año. De los dos primeros puntos se puede inferir que no todos los canales cumplen con los requerimientos específicos de nicho (Zambrano, *et al.*, 2004).

La cuenca del Valle de México, ha sido modificada desde tiempos prehispánicos. En esa época fueron construidos canales de irrigación, se formaron lagos y pantanos artificiales, se diseñaron sistemas de drenaje para prevenir inundaciones y también se crearon las chinampas, parcelas que emergen del agua (Rojas, 1985). Con la llegada de los españoles la mayoría de estas obras hidráulicas fueron destruidas y la ciudad de México estuvo expuesta a grandes periodos de inundaciones, por lo que se creó el Tajo de Nochistongo que desecaría parte de los lagos. En el siglo pasado se realizaron dos grandes obras más: El Gran Canal y el sistema de Drenaje Profundo, obras que continuaron con la tendencia a desecar los lagos (Domínguez, 2000). Otra de las modificaciones más relevantes para este sistema fue la creación de pozos de extracción de agua del subsuelo para abastecer a la ciudad de México. Debido a esto, hoy en día el principal aporte de agua a los canales proviene de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemanco (Cisneros, 2005).

La alta tasa de crecimiento demográfico de la región (3.41 en 1995), ha puesto en riesgo el nombramiento otorgado por la UNESCO como patrimonio de la humanidad, ya que ha generado asentamientos irregulares en la zona de conservación, reduciendo el área de rescate y preservación ecológica (en particular la zona lacustre), llegando a reportarse

en 1997 solo el 42.2% de lo que se había establecido originalmente. En el censo del año 2000 realizado por el INEGI, se registraron 368,798 habitantes en la delegación de Xochimilco.

La reducción del área del lago de Xochimilco, los cambios en las actividades humanas que ahí se realizan, la introducción de especies exóticas de peces y plantas y el aporte de agua por parte de las plantas de tratamiento, han contribuido a que las condiciones del agua no sean homogéneas en el sistema (Sandoval, 2003, Zambrano *et al.*, 2004). Los factores anteriormente mencionados modifican y reducen los sitios de establecimiento y reproducción del ajolote, ya que solo se obtuvieron datos de colecta en cinco de los canales muestreados, los cuales se encuentran dentro de la zona sujeta a protección ecológica de los Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Antecedentes.

Hutchinson (1957) define el concepto de nicho como un espacio n-dimensional donde la interacción entre las diversas variables ambientales (físicas, químicas y biológicas) determinan la abundancia y distribución de una especie. Por lo tanto, las modificaciones observadas en los patrones de distribución espacial del ajolote implican una reducción en el nicho de esta especie.

Recientemente se han desarrollado técnicas que permiten caracterizar el nicho ecológico multidimensional de las especies. Una de estos sistemas es el *Genetic Algorithms for Rule Set Prediction* (GARP). Para ello el GARP utiliza bases de datos con referencias geográficas de los sitios donde se ha colectado una especie y mapas digitales. Estos últimos se encuentran en formato raster, que muestran el comportamiento de las variables ambientales. A partir de esto, el programa genera un modelo del nicho de la especie en cuestión, los resultados obtenidos con este análisis se muestran a manera de un mapa. La generación de estos modelos parte del supuesto de que en los sitios donde se obtuvieron los datos de presencia las variables ambientales presentan las características específicas de su nicho.

Son pocos los estudios de distribución potencial que se han realizado para especies acuáticas o de anfibios (Olden y Jackson 2001; Wiley *et al.*, 2003; Raxworthy *et al.*,

2003; Iguchi *et al.*, 2004; Vander Zanden *et al.*, 2004; Drake y Brossenboek, 2004; McNyset, 2005; Ron 2005; Parra *et al.*, 2005). Esto se debe a que son pocas las coberturas que están disponibles para las especies de agua dulce, lo cual dificulta realizar los análisis. Estas coberturas se pueden obtener a partir de interpolaciones de datos obtenidos en campo, este proceso permite predecir los valores de un punto determinado a partir de los datos conocidos (ESRI, 2001; FAO, Proyecto GCP/RLA/139JJPN).

Uno de los principales problemas para establecer políticas de manejo para el ajolote es que se conoce poco de sus requerimientos ambientales. Además, los canales donde se han colectado algunos ejemplares no presentan un patrón estable y parecen fluctuar en el tiempo (Zambrano *et al.*, 2004). El presente proyecto se planteó para encontrar sitios de distribución potencial del ajolote, y además contar con indicios de los requerimientos específicos que determinan su nicho y que pudieran estar influyendo en el declive de sus poblaciones. Conocer la distribución espacial de los ajolotes y sus requerimientos específicos de nicho puede contribuir en el desarrollo de planes de manejo que contemplen la restauración ecológica de Xochimilco.

Objetivos.

Objetivo General. Realizar una predicción de la distribución espacial de la especie *Ambystoma mexicanum* con base en sus requerimientos ecológicos.

Objetivos Particulares.

1. Analizar la distribución temporal y espacial de algunas variables limnéticas en los canales de Xochimilco.
2. Generar la cartografía de las variables limnéticas muestreadas en los canales de Xochimilco.
3. Modelar la distribución potencial de la especie *Ambystoma mexicanum* utilizando el programa GARP.

Descripción del área de estudio.

La delegación Xochimilco se encuentra en la región sur del Distrito Federal, colinda con las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac, Milpa Alta y Tlalpan. Tiene una superficie de 122 km², es decir, el 7.9% del total de la superficie del estado. Los límites de sus coordenadas geográficas son: latitud 19°09' a 19°15' y longitud 99°00' a 99°09' con una altitud de 2240 msnm. El lago de Xochimilco se encuentra en la región del Pánuco, en la subcuenca Lago Texcoco-Zumpango perteneciente a la cuenca del río Moctezuma (INEGI, 2002). En la parte norte de la delegación se encuentra un relicto de los lagos del valle de México, conformado por 180 km de canales adscritos a la zona chinampera en las coordenadas 19°15' y 99°06'. Fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en el año de 1987. En 1992, el área comprendida entre las coordenadas 19°17'99.05'' y 19°17'99.03'' fue decretada como zona sujeta a conservación ecológica bajo el nombre "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco" (INEGI, 2002). Xochimilco tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw₁) tiene una precipitación anual promedio de 680 mm (INEGI, 2006). Con una temperatura promedio de 15°C llegando a los 21.3°C en el mes más caluroso.

La Cuenca de México cuenta con alrededor de 3, 000 especies de plantas vasculares, que representa el 2% de la diversidad mundial. Esta riqueza se concentra particularmente en la zona sur del Distrito Federal, por lo que ha sido considerada dentro de las regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad por instancias nacionales y extranjeras (Gobierno del Distrito Federal, 2006). En el Área Natural Protegida, el recuento florístico obtuvo como resultado una lista de 180 especies distribuidas en 135 géneros y 63 familias, siendo la familia Asteraceae la más representada. Las especies *Nymphaea mexicana* (ninfa), *Erirtrina coralloides* (colorín), *Cupressus lusitanica* (cedro blanco), *Hacer negundo* var. *mexicanum* (acezintle) se encuentran bajo algún nivel de protección debido a que sus poblaciones han disminuido (Gobierno del Distrito Federal, 2006).

En cuanto a la fauna, el Área Natural Protegida alberga 139 especies: 21 de peces, 6 de anfibios, 10 de reptiles, 79 de aves y 23 de mamíferos (Gobierno del Distrito Federal, 2006). Nueve de estas especies están enlistadas en alguna categoría de protección de acuerdo a la NOM-059-SEMARNAT-2001. En Xochimilco se distribuyen cinco especies endémicas: dos de peces *Chirostoma humboltianum* (charal del Valle de

México) y *Algansea tincella*, y tres de anfibios: *Ambystoma mexicanum* (ajolote), *Rana montezumae* (rana de Moctezuma) y *Rana tlaloci* (rana de Xochimilco o de Tláloc) (Gobierno del Distrito Federal, 2006). Además este lago es un refugio para las aves migratorias y para algunas especies locales.

La delegación concentra el 3.90% de la vivienda de la ciudad de México, con un total de 368, 798 habitantes (INEGI, 2000). El crecimiento demográfico de esta región fue de 3.41% en 1995. Una de las principales actividades económicas en Xochimilco es la agricultura que ocupa el 41.37% de la superficie de esta demarcación, dicha área es la única apta para el cultivo. El uso potencial de suelo para actividades pecuarias es de solo el 2.34% (INEGI, 2002).

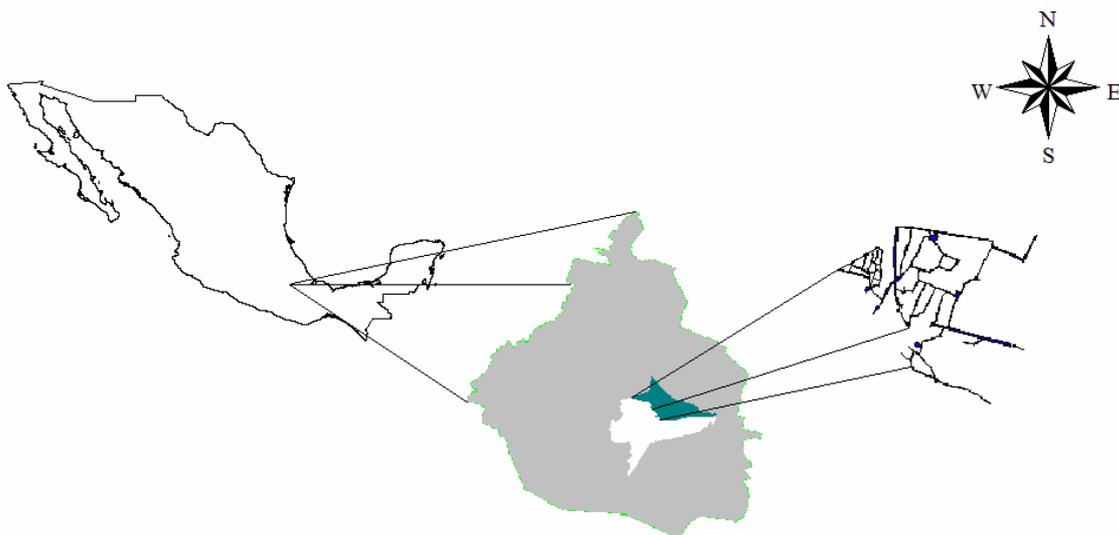


Figura 1. Localización del la zona chinampera de Xochimilco, D.F., México.

3. Método.

- Diseño de muestreo.

A fin de contar con una muestra espacialmente representativa de las condiciones ambientales del lago de Xochimilco se seleccionaron los canales de muestreo con base en dos criterios: 1) contar con intersecciones entre sí a manera de crear una pequeña retícula que evitara dejar canales aislados. 2) una longitud mayor a 220 m y que tuvieran una profundidad suficiente para ser navegables. En total se muestreó en 30 canales y en los ocho lagos de la zona chinampera, cada canal contó con al menos una estación de muestreo. Estos sitios estuvieron distribuidos tanto en el centro como en las intersecciones de los canales. Las coordenadas geográficas de cada uno de estos sitios fueron tomadas con un geoposicionador marca Garmin (modelo III plus).

- Parámetros Físico-químicos.

Las colectas se realizaron en los meses de julio y octubre del 2004 obteniendo una muestra representativa de la temporada de lluvias. En total se realizaron 18 salidas, 12 en julio y seis en octubre. En ambas colectas se recabaron datos de variables físico-químicas y nutrientes en la parte media de lo ancho del canal. La variación vertical de las variables físico-químicas en el sistema de canales podía ser un factor determinante en la modelación del nicho del ajolote, por lo que en el primer muestreo se colectaron datos a tres distintas profundidades: a diez centímetros de la superficie, a 40 cm y a la máxima profundidad. Durante la segunda colecta las muestras fueron obtenidas a 40 cm de profundidad. En total se obtuvieron 59 estaciones de muestreo durante el primer mes, en el segundo mes de muestreo cinco canales no fueron navegables, por lo que solo se colectó en 54 estaciones. Los datos de nutrientes colectados en julio no arrojaron resultados confiables debido al tipo de almacenamiento del que fueron objeto, por lo que para el análisis solo se utilizaron muestras de nutrientes obtenidas durante el mes de octubre. Todas las salidas al campo se realizaron antes de mediodía, utilizando una lancha de motor facilitada por la Delegación Xochimilco, para poder cubrir la mayor cantidad de estaciones posibles por salida.

En cada una de las estaciones de muestreo se colectaron datos in situ para ocho parámetros físico-químicos: salinidad (mg/L), turbidez (UNT), conductividad (mS/cm), pH, temperatura (°C), profundidad (m), oxígeno disuelto (mg/L) y porcentaje de saturación de oxígeno. Dichos parámetros se obtuvieron para ambos meses de muestreo con una sonda multiparamétrica marca Hydrolab (modelo Quanta).

Además se obtuvieron datos para tres variables de nutrientes: amonio (N-NH₄) (mg/L), Nitratos (N-NO₃) (mg/L) y Fosfatos (P-PO₄) (mg/L). Para el análisis de estos parámetros se colectaron 250 mL de agua en frascos de plástico a 30 cm de profundidad y fueron almacenados en hielo hasta su procesamiento en el laboratorio. Las lecturas de los nutrientes se obtuvieron con un colorímetro marca LaMotte (APHA, 1998) bajo los siguientes protocolos: Amonio; fue analizado con el método de Nesslerización (APHA, 1998). Para nitratos; las lecturas se obtuvieron con el método de reducción de cadmio y con el de reducción de zinc (APHA, 1998). Para fosfatos; el análisis se realizó mediante el método de reducción del ácido ascórbico y el del ácido vanadomolibdofosfórico (APHA, 1998).

