



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Evaluación de la invasividad de la rana toro (*Lithobates
catesbeianus*) en el Valle de Toluca, Estado de México

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

ÁLVAREZ FERNÁNDEZ IVÁN ROQUE

Director de Tesis:

DR. VÍCTOR HUGO REYNOSO ROSALES

Asesor interno:

DR. EFRAÍN REYES ÁNGELES CERVANTES

México., D.F. 2015



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 GENERAL

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES.....	5
OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	9
Objetivo general.....	9
Objetivos particulares	9
MÉTODO	11
Diseño del muestreo	11
Área de estudio.....	13
Revisión de anfibios y reptiles del Estado de México	18
Trabajo de campo	18
Trabajo de laboratorio	19
Análisis de datos.....	20
RESULTADOS	22
Riqueza, diversidad y composición	22
Mediciones ambientales.....	24
Curvas de acumulación de especies.....	27
Curvas de rarefacción.....	29
Patrones de abundancia	30
Composición de la herpetofauna	31
Análisis canónico.....	32
DISCUSIÓN	33
Comunidades de anfibios y reptiles en lagos del valle de Toluca	33
Curvas de rarefacción.....	35

Patrones de abundancia.....	35
Mediciones ambientales.....	36
Análisis canónico.....	37
CONCLUSIONES.....	38
LITERATURA CITADA	39

Agradecimientos:

A toda mi familia, mencionado especialmente a mi mamá y mi hermano por todo el apoyo, paciencia y confianza que han tenido conmigo, por inculcarme todos los pequeños aspectos básicos que me definen ahora y por su interés en todo lo que hago y mis planes futuros; mis amigos en la vida Mariana, Marco, Alejandro y Roberto por ayudarme a siempre seguir adelante y también a ti Aida, por acompañarme en ésta etapa tan importante de mi vida, por las sonrisas, momentos lindos y tu apoyo e interés en todo; no hubiera podido sin todos ustedes; gracias.

A mis compañeros y amigos de carrera Javier, Humberto y Nacho, por todas las experiencias dentro y fuera del campus, además de su valiosa ayuda en algunos aspectos de mis aprendizajes y sobre todo por ser tan buenos amigos.

Agradezco al Dr. Víctor Hugo Reynoso por haberme invitado a participar en el proyecto, sus revisiones, sus consejos y paciencia conmigo para terminar la tesis. A los compañeros de la colección, especialmente a Alfonso Carvajal Domínguez, me apoyó en la realización de algunos análisis estadísticos y los modelos de distribución potencial geográfica, además de otros consejos en fuera de lo académico.

A mi comité tutorial: Dr. Efraín Reyes Ángeles Cervantes (asesor interno), Dr. Manuel Ortiz Feria, Biól. Alejandro Jacinto Tecpa, M. en C. Nicté Ramirez Priego y Dr. Víctor Hugo Reynoso (Tutor) por sus comentarios, tiempo, sugerencias y apoyo en el escrito de ésta tesis.

El proyecto fue financiado por CONACYT convenio No. 108296 "Efecto de la invasión de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) sobre la composición y abundancia de anfibios", al Dr. Víctor Hugo Reynoso Rosales.

RESUMEN

El presente estudio se enfocó en determinar la distribución actual y el estado de invasión de la rana toro en el Valle de Toluca, Estado de México, mediante una serie de muestreos realizados con base en mapas de distribución potencial y registros previos de colecta que se tenían en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología de la UNAM y registros de ranarios en el Estado de México. Se emplearon variables físicas y químicas de agua obtenidas en los muestreos para evaluar su relación con la abundancia de las especies encontradas durante el muestreo de los 16 cuerpos de agua contemplados en el estudio. Para evaluar la correlación de variables con abundancias se empleó un análisis canónico de correspondencias, la efectividad del muestreo se evaluó con curvas de acumulación de especies y los estimadores no paramétricos del número real de especies Chao2 y ACE para calcular el número de especies esperadas, y para una interpretación gráfica alternativa a los índices de diversidad se realizaron curvas de rango-abundancia. Para comparar diferencias en riqueza y composición de la herpetofauna en los sitios estudiados, se aplicaron las pruebas no paramétricas de Friedman y Cochran. Todos estos análisis se realizaron considerando a los anfibios y reptiles por separado. Los resultados indican que se logró encontrar el número máximo de especies esperado para el área de estudio y que las comunidades de anfibios y reptiles asociadas a los lagos del valle de Toluca se consideran como una comunidad poco diversa en la que solamente hay siete especies de las 134 registradas para el estado. Entre los registros no se logró encontrar ningún ejemplar de rana toro en estado silvestre, posiblemente debido al impacto humano en la cosecha de la especie en vida libre que haya terminado con las poblaciones silvestres; o bien, posiblemente porque la rana toro no tiene adaptabilidad real para vivir en la zona. Las características microclimáticas y de contaminación podrían ser las causantes de que los ambientes de los lagos estudiados no sean propicios para el desarrollo de la rana fuera de las áreas de crianza, impidiendo su invasión. Con nuestro análisis fue posible