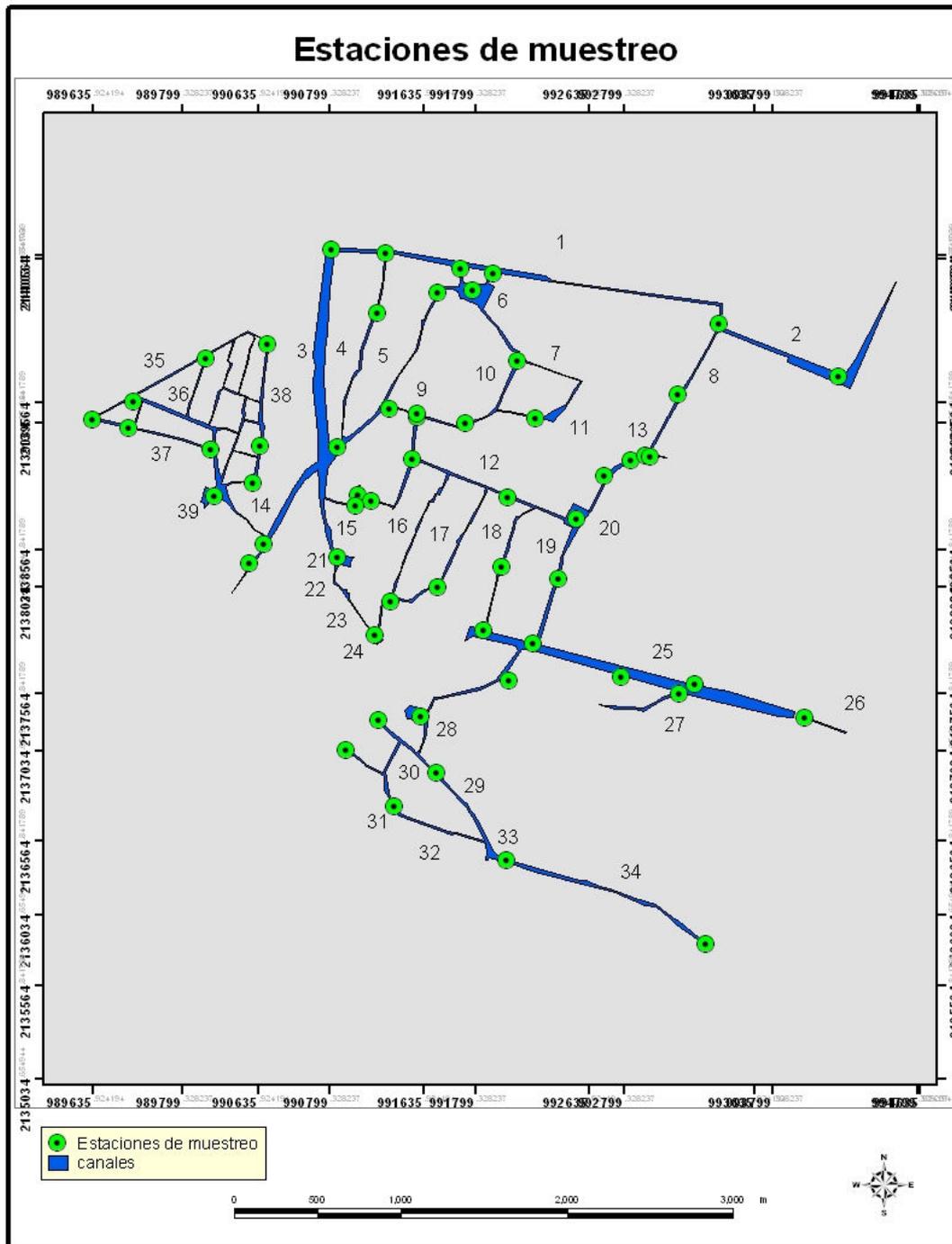


Figura 2. Distribución de las estaciones de muestreo en los canales de la zona chinampera de Xochimilco. 1. El bordo; 2. Japón; 3. Cuemanco; 4. Güerolodo; 5. Atizapa; 6. Laguna de Tilac; 7. Canal de la comunidad; 8. Tlicuili; 9. Otenco; 10. Amoloya; 11. Canal de La Virgen; 12. Apampilco; 13. Paso de Águila; 14. Canal Nacional; 15. Infernito; 16. Costepexpan; 17. Tochipa; 18. San Pedro; 19. Texhuilo; 20. Laguna de Texhuilo; 21. Laguna Asunción; 22. Laguna del Seminario; 23. Canal del seminario; 24. Laguna de San Diego; 25. Apatlaco; 26. Puente de Urrutia; 27. Y griega; 28. Laguna de Caltongo; 29. Canal Turístico; 30. San Cristóbal; 31. Laguna de Xaltocan; 32. Ma. Candelaria; 33. Laguna Nativitas; 34. Santa Cruz; 35. El Bordo Chico; 36. Toltenco; 37. Cuacalco; 38. Amelaco; 39. Laguna del Toro.

- Datos de presencia de la especie *A. mexicanum*.

Los datos de presencia del *Ambystoma mexicanum* en los canales de la zona chinampera de Xochimilco se obtuvieron del proyecto “Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los lagos de Xochimilco y Chalco” (Zambrano, 2004) realizados para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Los datos presentados en este informe se obtuvieron de enero del 2002 a septiembre del 2003. El método de captura utilizado fue lances de atarraya, realizándose un total de 1,821 lances en los canales. Se encontraron ajolotes en cinco canales: Celada, Laguna del Toro, El Bordo, Japón y Puente de Urrutia (Valiente, 2006).

- Análisis estadístico.

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) de los datos obtenidos en campo. Para comparar las tres distintas profundidades muestreadas en el mes de julio se realizaron análisis de varianza no paramétricos de Kruskal-Wallis ya que los datos no pasaron la prueba de normalidad. Para las pruebas con diferencias significativas se utilizó el método de Dunn's. Con el objetivo de saber si existen diferencias estacionales, se realizaron pruebas no paramétricas de Mann-Whitney con las 11 variables físico-químicas obtenidas en ambos muestreos.

- Análisis espacial.

Se creó una base de datos con la información recabada para cada estación. Esta base de datos fue sometida a un proceso de interpolación para cada variable con el programa Arc Map. 8.1. Este proceso permitió obtener una cobertura para cada parámetro. Las interpolaciones predicen el valor de un punto determinado a partir de los valores de las estaciones vecinas. Debido a que las coberturas sólo debían incluir el área de los 30 canales muestreados fue necesario crear un polígono que los delimitara y utilizar éste como barrera en la interpolación. Dicho polígono se obtuvo a partir de una fotografía aérea (Fotomosaico escala 1:5000. Instituto de Geografía, UNAM, 2002) con el programa Arc View 3.2.

El método de interpolación seleccionado para este caso fue el Gravitacional o Inverso de la Distancia (IDW, por sus siglas en inglés *Inverse Distance Weighted*). Este procedimiento supone que la influencia que puede llegar a ejercer un punto para determinar el valor desconocido de una celda disminuye entre mayor sea su distancia. Para poder delimitar la influencia de esta distancia existen dos parámetros: 1) el poder que define la influencia de los puntos más cercanos sobre la predicción de la nueva celda o píxel, y 2) el radio de búsqueda que puede ser fijo o variable. El radio de búsqueda fijo está dado por la distancia de los puntos muestreados a la celda de interés, en tanto que el radio de búsqueda variable es el que se relaciona con el número de puntos que pueden determinar la predicción de la celda. Las interpolaciones realizadas para este estudio se hicieron utilizando un poder de 8 otorgando más peso a los vecinos más cercanos, y un radio de búsqueda variable con doce puntos de influencia. Una vez obtenidas las coberturas se hizo una caracterización de los canales a partir de los patrones encontrados dentro de los mismos.

- Modelado del nicho ecológico.

El concepto de nicho se basa en un conjunto de condiciones ambientales adecuadas para mantener durante un largo plazo, las poblaciones una especie sin migración (Grinnell, 1917). El programa GARP supone que los sitios de presencia de una especie determinada cumplen con las características de su nicho y busca otros sitios que cumplan con estas características.

Para obtener los modelos de distribución potencial, el GARP re-muestra los puntos de presencia hasta reunir 1250 píxeles que coinciden con estos datos y muestrea al azar una cantidad igual de puntos donde no hay registros. Estos 2500 píxeles son divididos de manera aleatoria conformando dos grupos, uno de los cuales será utilizado para realizar la modelación y el otro para validarla. Los primeros modelos de nicho se obtienen al aplicar regresiones logísticas y reglas bioclimáticas, evaluando e iterando los resultados de éstas con los datos seleccionados para el análisis. De esta manera se obtienen una serie de reglas que relacionan los datos de presencia y ausencia con las variables bioclimáticas que han sido utilizadas para crear el modelo. Las reglas obtenidas son evaluadas y calificadas utilizando los datos de validación. Este conjunto de reglas son

perfeccionadas utilizando algoritmos genéticos; es decir, por medio de mutaciones, deleciones, sustituciones, y translocaciones hasta encontrar el mejor conjunto de reglas. Este proceso se itera varias veces hasta que el conjunto de reglas ya no mejora. Finalmente este modelo de nicho es proyectado a un escenario geográfico y se produce un mapa binario que representa la distribución de las condiciones adecuadas para que la especie se establezca, es decir, su nicho.

Las once coberturas y los cinco sitios de presencia del ajolote fueron empleados para alimentar el programa GARP. Con este análisis se obtuvieron 100 modelos independientes de predicción de presencia del ajolote. De estos modelos se seleccionaron diez con base en dos criterios: el primero fue que el modelo tuviera un error de omisión menor al 10%, es decir que realice predicciones correctas para el 90% de los casos conocidos. El segundo criterio fue que el área de predicción del modelo seleccionado fuera cercana a la mediana del área predicha por los 100 modelos. Finalmente se obtuvo un mapa de consenso que fue resultado de la suma de los 10 mapas con el programa Arc View 3.2 (Anderson, et al., 2003).

4. Resultados.

Las variables limnéticas describen a los canales de Xochimilco como sitios someros con un pH básico y altas concentraciones de nutrientes. Además, tienen una temperatura templada, altos niveles de turbidez y una concentración de oxígeno suficiente para mantener condiciones de vida al interior del cuerpo de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Promedio de los valores obtenidos para las variables limnéticas.

Sitio	OD mg/L	OD% %	T °C	Cond mS/cm	pH	Prf m	Sal mg/L	Tur UTN	NH4 mg/L	NO3 mg/L	PO4 mg/L
El Bordo	7.39	87.54	22.39	0.63	8.73	0.85	0.43	70.68	0.55	4.13	3.89
Cuemanco	6.11	70.74	21.42	0.68	7.88	0.58	0.43	68.89	0.47	10.74	6.72
La Virgen	7.28	84.96	21.42	0.74	8.11	0.61	0.50	86.73	1.57	5.78	9.46
Infiernito	4.35	30.51	15.18	2.28	6.68	2.58	2.11	14.91	2.94	8.61	8.48
Apampilco	6.92	81.13	21.14	0.76	7.96	0.76	0.52	48.96	2.01	9.39	9.17
Apatlaco-Urrutia	4.43	51.45	18.70	0.94	7.58	1.04	0.60	31.84	1.84	9.03	8.64
Pizocoxpa	2.79	31.90	20.59	0.66	7.34	0.70	0.40	49.00	2.34	11.44	8.40
Belem -Sta.Cruz	4.40	48.78	20.59	0.63	7.56	1.10	0.40	61.83	1.43	35.68	8.50
Caltongo-Turistico	2.19	23.90	20.99	0.63	7.27	1.63	0.40	27.20	1.42	16.87	7.63
Canal Nacional	5.26	61.15	21.60	0.75	7.59	1.00	0.50	36.45	1.79	14.89	10.55
El Bordo Chico*	1.34	15.30	20.44	1.18	7.32	1.40	0.80	22.50	ND	ND	ND
Toltenco*	5.31	61.90	21.47	1.20	7.82	1.90	0.80	77.60	1.04	0.44	10.10
Cuacalco	2.76	31.10	20.71	1.13	7.70	1.20	0.77	63.30	1.27	0.55	10.60
Laguna del Toro*	3.25	39.00	20.95	0.99	8.10	0.60	0.60	30.80	0.79	0.57	11.90
Amelaco	4.11	47.67	21.37	1.08	7.89	0.87	0.70	55.10	1.32	0.00	8.67
Media	4.53	51.13	20.60	0.95	7.70	1.12	0.66	49.72	1.48	9.15	8.76
D.S.	1.87	22.92	1.70	0.42	0.47	0.56	0.43	21.76	0.68	9.40	1.93

NOTA: Los sitios marcados con asterisco son datos únicos. ND= sin registro. D. S.= Desviación estándar. DO= oxígeno disuelto; DO%= Porcentaje de Saturación de Oxígeno; T= Temperatura; Cnd= Conductividad; pH= Potencial de Hidrógeno; Prf= Profundidad; Sal= Salinidad; Tur= Turbidez; NH4⁺= Amonio; NO3⁻= Nitratos; PO4⁺= Fosfatos.

Variabilidad Vertical.

La comparación entre las tres diferentes profundidades presentó diferencias significativas en cinco de las siete variables registradas (Figura1). Las bajas concentraciones de oxígeno sugieren que los canales tienen condiciones anóxicas que se incrementan con la profundidad. La temperatura también presenta diferencias significativas con respecto a la máxima profundidad, esto da indicios de la presencia de una gradiente de temperatura con respecto a la profundidad, con una diferencia de tan solo un grado. Los canales de Xochimilco presentan valores de turbidez relativamente altos que se incrementan con la profundidad.

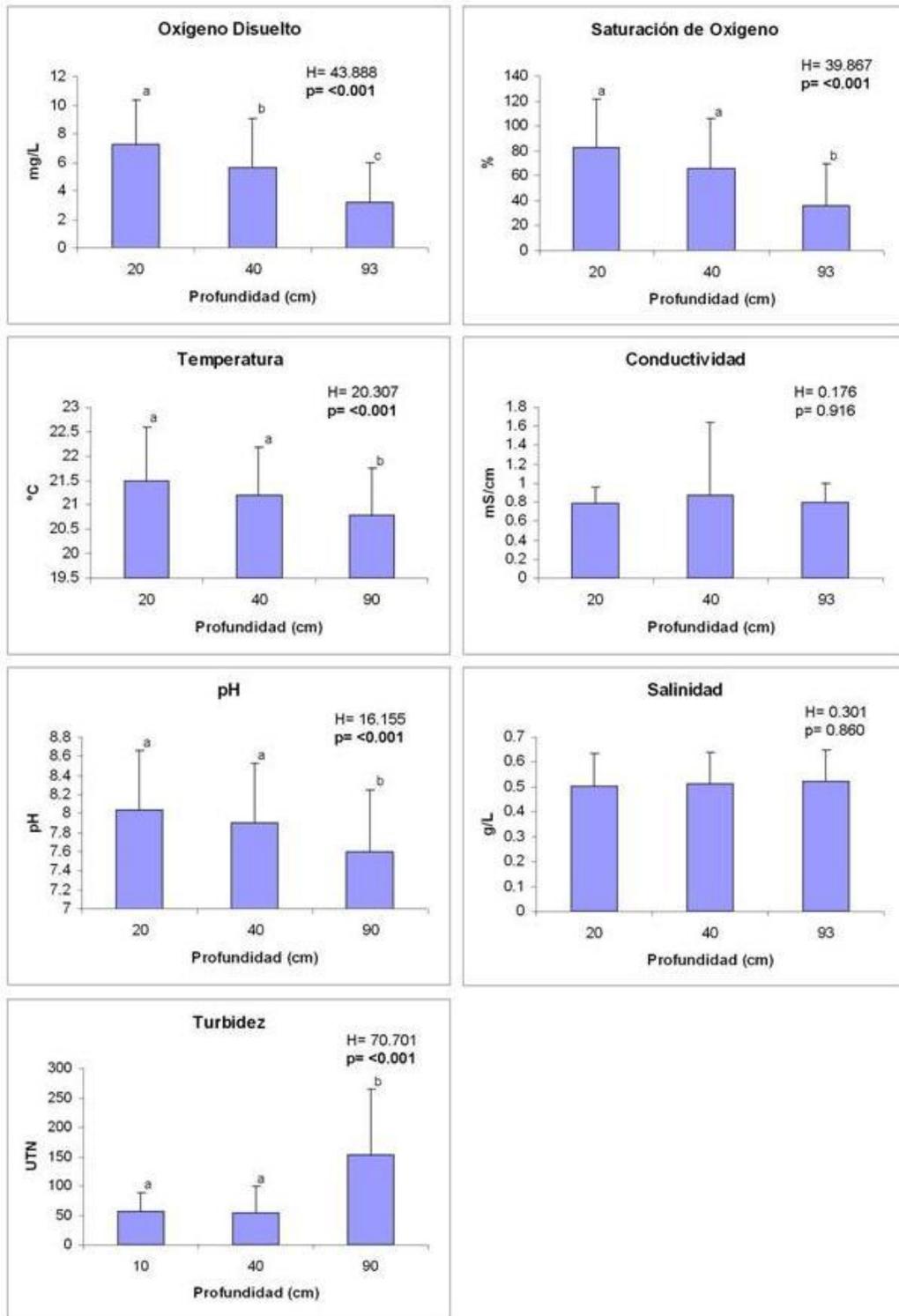


Figura 3. Valores promedio de las variables físico-químicas a diferentes profundidades. Las diferencias significativas del *pos hoc* son representadas por letras diferentes, estas serán iguales donde no hay diferencias.

Variabilidad Temporal.

Existen diferencias significativas en tres variables: conductividad, profundidad y temperatura; ésta última variable está relacionada con los factores temporales y las dos anteriores probablemente se vean afectadas por las actividades humanas (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de parámetros físico-químicos entre los muestreos de julio y octubre, 2004.

	Media julio	Media octubre	T	P	N
Temperatura	21.245	18.89	1398.5	<0.001	109
Salinidad	0.5	0.5	3088	0.086	109
Conductividad	0.732	0.795	3142	0.041	109
pH	7.79	7.75	2770	0.834	109
Turbidez	47.05	37.2	2534.5	0.101	109
Profundidad	0.9	0.7	2477	0.047	109
Oxígeno	5.713	5.499	0.342	0.733	109
Oxígeno %	66.388	60.822	0.771	0.443	109

Análisis Espacial.

La delimitación de los canales a partir del fotomosaico permitió obtener una retícula conformada por 28 canales y 8 lagunas, representativos de la compleja red de canales que constituye la zona chinampera de Xochimilco. Los canales de mayor longitud fueron: Apatlaco, El Bordo, Japón, Santa Cruz, Cuemanco y El Bordo Chico (Figura 2). El conjunto de canales que rodean el Lago del Toro están conectados con el resto del sistema por medio de un solo canal, lo mismo sucede con la zona Turística de Nativitas, que está comunicada por una compuerta, en el lago de Caltongo, que regula la profundidad de la zona. Puente de Urrutia es la entrada a los canales del Ejido San Gregorio, más no se encuentra conectado con la zona chinampera, éste fue el único canal aislado que se contempló en el análisis debido a que se cuenta con datos de presencia de ajolote en este sitio.

Variabilidad Espacial

Los análisis de interpolación dieron como resultado once mapas de las variables limnéticas, las cuales tuvieron un comportamiento espacial heterogéneo.

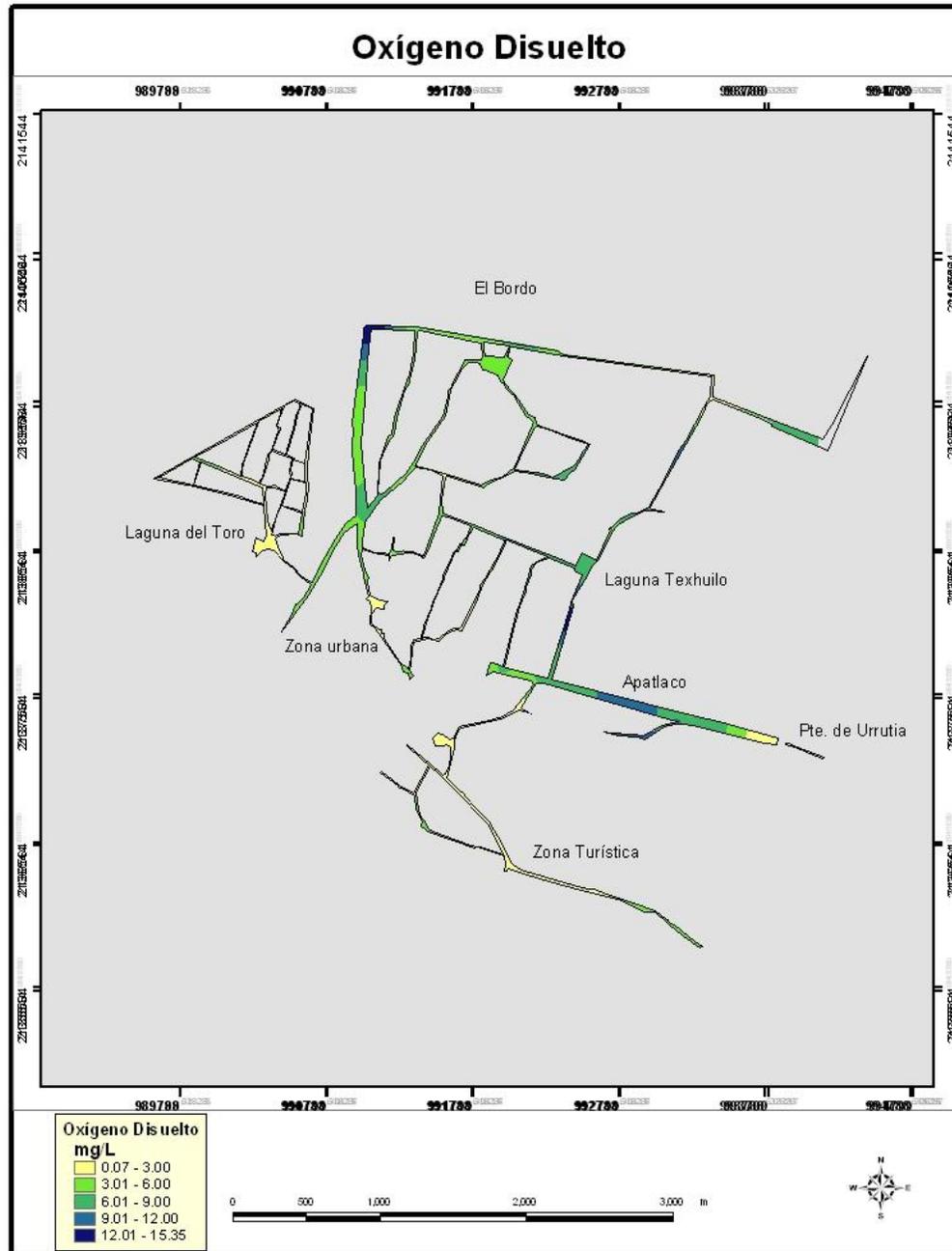


Figura 4. Interpolación de oxígeno disuelto (mg/L) en la zona de canales de Xochimilco.

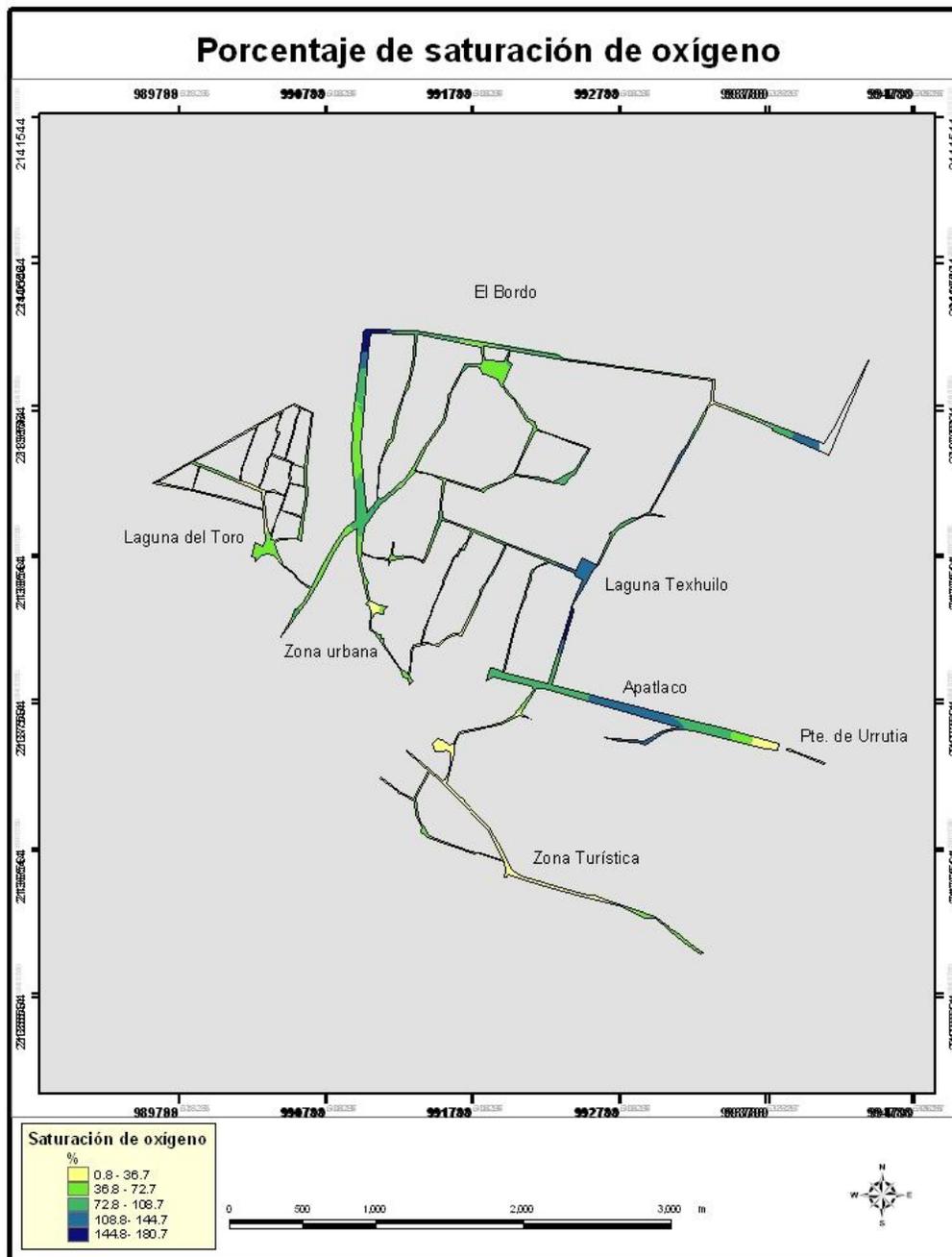


Figura 5. Interpolación del porcentaje de saturación de oxígeno en la zona de canales de Xochimilco.

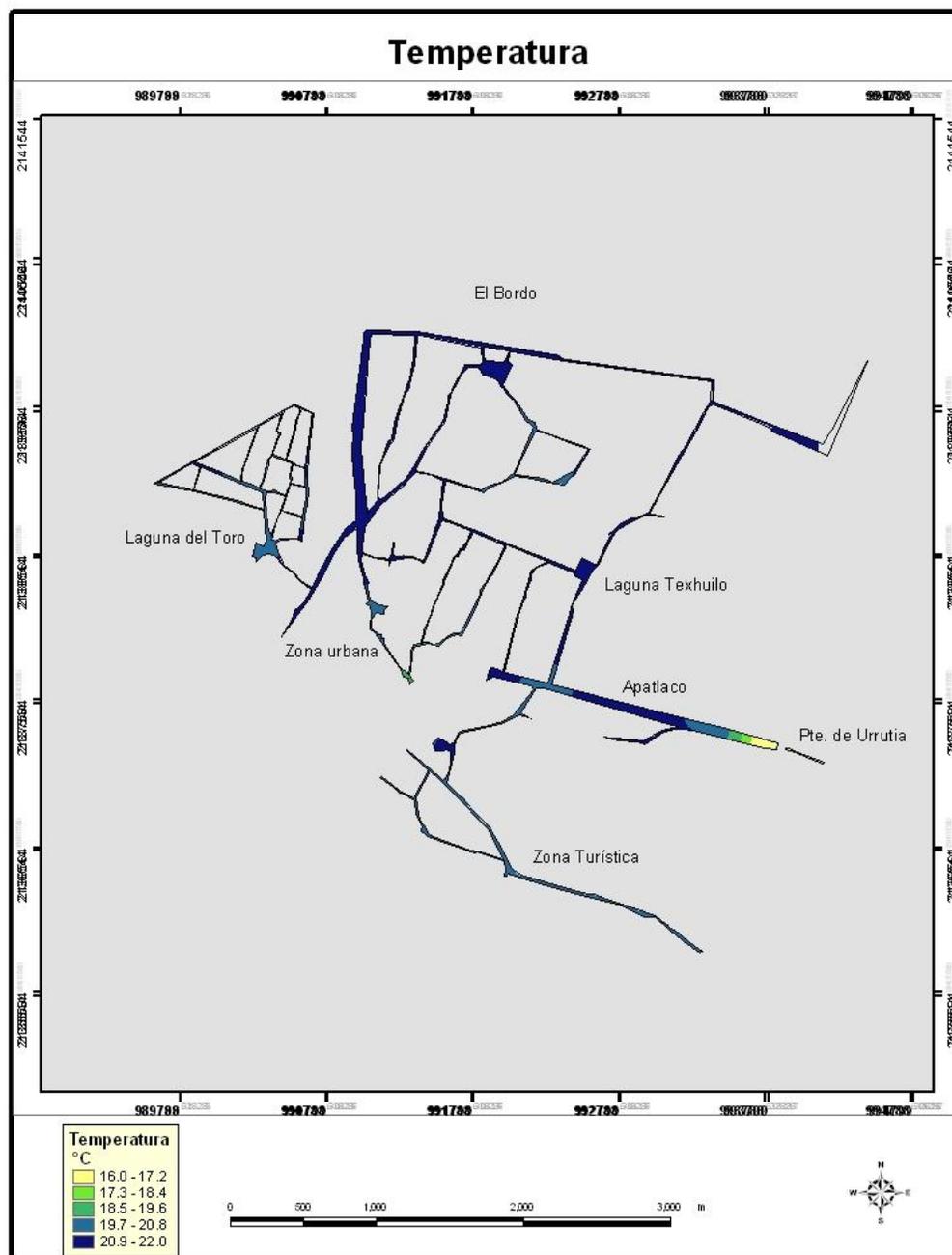


Figura 6. Interpolación de temperatura en °C de la zona de canales de Xochimilco.