determinar factores climático-ambientales que detienen la invasión de esta especie en zonas particularmente frías o con una alta contaminación ambiental. A pesar de no encontrarse evidencia de la existencia de poblaciones silvestres de rana toro, estos lagos en su mayoría, aparentemente son buenos para el desarrollo y supervivencia de otras especies de anfibios y reptiles, a excepción de los sitios considerablemente contaminados, donde no se encontraron señales aparentes de vida. De las especies que se encontraron durante los muestreos la más abundante fue la rana *Hyla eximia* (263 de 365 organismos observados en total) y cuenta con una distribución bastante amplia ya que fue observada en 13 de los 16 sitios estudiados. La segunda especie que se encuentra en alta abundancia fue la rana *Lithobates spectabilis*, pero solamente está presente de manera abundante en una localidad. Es posible que los problemas de perturbación y contaminación de los lagos en el valle de Toluca repercutan en valores ambientales poco favorables para la sobrevivencia de una gran fauna de vertebrados.

INTRODUCCIÓN

Las invasiones de especies exóticas en áreas geográficas nuevas algunas veces ocurren de manera natural sin intervención humana. Sin embargo, las acciones humanas han incrementado de manera considerable este problema.

Las introducciones causadas por humanos pueden ocurrir accidentalmente durante su transporte o intencionalmente con varios fines como control biológico de alguna plaga, producción agrícola y de consumo humano o con fines recreativos. Muchas especies introducidas son asimiladas por las comunidades nativas sin efectos aparentes; sin embargo, algunas han sido responsables de cambios dramáticos sobre especies nativas y comunidades naturales (Begon et al., 1999).

La información al respecto se ha incrementado en los últimos años, lo que permite tener un panorama más preciso sobre el efecto ecológico de las mismas. Cuando una especie invasora se ha establecido en un área determinada, se requiere de grandes esfuerzos para detectar su impacto negativo y planear su erradicación (Hulme, 2006). Sin embargo, el remover completamente una población invasora puede convertirse en una tarea casi imposible, especialmente con especies que se han logrado establecer en áreas muy grandes (Myers et al., 2000).

Ejemplos conocidos de estas introducciones son las distintas especies de mamíferos en islas mexicanas desde finales de 1800 y que han sido responsables de grandes impactos en la región. Los ovinos y caprinos, así como los gatos en particular, han sido responsables de numerosas extinciones de plantas y animales, lo que ha llevado a que desde 1994 se realicen proyectos para remover estas especies de varias islas para intentar recuperar los ecosistemas naturales; estos proyectos han dado como resultado la remoción de 42 poblaciones de mamíferos invasores de 26 islas (Donlan, 2008).

En el caso de los anfibios también existen ejemplos bien documentados de ese tipo de introducciones. Se sabe que el sapo gigante de América tropical (*Rhinella marina*) o sapo de la caña, fue introducido en Australia en 1935 en un intento por controlar los insectos plaga de la caña de azúcar. Desde entonces las poblaciones de este sapo han crecido y se han extendido por el norte y el sur generando diversos problemas, ya que consume todo animal de dimensiones apropiadas a su tamaño que encuentra a su paso.