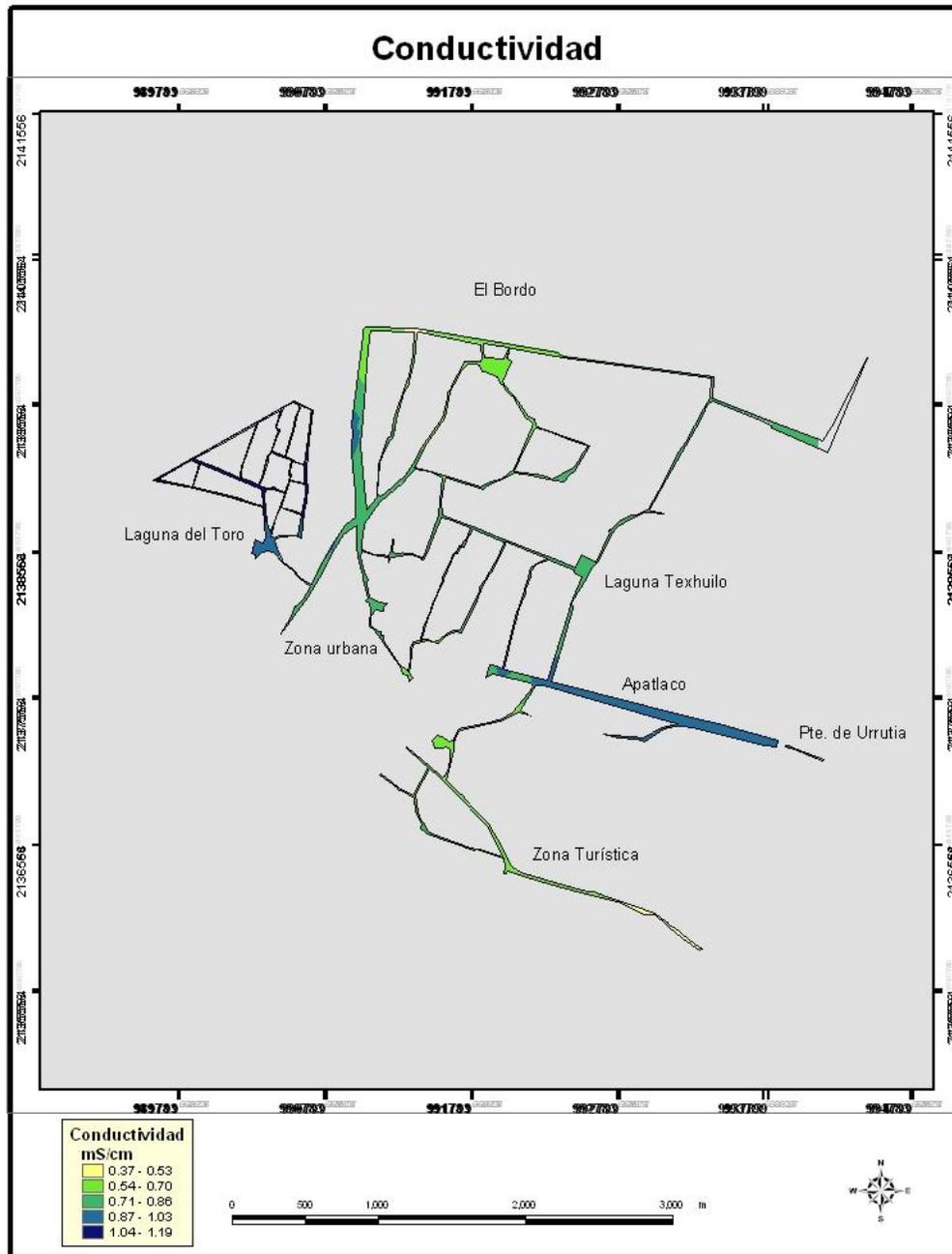


Figura 7. Interpolación de los valores de conductividad en mS/cm para los canales de la zona chinampera de Xochimilco.

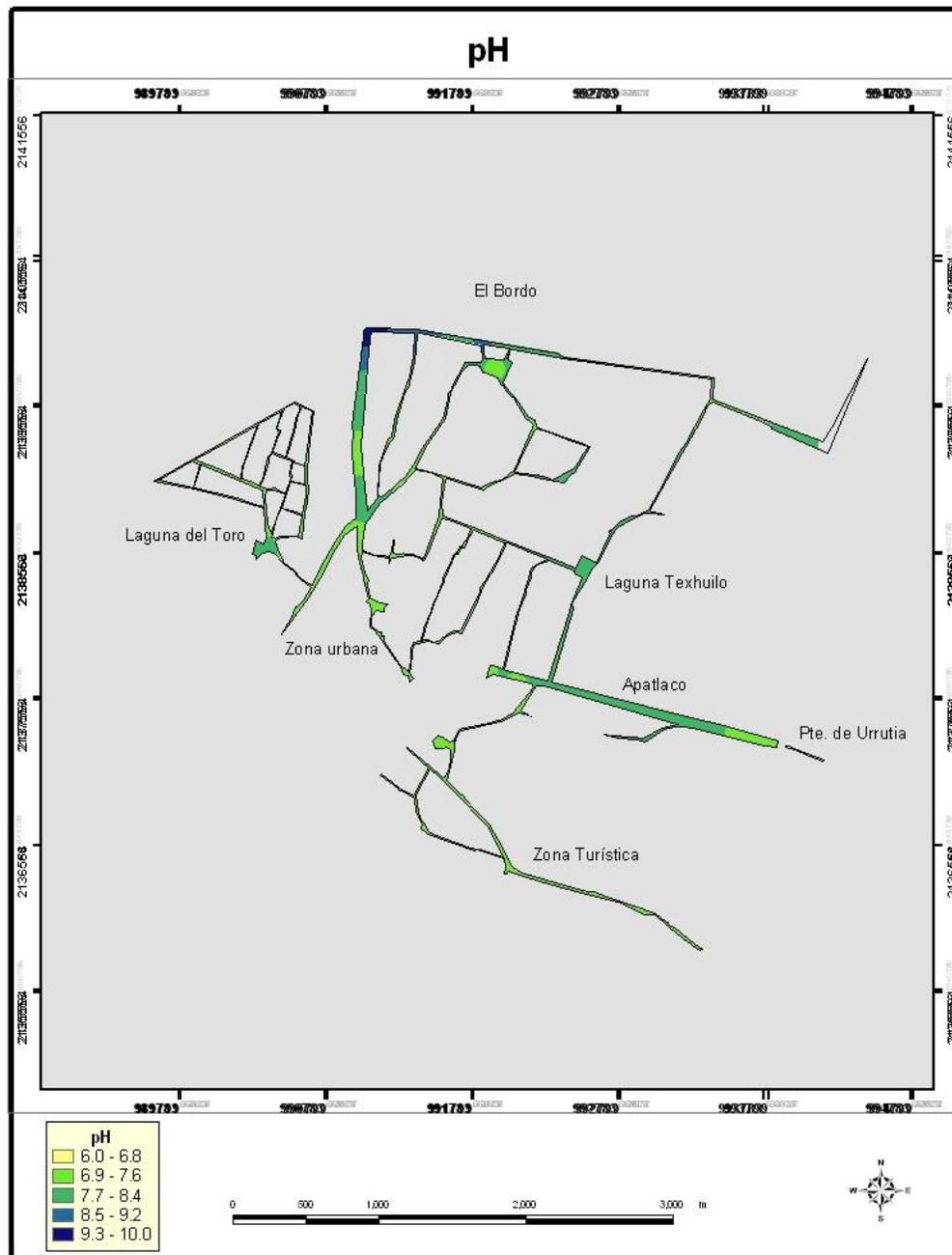


Figura 8. Interpolación de los valores de pH en los canales de Xochimilco.

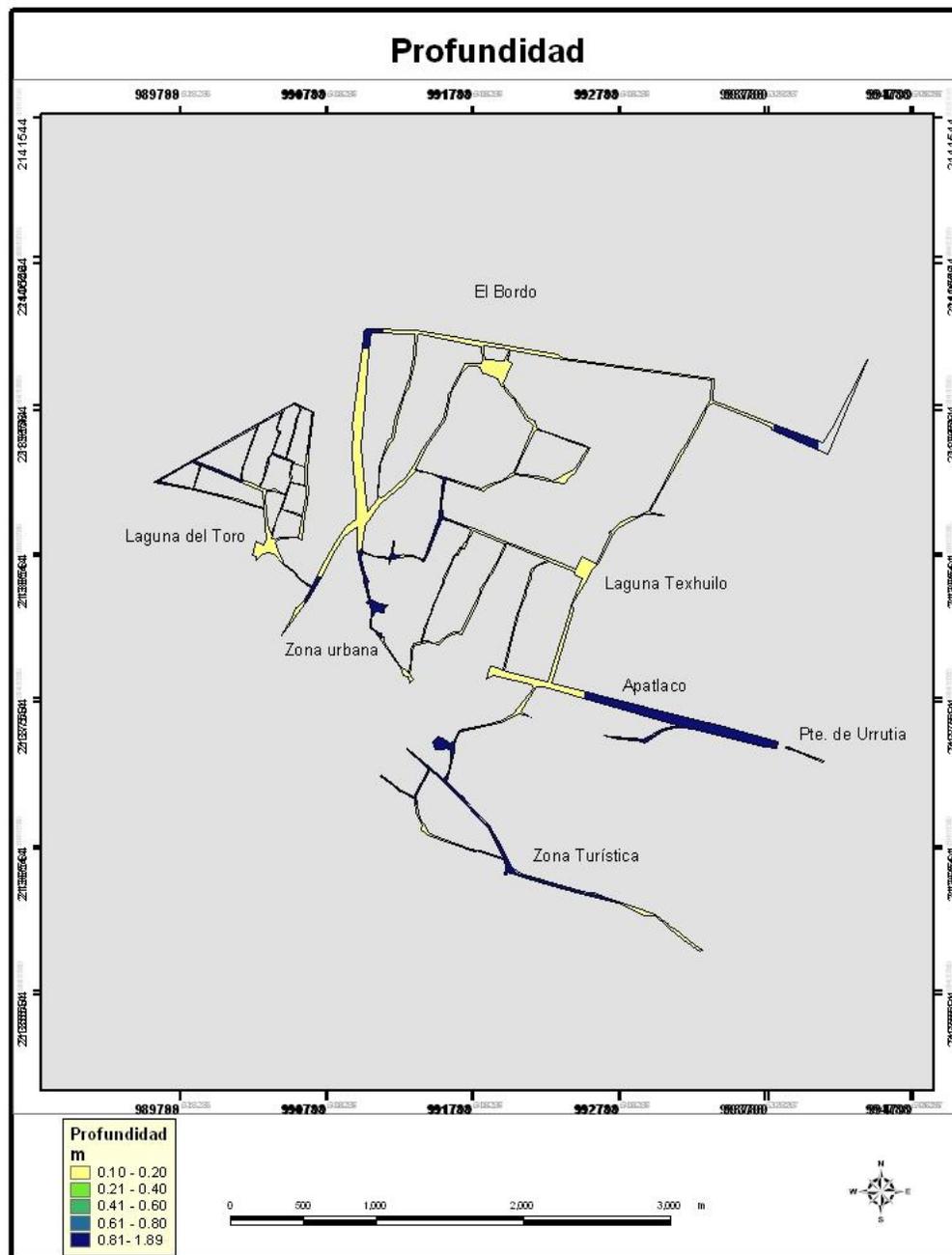


Figura 9. Interpolación de profundidad en metros de los canales de Xochimilco.

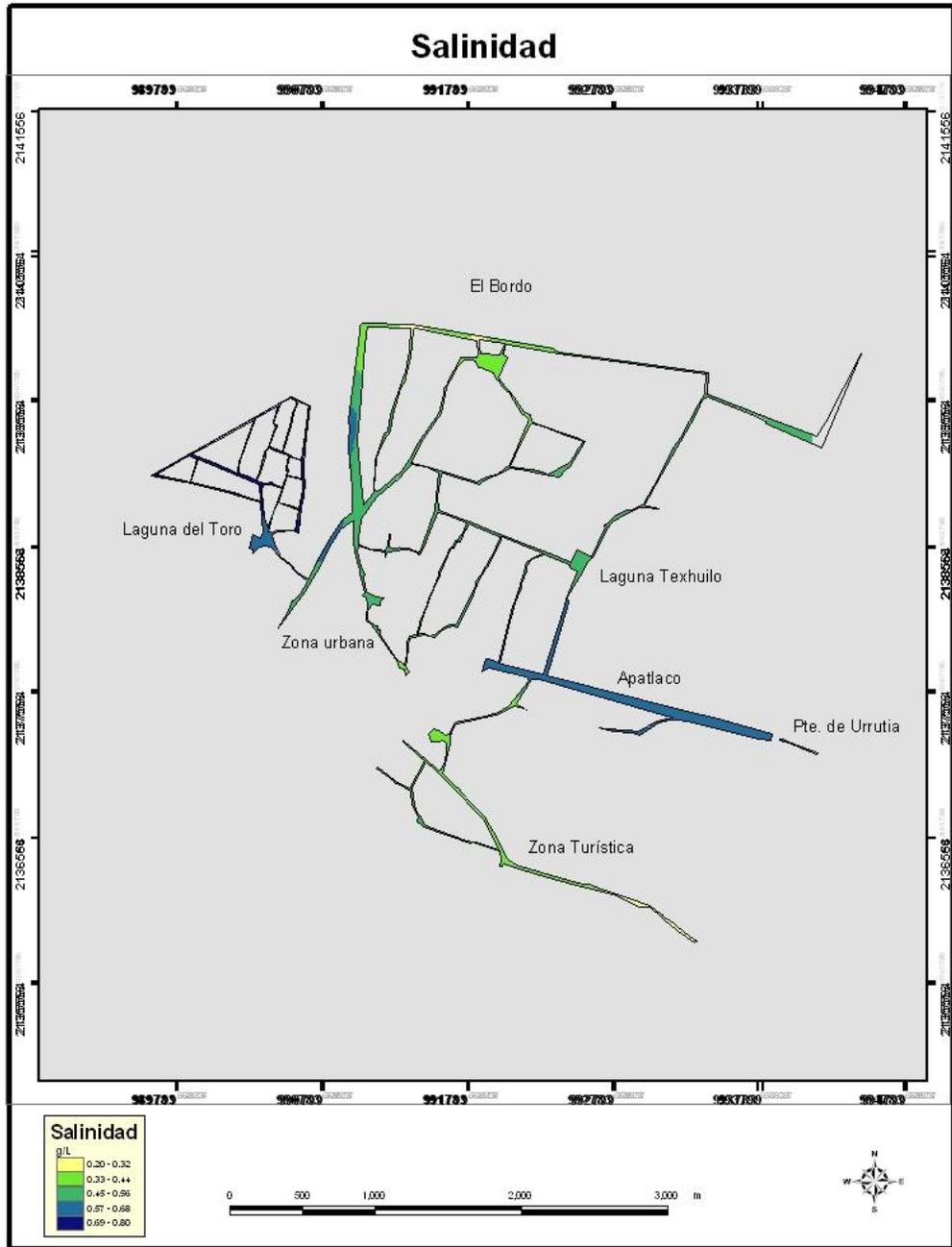


Figura 10. Interpolación de los valores de salinidad de la zona chinampera de Xochimilco.