Por lo anterior, el gobierno australiano ha financiado proyectos para investigar el impacto ambiental ocasionado por este sapo y cómo llevar a cabo su control biológico (Casas et al., 2001).

Actualmente, la erradicación de especies invasoras en los ecosistemas, especialmente en las islas es una práctica cada vez más común, lo que permite su recuperación y previene nuevas extinciones (Donlan, 2008). Varios autores concuerdan en que prevenir la introducción y establecimiento de especies con alto riesgo de volverse invasoras es considerado el método más efectivo para reducir problemas futuros (Ficetola et al., 2007). Por esta razón, se han diseñado modelos de distribución potencial que permiten conocer donde existe un riesgo potencial de invasión de ciertas especies en caso de que ocurra una introducción y así poder llevar un monitoreo de las especies exóticas.

ANTECEDENTES

En épocas recientes, diferentes investigadores han encontrado que el Estado de México posee una gran diversidad especies de anfibios y reptiles, habiendo en total 51 especies de anfibios y 93 de reptiles.

De ésta diversidad, existen cuatro especies endémicas de anfibios (*Ambystoma bombypelum*, *A. granulorum*, *A. leoraey* y *A. lermaense*) y una especie endémica de reptil (*Sceloporus sugillatus*). Según la NOM-059-SEMARNAT-2010, el Estado de México presenta 25 especies de anfibios y 41 de reptiles dentro de alguna de las categorías de riesgo. La mayor parte de estas especies (41) se consideran dentro de la categoría de protección especial. En la categoría de amenazada se incluyen 24 y finalmente, en la categoría de en peligro de extinción se incluye solamente una especie de anfibio, *Litobates tlaloci* (Aguilar-Miguel y Casas-Andreu, 2009).

Los efectos negativos de la actividad humana que más afectan a los anfibios y reptiles directamente son: la modificación y destrucción del hábitat, la introducción de especies exóticas, la contaminación ambiental y la explotación comercial de algunas especies.

Algunas especies introducidas que han generado problemas graves a los anfibios y reptiles incluyen a los perros, gatos, peces y algunas especies de anfibios, como la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) (Aguilar-Miguel y Casas-Andreu, 2009).

La rana toro (*Lithobates catesbeianus*), es un anuro nativo del noreste de Estados Unidos y sur de Canadá (Ontario y Quebec). Hay autores que piensan que también es originario del este de México (Wright y Wright, 1933) pero esta afirmación aún es polémica.



Figura 1. Ejemplar adulto de rana toro *Lithobates catesbeianus* (Invasive species database).

La rana toro (Figura 1) puede llegar a medir entre 8.5 a 18 cm de longitud en machos y de 8.9 a 18.4 cm en hembras y alcanzar un peso de hasta 800 g. Tiene un cuerpo robusto con una piel rugosa con tubérculos finos sin pliegues laterales. El dorso es de color verde pálido a oliva oscuro y puede tener manchas marrones. La parte ventral es blanca, gris o amarillenta; los renacuajos son de color amarillo verdoso con pequeñas manchas, creciendo de 10 hasta 15 cm (Wright y Wright, 1933). Vive cerca de cuerpos de agua, preferiblemente aguas someras, tranquilas y cálidas; se ha observado que se adaptan bien a ambientes antropizados (Invasive Species Database).

La rana toro es un competidor exitoso y voraz depredador oportunista. En estado juvenil y subadulto incluye en su dieta invertebrados y huevos de peces o anfibios, como adulto puede depredar peces, anfibios (incluyendo a su propia especie), reptiles, aves y mamíferos pequeños (Bruening, 2001 y Garwood et al., 2010; Spitzen-van der Sluijs et al., 2010).

El impacto ecológico de la rana toro podría ser mayor en comunidades nativas ya que, aún en condiciones de criadero, puede infectarse con quitridiomycosis, una enfermedad global emergente que pone en riesgo a las poblaciones mundiales de anfibios (Mazzoni et al., 2003 y Daszak et al., 2004). Se puede considerar a las ranas toro como una preocupación para la conservación de los ecosistemas nativos donde son introducidas, ya que tienen efectos negativos de depredación, competencia y transmisión de enfermedades a la fauna anfibia nativa (Rodríguez-Estrella y Luja, 2010).

Ésta especie ha sido introducida en más de 40 países y cuatro continentes durante el último siglo (Invasive Species Database). En Sudamérica se han reportado poblaciones introducidas en Colombia, Brasil, Ecuador, Venezuela, Uruguay, Chile, Paraguay, Perú y Argentina (Akmentis y Cardoso, 2009). Sin embargo, el estado de invasión de la rana toro en México es poco conocido debido a la falta de precisión de localidades y fechas de introducción.

Rodríguez-Estrella y Luja (2010) reportaron que se han colectado individuos en al menos 17 estados de la República Mexicana, pero según datos obtenidos de diversas colecciones biológicas se tienen registros de colecta de rana toro en 19 estados. Adicionalmente se sabe de la existencia de granjas de rana toro en Estado de México, Jalisco, Nayarit, Tabasco y Yucatán.

Datos históricos indican que las primeras localidades en que se registró la rana toro fueron San Diego, Nuevo León en 1853 y Altamira, Tamaulipas en 1898, aunque existen dudas de si la población en las áreas costeras de Tamaulipas es su distribución natural o si fue introducida deliberadamente (Casas et al., 2001).

La dispersión de la rana toro en el país representa un problema complejo de alto impacto a la diversidad mexicana, debido a su capacidad de colonización de nuevos hábitats, su condición de depredador voraz y su reproducción masiva para satisfacer la demanda de

carne para consumo humano o como mascotas, además es portador de quitridiomycosis sin presentar una sintomatología típica.

Según la Global Invasive Species Database, esta especie ha sido nominada como uno de los 100 "peores invasores del mundo" debido a su grave impacto sobre la diversidad biológica y/o las actividades humanas. En la Lista Roja de Especies en Peligro de la IUCN, se considera una especie de Preocupación menor (Lc) por lo que no existen medidas para su conservación; en su lugar, la erradicación en su distribución invasora es una prioridad de conservación (IUCN, 2010).

La rana toro fue introducida en México como una especie alternativa de consumo humano. Para esto, se promovió la construcción de ranarios en diferentes partes de México. La zona de mayor concentración de ranarios fue el centro de México desde el Valle de Toluca hasta Guadalajara (Reynoso, 2011). Para evaluar la invasión de la rana toro se han realizado modelos basados en: a) Expansión de la distribución nativa, b) expansión a partir de registros en vida libre, y, c) Expansión suponiendo fugas de ranarios (Figura 2).