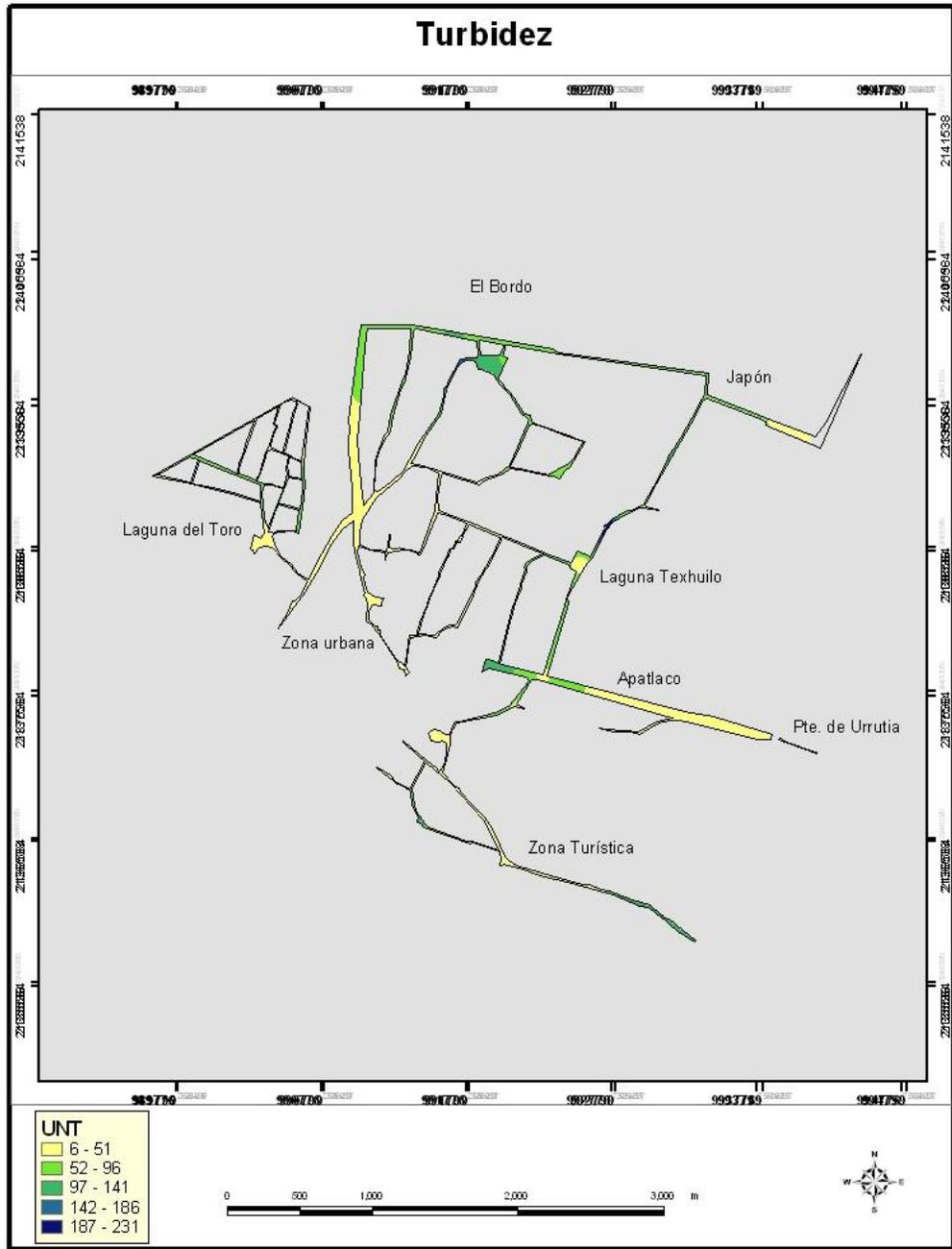


Figura 11. Interpolación de turbidez (UNT) de los canales de Xochimilco.

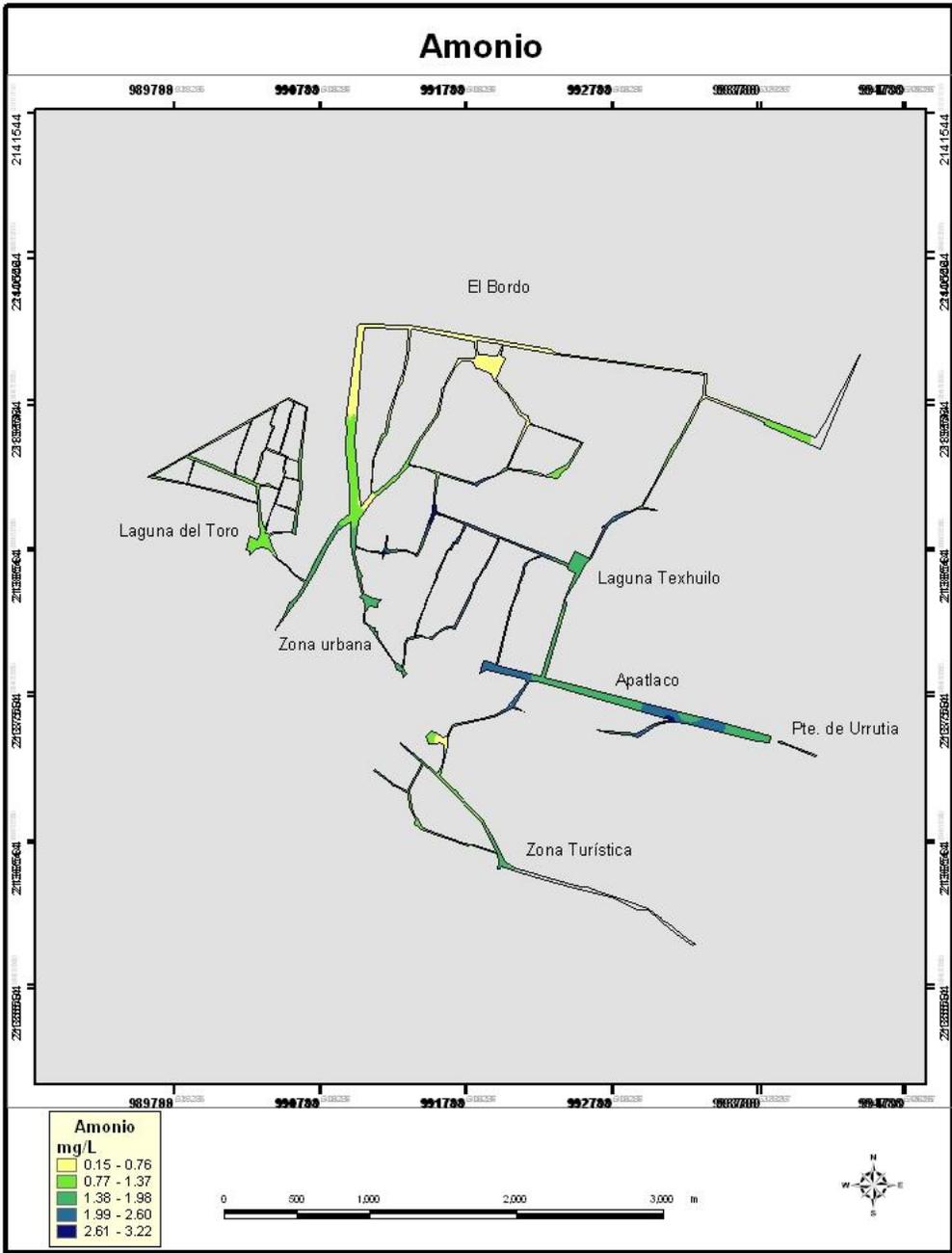


Figura 12. Interpolación de los valores de amonio para los canales de Xochimilco.

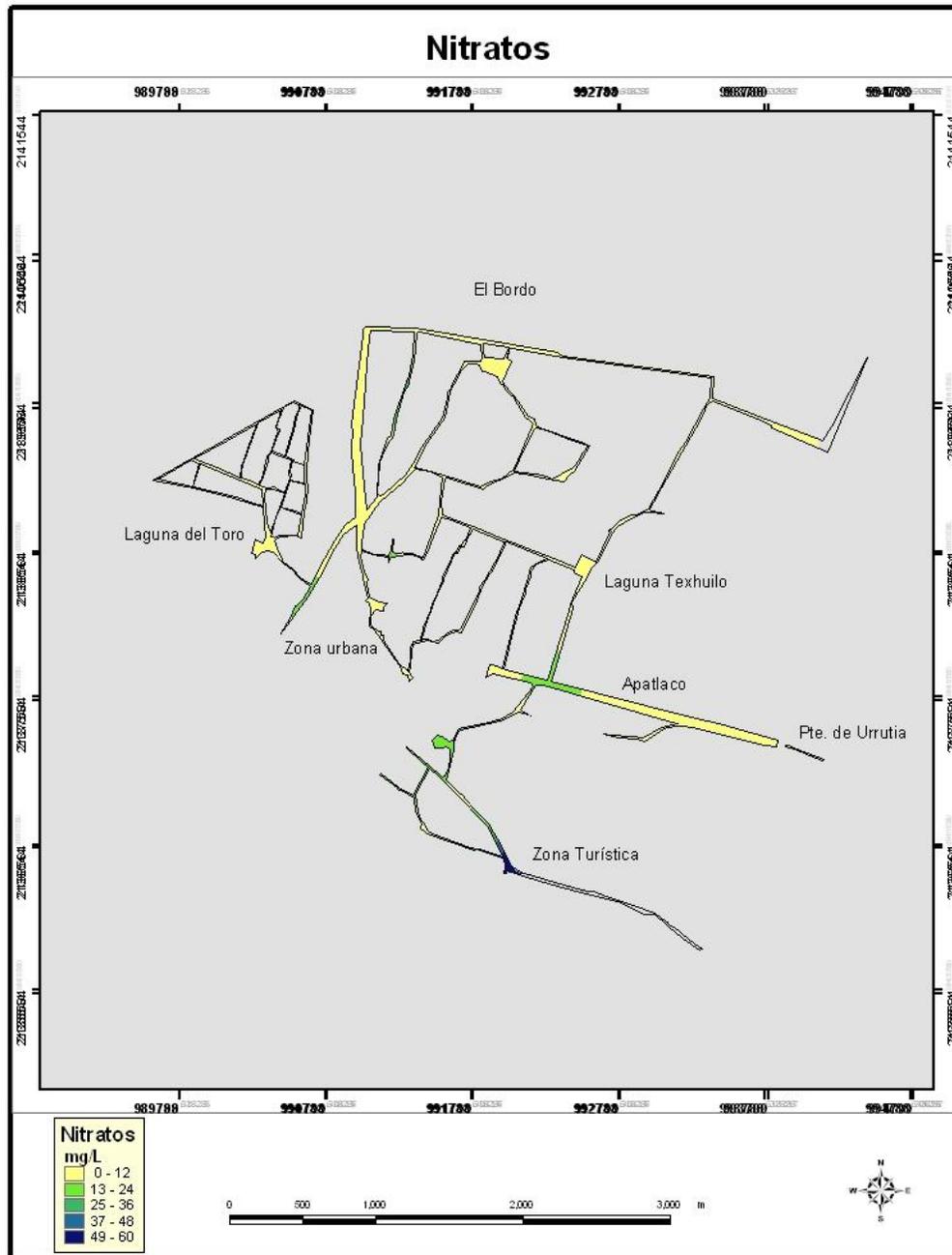


Figura 13. Interpolación de los valores de nitratos en la zona de canales de Xochimilco.

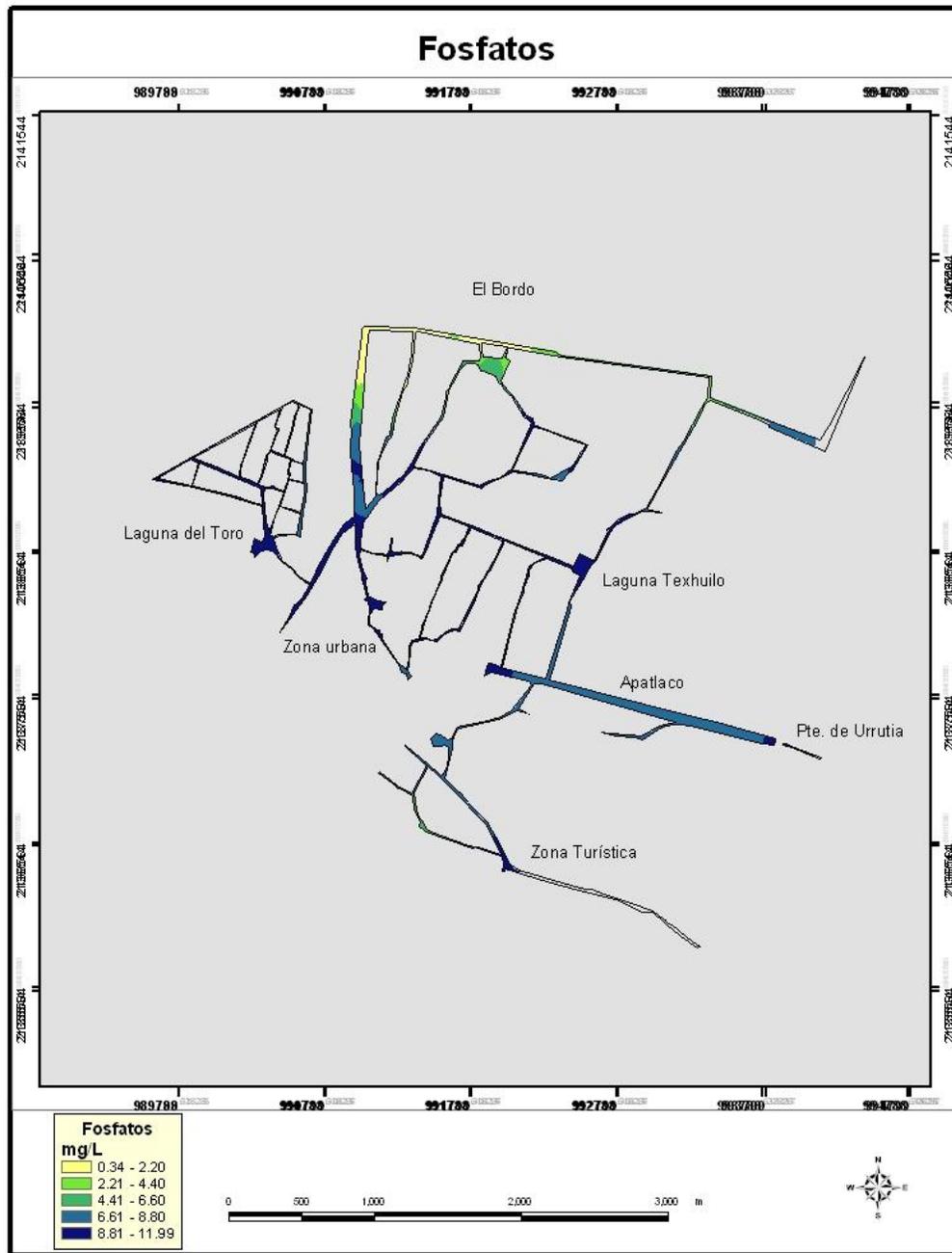


Figura 14. Interpolación de los valores de fosfatos en la zona de canales de Xochimilco.

Zonificación.

El comportamiento de las variables limnéticas, en las diferentes capas de interpolación tienen una distribución espacial heterogénea, más no aleatoria. Esta diversidad espacial describe una serie de patrones de agregación en diferentes grupos de canales, los cuales parecen tener una relación con diferentes actividades económicas observadas en campo. Los patrones espaciales descritos por cada variable en las interpolaciones permitieron agrupar los canales en cuatro zonas (norte, sur, centro-oeste y este). Por ejemplo se observó que los canales que se encuentran en la parte norte presentan concentraciones altas de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH y turbidez, a su vez tienen baja profundidad y menores concentraciones de amonio, nitratos y fosfatos. En cambio, la parte sur presenta concentraciones bajas: de oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, conductividad, pH, salinidad y turbidez; también se presenta mayor profundidad y concentración de nitratos. Lo mismo sucedió con las partes centro-este y oeste.

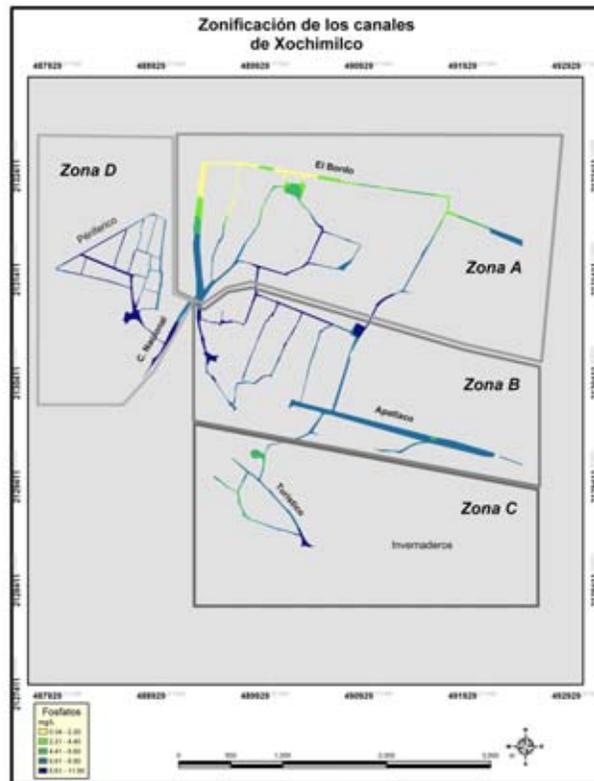


Figura 15. Zonificación de los canales con base en los patrones espaciales de las variables limnéticas.

El comportamiento espacial de cada una de las variables fue comparado con los datos estadísticos de cada zona. Esto se logró agrupando los canales que pertenecían a cada región.

Tabla 3. Comportamiento estadístico de cada variable en las cuatro zonas.

	OD (mg/L)	DO%	T (°C)	Cond (µS)	pH	Prof (m)	Sal (mg/L)	Turb (UNT)	NH4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	PO4 (mg/L)
Zona A	6.77	78.96	21.60	0.70	8.12	0.64	0.45	75.70	0.89	7.74	7.20
Zona B	5.77	67.16	20.51	0.78	7.73	0.91	0.52	40.52	1.87	9.96	9.37
Zona C	3.37	37.34	20.74	0.63	7.42	1.25	0.40	47.24	1.58	22.23	8.05
Zona D	3.90	45.32	21.16	1.01	7.71	1.14	0.67	46.03	1.33	5.23	10.39

El comportamiento de cada una de las variables dentro de cada zona se describe a continuación:

Amonio: Xochimilco tiene una concentración promedio de amonio de 1.4 mg/L durante el muestreo realizado en el mes de octubre, esta concentración es considerada tóxica en presencia de un pH superior a 7 el cual es común en la zona de estudio. La zona B es la que presenta los valores más altos. Sin embargo, en esta zona la mayor concentración de amonio se distribuye principalmente en el área chinampera. Comparativamente la zona A es la que presenta la menor concentración de amonio.

Nitratos: La media de esta variable en todas las zonas es de 9.13 mg/L durante el mes de octubre. La zona C presenta los valores relativamente más altos alcanzando valores de hasta 60 mg/L en el embarcadero Nativitas. Es la zona D la que presenta los valores relativamente más bajos (5.23 mg/L).

Fosfatos: En Xochimilco la concentración promedio de esta variable es de 9.3 mg/L. La zona D tiene la concentración relativamente más alta alcanzando un valor promedio de 10.39. La zona de menor concentración es la zona A, pero la distribución espacial de esta variable es heterogénea.

Oxígeno disuelto: Los canales presentaron una concentración promedio de 5.71 mg/L durante los muestreos del mes de julio. La zona A presentó una media de 6.77 mg/L aunque esta condición no es homogénea entre todos los canales de esta zona. La zona

con la concentración de oxígeno disuelto más baja fue la D con un promedio de 3.90mg/L.

Salinidad: En los canales encontramos una concentración promedio de 0.5 g/L. La zona D presentó la mayor concentración. Esto se debe probablemente a que es un complejo de pocos canales aislados del resto del sistema lo cual puede incrementar los valores de esta variable por la evaporación. La zona con salinidad más baja fue la zona C.

pH: En Xochimilco, se registra un pH básico, el valor promedio es de 7.79. La zona A llega a presentar valores de hasta 10.47, este valor es puntual y parece estar relacionado con la conexión con el Parque Ecológico de Xochimilco (PEX) ya que el pH desciende rápidamente después de este punto. La zona C es la que presenta el pH más ácido con un valor promedio de 7.42 mg/L.

Conductividad: Los patrones de distribución de esta variable y de la salinidad son similares, esto se explica porque existe una relación teórica entre ambas variables (Wetzel, 1983). La media de esta variable es de 0.78 mS/cm. La zona D es la que registra los valores relativamente más altos (1.01 mS/cm). La zona de menor conductividad es la zona C (0.63 mS/cm). En general el patrón de distribución de esta variable es homogéneo en casi todas las zonas.

Turbidez: El sitio de menor turbidez es Puente de Urrutia con 6.1 UNT. El promedio de turbidez para los canales de Xochimilco es de 57.7 UNT. La zona con mayor turbidez es la zona A, la zona B es la que presenta menor turbidez. En esta última, los canales cercanos a la ciudad y el canal de Apatlaco presentan valores aún más bajos.

Distribución Potencial del ajolote.

En el estudio realizado por Zambrano *et al.*, (2004) solo se encontraron ajolotes en cinco sitios de la zona chinampera de Xochimilco. La distribución escasa y distante de estos sitios refleja las condiciones heterogéneas del sistema. Si bien los sitios de distribución coinciden con las zonas de menor actividad humana (zonas A, D y B), la distribución de la especie en estas zonas se limita a unos cuantos puntos.

El comportamiento espacial de cada una de las variables fue contrastado con los datos estadísticos de cada zona. Esto se logró agrupando los canales que pertenecían a cada región.

Tabla 3. Comportamiento estadístico de cada variable en las cuatro zonas.

	OD (mg/L)	DO%	T (°C)	Cond (µS)	pH	Prof (m)	Sal (mg/L)	Turb (UNT)	NH4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	PO4 (mg/L)
Zona A	6.77	78.96	21.60	0.70	8.12	0.64	0.45	75.70	0.89	7.74	7.20
Zona B	5.77	67.16	20.51	0.78	7.73	0.91	0.52	40.52	1.87	9.96	9.37
Zona C	3.37	37.34	20.74	0.63	7.42	1.25	0.40	47.24	1.58	22.23	8.05
Zona D	3.90	45.32	21.16	1.01	7.71	1.14	0.67	46.03	1.33	5.23	10.39

El comportamiento de cada una de las variables dentro de cada zona se describe a continuación:

Amonio: Xochimilco tiene una concentración promedio de amonio de 1.4 mg/L durante el muestreo realizado en el mes de octubre, esta concentración es considerada tóxica en presencia de un pH superior a 7 el cual es común en la zona de estudio. La zona B es la que presenta los valores más altos. Sin embargo, en esta zona la mayor concentración de amonio se distribuye principalmente en el área chinampera. Comparativamente la zona A es la que presenta la menor concentración de amonio.

Nitratos: La media de esta variable en todas las zonas es de 9.13 mg/L durante el mes de octubre. La zona C presenta los valores relativamente más altos alcanzando valores de hasta 60 mg/L en el embarcadero Nativitas. Es la zona D la que presenta los valores relativamente más bajos (5.23 mg/L).

Fosfatos: En Xochimilco la concentración promedio de esta variable es de 9.3 mg/L. La zona D tiene la concentración relativamente más alta alcanzando un valor promedio de 10.39. La zona de menor concentración es la zona A, pero la distribución espacial de esta variable es heterogénea.

Oxígeno disuelto: Los canales presentaron una concentración promedio de 5.71 mg/L durante los muestreos del mes de julio. La zona A presentó una media de 6.77 mg/L aunque esta condición no es homogénea entre todos los canales de esta zona. La zona

con la concentración de oxígeno disuelto más baja fue la D con un promedio de 3.90mg/L.

Salinidad: En los canales encontramos una concentración promedio de 0.5 g/L. La zona D presentó la mayor concentración. Esto se debe probablemente a que es un complejo de pocos canales aislados del resto del sistema lo cual puede incrementar los valores de esta variable por la evaporación. La zona con salinidad más baja fue la zona C.

pH: En Xochimilco, se registra un pH básico, el valor promedio es de 7.79. La zona A llega a presentar valores de hasta 10.47, este valor es puntual y parece estar relacionado con la conexión con el Parque Ecológico de Xochimilco (PEX) ya que el pH desciende rápidamente después de este punto. La zona C es la que presenta el pH más ácido con un valor promedio de 7.42 mg/L.

Conductividad: Los patrones de distribución de esta variable y de la salinidad son similares, esto se explica porque existe una relación teórica entre ambas variables (Wetzel, 1983). La media de esta variable es de 0.78 mS/cm. La zona D es la que registra los valores relativamente más altos (1.01 mS/cm). La zona de menor conductividad es la zona C (0.63 mS/cm). En general el patrón de distribución de esta variable es homogéneo en casi todas las zonas.

Turbidez: El sitio de menor turbidez es Puente de Urrutia con 6.1 UNT. El promedio de turbidez para los canales de Xochimilco es de 57.7 UNT. La zona con mayor turbidez es la zona A, la zona B es la que presenta menor turbidez. En esta última, los canales cercanos a la ciudad y el canal de Apatlaco presentan valores aún más bajos.

Distribución Potencial del ajolote.

En el estudio realizado por Zambrano *et al.*, (2004) solo se encontraron ajolotes en cinco sitios de la zona chinampera de Xochimilco. La distribución escasa y distante de estos sitios refleja las condiciones heterogéneas del sistema. Si bien los sitios de distribución coinciden con las zonas de menor actividad humana (zonas A, D y B), la distribución de la especie en estas zonas se limita a unos cuantos puntos.

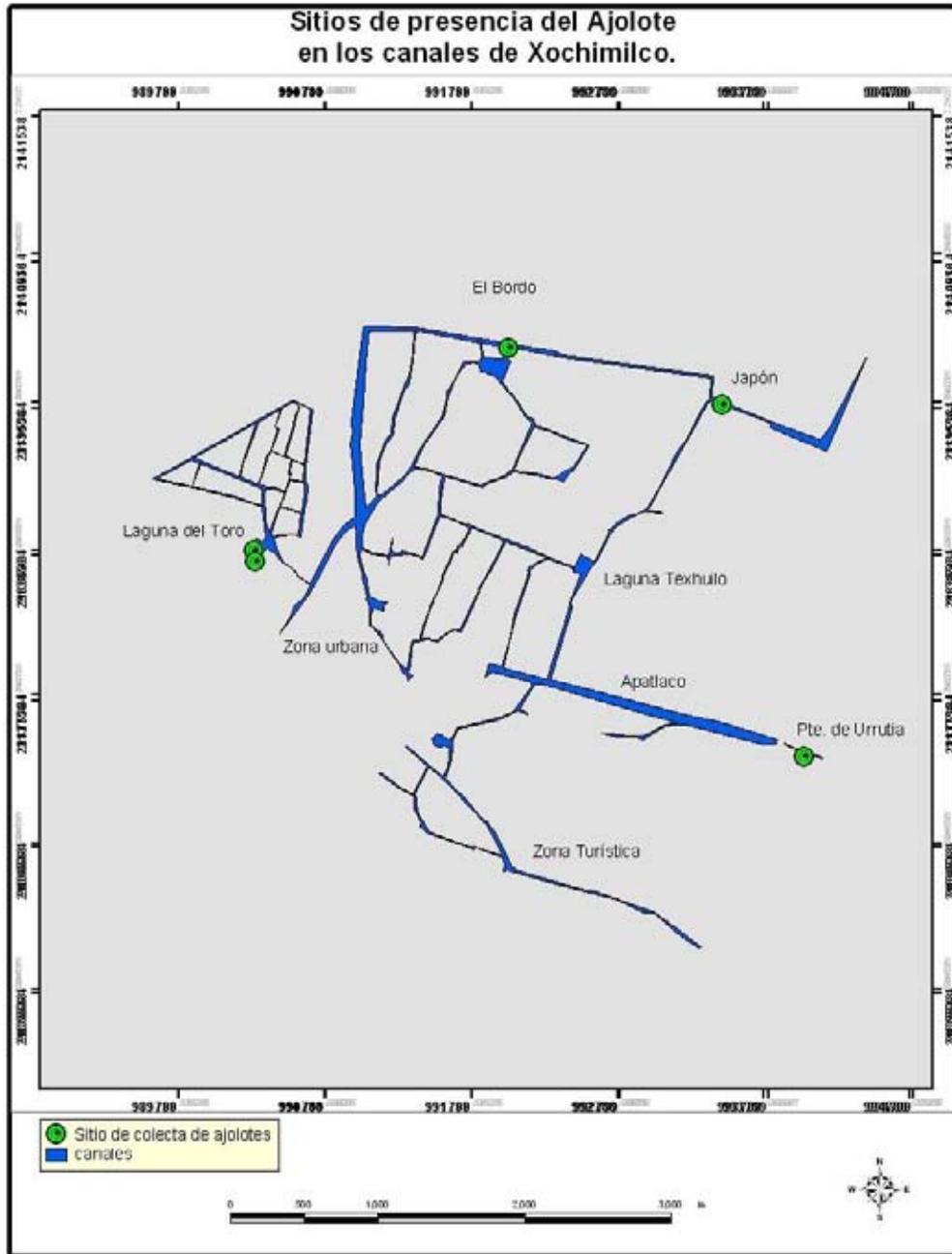


Figura 16. Sitios de colecta del *Ambystoma mexicanum* en los canales de Xochimilco.

La suma de los cien modelos obtenidos con el programa GARP indicaron 17 sitios de distribución potencial distribuidos, de manera puntual, en 15 canales y los lagos del

Toro y de Tlilac. Una vez que se eliminan los sitios de sobre predicción con la suma de los diez mejores modelos es posible encontrar coincidencias en once canales y el Lago del Toro. En general las predicciones obtenidas son puntuales, localizando sitios muy específicos con condiciones favorables para la especie.

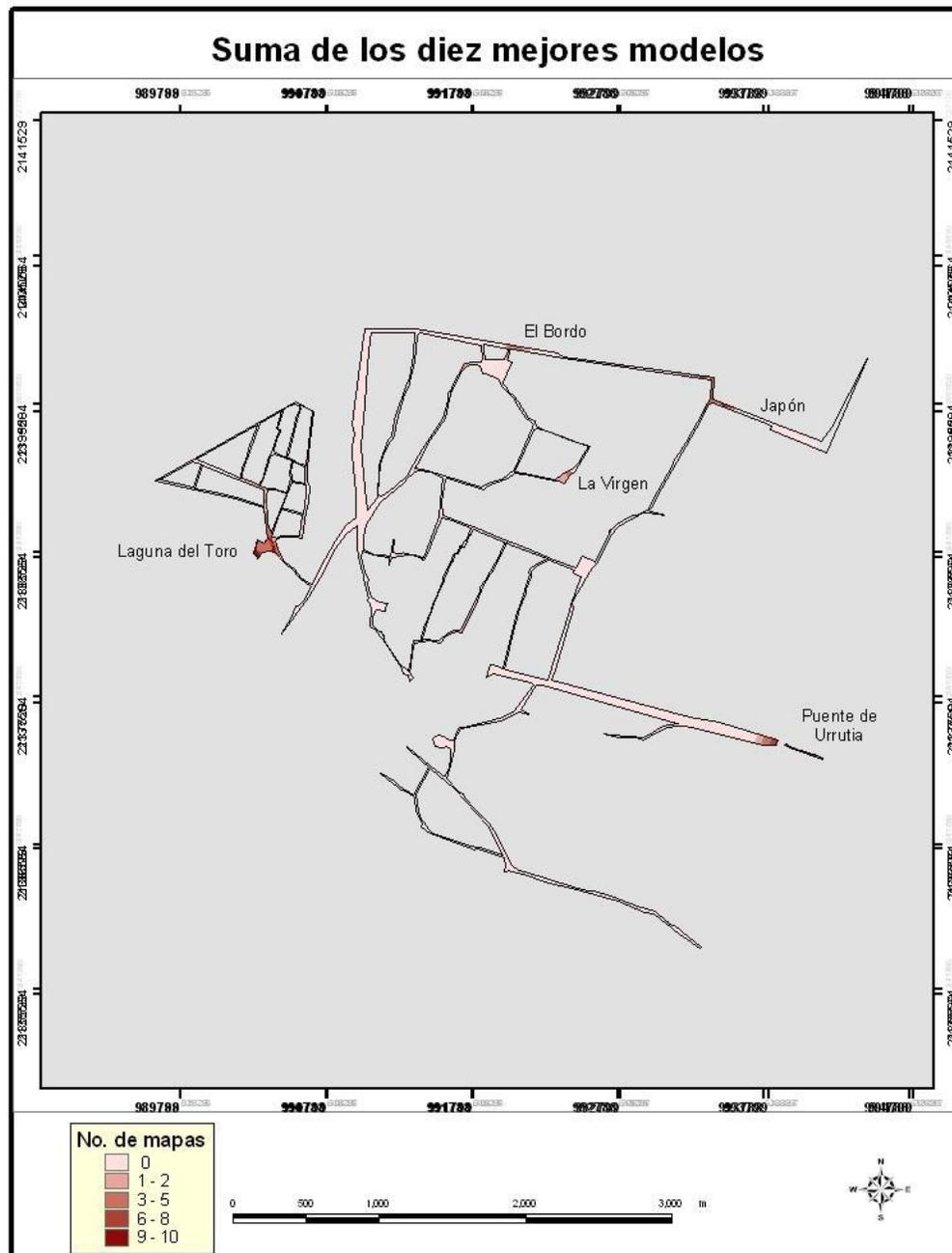


Figura 17. Mapa consenso obtenido a partir de la suma de los diez mejores modelos obtenidos con el GARP.

Tabla 4. Nivel de consenso de los sitios de predicción por zona.

	Sitio	Índice de coincidencia.
Zona A	El Bordo	50%
	Japón	90%
	La Virgen	40%
Zona B	Apatlaco – Pte. de Urrutia	90%
Zona C	---	---
Zona D	Laguna del Toro y anexos	100%

Los resultados del nivel de consenso mostraron que sólo tres sitios tuvieron una afinidad del 50% de los mapas; estos sitios son: La Laguna del Toro, la intersección del Bordo con el canal de Japón y Puente de Urrutia. El canal de la Virgen que tiene una coincidencia superior al 40% y es considerado en este análisis debido a que en las salidas de corroboración (aún en curso) se han encontrado ajolotes en este sitio. La única zona que no presentó sitios de predicción fue la C.

5. Discusión:

Xochimilco es un lago heterogéneo con una variabilidad espacial tanto vertical como horizontal y con pocas diferencias a lo largo de la temporada de lluvias. Los sitios que cumplen con las características específicas del nicho de la especie *Ambystoma mexicanum* pueden verse reducidos debido a la heterogeneidad espacial de los canales. Estos patrones se describen a continuación:

Variabilidad temporal

Las variables de temperatura, profundidad y conductividad presentaron diferencias entre los dos meses de muestreo (Tabla 2). El cambio en el tiempo justifica las diferencias entre las temperaturas obtenidas, ya que la segunda colecta se realizó durante el otoño.

Se observó una disminución en la profundidad durante el segundo muestreo, probablemente debido a que los canales fueron desaguados por medio de compuertas para evitar inundaciones. El cambio en la profundidad de los canales puede afectar directamente el hábitat de los ajolotes, ya que limita las condiciones adecuadas para su sobrevivencia y probablemente afecte su desarrollo. En diversos estudios sobre el declive de los anfibios, se ha encontrado que los sitios someros están relacionados con el incremento en la incidencia de los rayos UV al interior de la columna de agua, el cual promueve las capacidades infecciosas de diversos patógenos (Pounds, 2001). El efecto de estos sobre las puestas es mayor cuando los huevos están cerca de la superficie, volviéndolos más propensos a desarrollar enfermedades. Además la pérdida de humedad también afecta a los adultos volviéndolos más susceptibles a ser receptores de hongos patógenos (Pounds, 2001, Kiesecker *et al.*, 2001).

Variabilidad vertical.

Xochimilco presenta un patrón heterogéneo aún dentro de la columna de agua. Una de las variables que presenta variabilidad vertical con respecto al fondo es la turbidez. Esta diferencia puede deberse al tránsito de trajineras y lanchas de motor, además de la introducción y aumento de las poblaciones de la carpa (*Cyprinus carpio*), 0.032 org/m² cuatro veces más que la densidad de ajolotes, en el 2003 (Zambrano *et al.*, 2004), la

resuspensión de sedimentos provocada por todas estas actividades puede afectar otras variables limnéticas, esto explicaría el comportamiento de cada una de estas dentro de la columna de agua.

Los canales de Xochimilco presentan una termoclina a pesar de tener una profundidad promedio de 1.12 m en la zona estudiada. Los lagos tropicales de montaña a grandes altitudes suelen presentar temperaturas bajas en el fondo y su fuente principal de ganancia calórica es la incidencia solar dentro de la columna de agua (Lewis, 1987). Probablemente esta sea la causa por la que se presente dicha termoclina.

La disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el fondo de los canales probablemente también esté relacionado, de manera indirecta, con el incremento de turbidez y condiciones anóxicas a esa profundidad. La resuspensión de sedimentos puede aumentar la concentración de fosfatos, lo que permite el incremento de la población de algas microfitas, que al ser degradadas por bacterias anaerobias promoverán el establecimiento de condiciones anóxicas. Además, la escasez de luz en el fondo impide el establecimiento de algas macrófitas enraizadas, disminuyendo a su vez la cantidad de oxígeno producido dentro del sistema (Scheffer, 1998).

Variabilidad espacial entre los canales.

Los patrones que muestra el análisis estadístico así como las distribuciones espaciales de las variables limnéticas y de nutrientes dentro del sistema de canales de la zona chinampera de Xochimilco tienen un comportamiento heterogéneo. Esta variabilidad posiblemente esté relacionada con las actividades humanas que se realizan en las cuatro zonas (Tabla 3).

Zona A. La actividad humana en esta zona es limitada ya que pertenece al área de la reserva del Parque Ecológico de Xochimilco. El tipo de cultivo que se desarrolla es tradicional, y los asentamientos urbanos son escasos. El efecto de una agricultura libre de agroquímicos pudiera estar reflejando en las bajas concentraciones de nutrientes que se encontraron en esta zona. El lago Huetzalli (PEX) que desemboca en la parte noroeste también puede estar influyendo en los parámetros limnéticos ya que éste se caracteriza por tener varias salidas de descarga de la planta de tratamiento del Cerro de

la Estrella, ser somero (0.4 m de profundidad promedio) (Valiente, 2006) y tener un fondo de cascajo. La escasa profundidad del PEX puede permitir que el viento ejerza una mayor aireación en su superficie provocando que el oxígeno disuelto alcance los registros más altos en su desembocadura con los canales Bordo y Cuemanco.

Zona B. Se caracteriza por ser una zona de transición urbano-chinampera, en la parte central de Xochimilco; su parte oeste tiene una fuerte presencia habitacional mientras que en el este se desarrolla la agricultura y en menor medida actividades pecuarias. Las concentraciones de nutrientes son elevadas llegando a presentar los valores más altos de amonio (1.87mg/L). Es probable que el aporte de los compuestos nitrogenados provenga de las chinampas cultivadas (Tabla 3). En cambio, el área conurbada es alta en fosfatos (Tabla 3), lo cual puede estar promoviendo la baja concentración de oxígeno por medio de la eutroficación.

Zona C. La actividad humana en esta zona es principalmente turística, además existen asentamientos urbanos y desarrollo de cultivo en invernaderos. Probablemente este sistema agrícola aporte nutrientes al agua por medio del deslave de agroquímicos y pesticidas. Esta zona presenta las más altas concentraciones de nitratos de 22.23 mg/L y valores elevados de amonio, ambos son nutrientes nocivos para la sobrevivencia de las especies acuáticas (Tabla 3). En estos canales se presentan altas concentraciones de fosfatos y los niveles de oxígeno disuelto más bajos (3.37 mg/L) posiblemente relacionados con la descomposición de la materia orgánica que se vierte al canal. El turismo además de aumentar la cantidad de desechos orgánicos puede estar provocando una mayor remoción de sedimentos siendo esta la segunda zona más turbia (Tabla 3).

Zona D. Está comunicada con el resto de los canales de Xochimilco por un solo canal y se encuentra rodeada de asentamientos urbanos. Este aislamiento probablemente dificulta el recambio de agua de los canales, originando un efecto de segregación espacial. Así los valores físico-químicos son más homogéneos en el interior de la región y contrastantes al compararlos con las demás zonas. El aislamiento que presenta esta zona aunado a la práctica de la ganadería, el turismo y la agricultura tradicional probablemente contribuye al aumento en la concentración de fosfatos (10.39mg/L). Wetzel (1983) sugiere que el incremento en las concentraciones de fosfatos pueden llevar al establecimiento de condiciones eutróficas en un sistema, esto se debe a que

dicho nutriente contribuye a que haya un aumento en las poblaciones de bacterias y algas. Cabe señalar que esta zona presenta los valores más bajos de amonio y nitratos (tabla 3).

En Xochimilco algunos canales han dejado de ser navegables debido a la gran cantidad de vegetación acuática. Es factible que exista una relación entre el desarrollo de estas poblaciones y las condiciones de eutroficación presentes en la zona chinampera. La alta concentración de fosfatos promueve el crecimiento de la flora, sin embargo, la cantidad de luz que se puede infiltrar en la columna de agua es un factor limitante para el desarrollo de las plantas en el fondo, de esta manera se puede encontrar una gran cantidad de plantas libre flotadoras, que al estar en la superficie no son afectadas por esta restricción (Scheffer, 1998).

Distribución potencial del ajolote.

La heterogeneidad espacial presente en las variables limnéticas de los canales de Xochimilco parece estar segregando y limitando los sitios potenciales de distribución del ajolote. Esto se ve reflejado en el escaso número de sitios que predice el modelo, lo reducido de sus áreas y la distancia que presentaron entre sí. De esta manera, encontramos que las zonas en donde las actividades humanas se desarrollan de manera más restringida, son aquellas con las condiciones son más adecuadas para el desarrollo de esta especie.

Las zonas B y C donde los sitios de predicción fueron escasos o nulos coinciden con las regiones con un mayor aporte de amonio y nitratos dos nutrientes que afectan significativamente a las especies de anfibios (Harte y Hoffman, 1989). El efecto de estos compuestos en los animales de vida acuática, se debe a que actúan sobre la hemoglobina y la hemocianina eliminando su capacidad para acarrear oxígeno (Jensen, 1996; Scott y Crunkilton, 2000; Cheng y Chen, 2002). Sin embargo, la permeabilidad branquial a estos compuestos es diferencial, siendo mayor la capacidad de absorber el amonio (Jensen, 1996; Cheng y Chen, 2002; Camargo *et al.*, 2003).

La US Environmental Protection Agency (US EPA, 1986) advierte que las concentraciones de amonio por arriba de 1 mg/L bajo condiciones de pH superiores a 7

afectan negativamente a las poblaciones de peces (US EPA, 1986). Con respecto a los nitratos, Camargo *et al.* (2005) sugieren que el nivel máximo permitido sea inferior a las 10 mg/L, aunque esta concentración puede ser demasiado alta para las especies más sensibles.

Además de estas recomendaciones, los nitratos afectan los estadios larvarios de especies de la familia Ambystomatidae llegando a ser letal en concentraciones cercanas a 23 mg/L (Marco *et al.*, 1999). La zona C presenta concentraciones superiores a las 22 mg/L, lo cual puede contribuir a explicar la ausencia de sitios de predicción en esta zona, ya que puede estar reduciendo la capacidad de sobrevivencia de los primeros estadios de la especie *Ambystoma mexicanum*. Ninguno de los sitios de predicción obtenidos presentó concentraciones de nitratos superiores a la norma recomendada.

Los sitios de predicción de Amelaco, Apatlaco, La Virgen y Puente de Urrutia presentaron concentraciones de amonio superiores a 1 mg/L. Sin embargo, sólo los canales de Puente de Urrutia y Apatlaco registraron un pH inferior a 7, lo cual puede reducir el efecto nocivo del nutriente. Amelaco y el canal de La Virgen presentaron valores de predicción inferiores al 50%, posiblemente la consistencia del modelo en estos sitios no sea tan confiable pero en un muestreo de corroboración se colectaron ajolotes en el canal de la Virgen. Es factible que existan factores que atenúen el efecto del amonio sobre el ajolote que no sean contemplados en el modelo.

El oxígeno disuelto no parece ser un factor limitante para la modelación del nicho de esta especie. Si bien encontramos predicciones en sitios bien oxigenados, la mayoría de estos sitios no superan las 6 mg/L recomendadas (US EPA, 1986). De hecho, en puntos como Urrutia, las condiciones son anóxicas, estas condiciones no restringen la presencia de los estadios juveniles y adultos ya que pueden salir a boquear. Sin embargo, para las puestas y los primeros estadios del desarrollo la concentración del oxígeno disuelto en la columna de agua sí es importante, ya que no existe otra fuente de oxigenación.

Las variables limnéticas pueden tener un efecto sinérgico que afecte las condiciones específicas para el nicho del ajolote. La toxicidad de los nutrientes, las bajas concentraciones de oxígeno, los altos niveles de pH y la turbidez propician la eutrofización de los canales. Este conjunto de condiciones pueden limitar el

establecimiento de otras especies de peces, insectos y crustáceos, disminuyendo la disponibilidad y calidad de los recursos alimenticios del ajolote.

Los diferentes estadios del ajolote tienen requerimientos específicos de nicho. Esto implica que las variables físico-químicas pueden estarlos afectando de manera diferencial, por lo que aún cuando el nicho modelado para los adultos colectados presente condiciones adecuadas para su establecimiento y desarrollo, estas pueden no garantizar una alta sobrevivencia en los primeros estadios de vida de la especie.

La laguna del Toro y Puente de Urrutia presentaron los valores de predicción más altos, entre el 80 y el 100% de consenso en ambas sumas. Las condiciones específicas del nicho en estos sitios pueden ser más adecuadas para el establecimiento de las poblaciones de ajolote que en otros sitios de predicción. En un análisis de cadenas tróficas en Xochimilco, realizado por Valiente (2006), se encontró que en ambos sitios los ajolotes pueden tener una dieta diversa. Sin embargo Puente de Urrutia fue el único sitio donde se encontraron peces en los contenidos estomacales; los ajolotes encontrados en este canal también parecían más saludables (Valiente *com. pers.*).

Si bien las variables físicoquímicas explican parte de la fragmentación del hábitat del ajolote, existen otros factores que pueden contribuir a este fenómeno. La introducción de especies exóticas que generan competencia (Collins y Storfer, 2003) y depredación en el sistema pueden ser causantes de la reducción del hábitat (Gilliam y Fraser, 2001). La introducción de carpa (*Cyprinus carpio*) y de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el lago durante el último siglo ha sido nociva ya que compiten por recursos (Valiente, 2006) y son depredadores potenciales de los primeros estadios del ajolote (Martínez, en proceso).

El ajolote, al igual que todas las demás especies del planeta, depende de la conservación de los procesos que se desarrollan dentro del ecosistema en que habita (Sarkar y Margules, 2002). Sin embargo, por ser depredador (Valiente, 2006), esta especie es particularmente sensible a las perturbaciones que pueden afectarlo de manera sinérgica. Además, el espectro de las condiciones necesarias para su adecuado desarrollo a lo largo de su ciclo de vida amplía la cantidad de requerimientos. Si bien el lago es una zona protegida, las presiones humanas sobre el ecosistema no permiten garantizar el estado

de conservación del sistema. Debido a esto es necesario enfocar los esfuerzos a la restauración de los procesos y a mejorar las condiciones del ecosistema del sistema acuático de Xochimilco. De esta manera se incrementan las posibilidades de conservar no sólo esta especie, sino la diversidad de uno de los últimos humedales de nuestra ciudad.

6. Conclusiones.

Las variables limnéticas en el sistema de canales de la zona chinampera de Xochimilco tienen una distribución espacial heterogénea más no aleatoria. Variables como turbidez, oxígeno, amonio, nitratos y fosfatos presentan patrones de segregación espacial. Esto sugiere que pueden existir sitios donde las poblaciones del ajolote presenten una sobrevivencia diferencial. Los resultados encontrados con el GARP corroboran lo anterior, ya que predicen pocos sitios que reúnen las condiciones adecuadas que configuran el nicho potencial de estos organismos.

Los resultados del modelo del nicho potencial del ajolote indican que solo cinco de los 38 canales muestreados tienen valores de predicción con niveles de consenso iguales o superiores al 50%. Estos canales fueron: El Bordo, Japón, La Virgen, Puente de Urrutia y la Laguna del Toro. Los resultados del modelo sugieren que existe una discontinuidad en el hábitat puesto que los cinco sitios de predicción se caracterizan por tener áreas reducidas, y estar separados entre sí por al menos un kilómetro. Esto puede provocar que las poblaciones no estén en contacto entre ellas aumentando su posibilidad de extinción local.

Después de hacer los muestreos de corroboración se han encontrado ajolotes en el canal de la Virgen. Estos muestreos posteriores le han dado fortaleza a las predicciones del modelo. Esto es relevante debido a que pocas veces el GARP ha sido aplicado para organismos acuáticos confinados a baja escala de resolución.

El modelo sugiere que la laguna del Toro es el sitio potencialmente más adecuado para el establecimiento de poblaciones de ajolote puesto que obtuvo los valores de consenso más altos.

Los resultados obtenidos con este estudio contribuirán a la conservación a nivel local del *Ambystoma mexicanum*.

Recomendaciones.

La variabilidad espacial que presentan las variables limnéticas parece estar relacionadas con las actividades económicas que se desarrollan en las orillas de los canales, lo cual puede influir en la degradación de las condiciones necesarias para el establecimiento de las poblaciones del ajolote. Es necesario realizar futuros estudios para conocer el impacto de las actividades humanas en el sistema de canales de Xochimilco a manera de generar planes de protección integral al ecosistema.

El conocer las condiciones ecosistémicas necesarias para el adecuado desarrollo del *Ambystoma mexicanum* en Xochimilco contribuirá no solo a la protección de esta especie, si no además del ecosistema en sí. Para lograr esto es necesario ampliar las variables que incluye el modelo desarrollado en el presente trabajo incluyendo también algunas variables biológicas.

Los resultados obtenidos en la modelación de la distribución potencial del ajolote muestran indicios de las características necesarias para el establecimiento de las poblaciones de esta especie. Para poder corroborar los requerimientos ambientales de los sitios que predice el modelo es necesario realizar experimentos con las condiciones que presentaron estos sitios a fin de replicar estas características.

7. Literatura Citada.

Alford, R. A., P. M. Dixon, y J. H. K. Pechmann. 2001. Global amphibian population declines. *Nature* 412:499-500.

American Public Health Association (APHA), 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association and Wastewater, Washington D.C. 20st ed.

Armstrong, J. B., S. T. Duhon, and G. Malacinski. 1989. Raising the Axolotl in captivity. In J. B. Armstrong and G. Malacinski, editors. *Developmental Biology of the Axolotl*. Oxford University Press, New York.

Blaustein, A. R., D. B. Wake, and W. P. Sousa. 1994. Amphibian declines: Judging stability, persistence, and susceptibility of populations to local and global extinctions. *Conservation Biology* 8:60-71.

Blaustein, A. R., and D. B. Wake. 1995. The puzzle of declining amphibian populations. *Scientific American* 272:52-57.

Blaustein, A. R., and J. M. Kiesecker. 2002. Complexity in conservation: lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters* 5:597-608.

Camargo, J. A., A. Alonso, and A. Salamanca. 2004. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere* 58:1255-1267.

Cheng, S.-Y., and J.-C. Chen. 2002. Study on the oxyhemocyanin, deoxyhemocyanin, oxygen affinity and acid-base balance of *Marsupenaeus japonicus* following exposure to combined elevated nitrite and nitrate. *Aquatic Toxicology* 61:181-193.

Cisneros, I. P., 2005. Aspectos ambientales relacionados con la calidad del agua en Xochimilco, Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.: 91

Collins, J. P., and A. Storfer. 2003. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions* 9:89-98.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de País. México, D.F.

Drake, J. M., and J. M. Bossenbroek. 2004. The Potential Distribution of Zebra Mussels in the United States. *BioScience* 54:931-941.

Duhon, S. T. 1997. The Axolotl and its Native Habitat-Yesterday and Today. *Axolotl Newsletter*, Indiana University, Indiana 26:14-17.

Gobierno del Distrito Federal. 2006. Programa de manejo del Área Natural Protegida con carácter de Zona de Conservación Ecológica "Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco". *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.

Flores Villela, O. 1998. Herpetofauna de México: distribución y endemismo. Pages 792 in T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, and J. Fa, editors. Diversidad Biológica de México, Orígenes y Distribución. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Gilliam, J. F., and D. F. Fraser. 2001. Movement in corridors: enhancement by predation threat disturbance, and habitat structure. *Ecology* 82:258-273.

Graue, W. V. 1998. Estudio Genético y Demográfico de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) del Lago de Xochimilco. Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Griffiths, R. A., W. V. Graue, and I. G. Bride. 2003. The Axolotls of Lake Xochimilco: The Evolution of a Conservation Programme. *Axolotl Newsletter*, Indiana University, Indiana:12-18.

Ginnell, J. 1917. Field test of theories concerning distributional control. *Am. Natur.*: 115-128.

Harte, J., and E. Hoffman. 1989. Possible Effects of Acidic Deposition on a Rocky Mountain Population of the Tiger Salamander *Ambystoma tigrinum*. *Conservation Biology* 3:149-158.

Houlahan, J. E., C. S. Findlay, B. R. Schmidt, A. H. Meyer, and S. L. Kuzmin. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404:752-755.

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

Hutchinson, H. E. 1957. Concluding remarks. Populations studies: animal ecology and demography. Symposium on Quantitative Biology, Cold Springs Harbor.

Iguchi, K., K. Matsuura, K. M. McNyset, A. Townsend Peterson, R. Scachetti-Pereira, K. A. Powers, D. A. Vieglais, E. O. Wiley, and T. Yodo. 2004. Predicting Invasions of North American Basses in Japan Using Native Range Data and a Genetic Algorithm. *Transactions of the American Fisheries Society* 133:845-854.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2002. Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal.

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanolsistemas/cenoz/info/df/m013/anexos/present.htm>

Jensen, F. B. 1996. Uptake, elimination and effects of nitrite and nitrate in freshwater crayfish (*Astacus astacus*). *Aquatic Toxicology* 34:95-104.

Kiesecker, J. M., A. R. Blaustein, and L. K. Belden. 2001. Complex causes of amphibian population declines. *Nature* 410:681-684.

Lewis, W. M. 1987. Tropical Limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18:159-184.

Marco, A., C. Quilchano, and A. R. Blaustein. 1999. Sensitivity to nitrate and nitrite in pond breeding amphibians from the Pacific Northwest, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18:2836-2839.

- Martínez, R., S. En Proceso. Interacción del ajolote *Ambystoma mexicanum* con la carpa común *Cyprinus Carpio* y la Tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- McNyset K.M. 2005. Use of ecological niche modelling to predict distributions of freshwater fish species in Kansas. *Ecology of freshwater fish* 14: 243-255.
- Olden, J. D., and D. A. Jackson. 2001. Fish-Habitat Relationships in Lakes: Gaining Predictive and Explanatory Insight by Using Artificial Neural Networks. *Ecological Applications* 14:132-148.
- Parra-Olea, G., E. Martínez-Meyer, and G. Pérez-Ponce de León. 2005. Forecasting Climate Change Effects on Salamander Distribution in the Highlands of Central Mexico. *Biotropica* 37:202-208.
- Pounds, J. A. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410:639-640.
- Raxworthy, C. J., E. Martínez-Meyer, N. Horning, R. A. Nussbaum, G. E. Shneider, M. A. Ortega-Huerta, and A. Townsend Peterson. 2003. Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature* 426:837-841.
- Rojas, T., and J. G. Pérez. 1985. La cosecha del agua en la Cuenca de México y la pesca en el medio lacustre y chinampero de San Luis Tlaxiátemalco., México, D. F.
- Ron, S. R. 2005. Predicting the Distribution of the Amphibian Pathogen *Batrachochytrium dendrobatidis* in the New World. *Biotropica* 37:209-221.
- Sandoval, C. J. 2003. calidad microbológica y fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Sarkar, S., and C. Margules. 2002. Operationalizing biodiversity for conservation planning. *Biosciences* 27:299-308.
- Scheffer, M. 1998. Ecology of Shallow Lakes, 1st edition. Chapman and Hall. Great Britain, London.
- Scott, G., and R. L. Crunkilton. 2000. Acute and chronic toxicity of nitrate to fathead minnows (*Pimephales promelas*), *Ceriodaphnia dubia* and *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19:2918-2922.
- Schaffer, H. B. 1989. Natural History, Ecology, and Evolution of the Mexican "Axolotls". *Axolotl Newsletter*, Indiana University, Indiana: 5-11.
- Smith, H. M., and E. H. Taylor. 1948. An annotated checklist and key to the Amphibia of Mexico. Smithsonian Institution, U.S. *National Museum Bulletin* 194.
- Stuart, S. N., J. S. Chanson, N. A. Cox, B. E. Young, A. S. L. Rodrigues, D. L. Fischman, and R. W. Waller. 2004. Status and Trends of Amphibian Declines and Extinctions Worldwide. *Science* 306:1783-1786.

Valiente, E. L. 2006. Efecto de las especies introducidas en Xochimilco para la rehabilitación del hábitat del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

Vander Zanden, M. J., J. D. Olden, J. H. Thorne, and N. E. Mandrak. 2004. Predicting Occurrences and Impacts of Smallmouth bass introductions in North Temperate Lakes. *Ecological Applications* 14:132-148.

Wetzel, R. G. 1983. Limnology. 2nd ed. Saunders college publishing, Orlando. 767 p

Wiley, E. O., K. M. McNyset, A. Townsend Peterson, R. R. C., and A. M. Stewart. 2003. Niche Modeling and Geographic Range Predictions in the Marine Environment Using a Machine-learning Algorithm. *Oceanography* 16:120-127.

Zambrano, L., V. H. Reynoso, and G. Herrera. 2004. Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos SNIB-Conabio proyecto AS004. México, D.F.