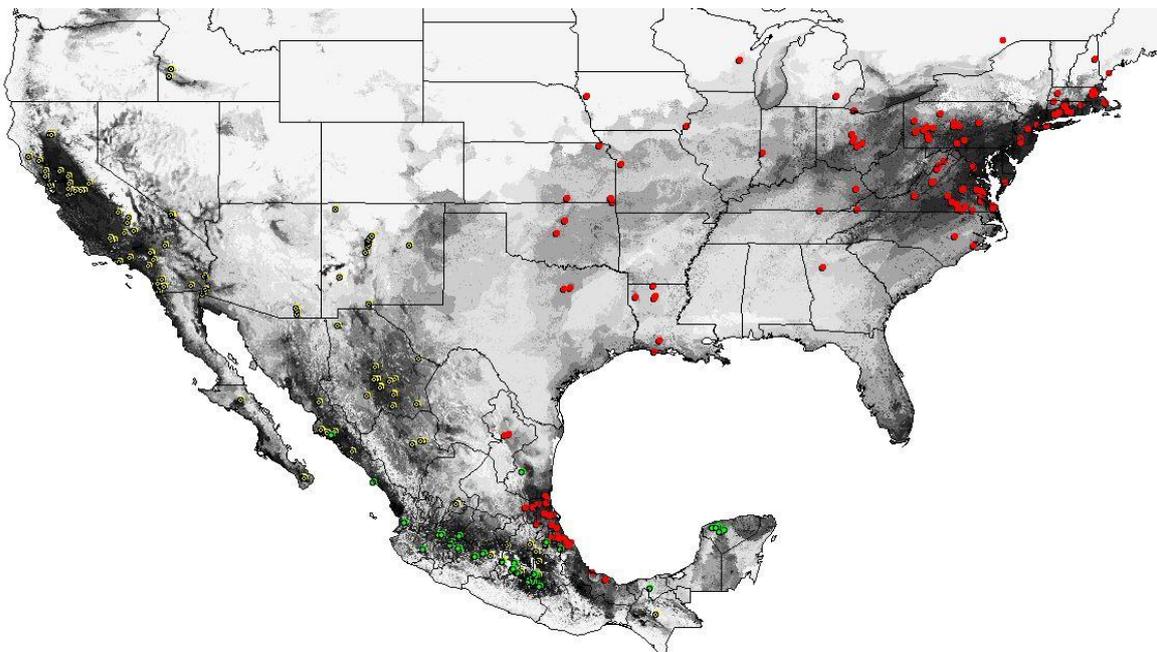


Figura 2. Distribución predicha de la rana toro para Norteamérica. Entre más oscuro el sitio, mayor es la probabilidad de invasión (Aguirre-Hidalgo et al., 2010).

OBJETIVO GENERAL

- Establecer la distribución actual de la rana toro en el Valle de Toluca a partir de observaciones directas en el campo en localidades esperadas con base en modelos de distribución geográfica predicha a partir de los registros históricos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar las localidades en las que la rana toro es invasiva dentro del Valle de Toluca.
- Determinar la composición, riqueza y abundancia herpetofaunística en el área de estudio.
- Determinar las variables ambientales relacionadas a la presencia de la rana toro y de las especies de anfibios y reptiles encontradas en el área de estudio.

HIPÓTESIS

Al ser la rana toro una de las 100 especies más invasivas del mundo, se espera que, al haber muchos ranarios y registros de la especie en vida silvestre, esta haya invadido los diferentes cuerpos de agua en el Valle de Toluca, alterando la composición, riqueza y abundancia de anfibios y reptiles nativos asociados a los cuerpos de agua.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente el nivel de invasión de la rana toro en México es poco conocido debido a la falta de precisión en las localidades y fechas de introducción (Rodríguez-Estrella y Luja, 2010). A la fecha no hay evaluaciones que permitan definir la distribución actual de esta especie en el país y su abundancia en cada localidad, y por lo tanto no hay programas que permitan determinar nuevas áreas en donde esta especie se pueda encontrar. Por tal motivo, es necesario investigar su presencia y abundancia en el Valle de Toluca ya que es en esta zona donde se ha promovido el cultivo de rana toro en gran medida y es uno de los sitios con una

alta probabilidad de invasión de la especie. Una vez encontrada, es importante verificar el daño que causa a comunidades de anfibios locales.

MÉTODO

Diseño del muestreo

Utilizando bases de datos disponibles sobre los ranarios presentes en el Estado de México (Cuadro 1) y modelos de distribución potencial de rana toro existentes, se construyó un mapa de localidades donde se predice presencia de rana toro dentro del Valle de Toluca de acuerdo a Google Earth (Figura 3).



Figura 3. Fotografía satelital con la ubicación de los ranarios en el Estado de México.

Cuadro 1. Lista de ranarios en el Estado de México.

Municipio	Localidad	Nombre	Longitud	Latitud
Donato Guerra			-100.14222	19.30833
Ixtapan de la Sal			-99.67536	18.844158
San Mateo Atenco			-99.53333	19.27028
San Pedro Tlaltizapan	Criadero los Cotonos, Dueño Mario Hernández Samaniego	Criadero Los Cotonos	-99.49972	19.19667
Santiago Tianguistenco		Granja	-99.46833	19.18056
Tenancingo			-99.59056	18.96083
Villa de Allende	Estación Experimental San Cayetano		-100.084355	19.375049
Villa Guerrero	5 km de Villa Guerrero		-99.64	18.96
Villa Guerrero	San José Teneria, Tenancingo		-99.54139	18.94944
Villa Guerrero	Planta prototipo de país	Criadero "Centro Acuícola La Paz"	-99.64	18.96

Con base en el mapa de los ranarios se realizó una salida prospectiva en el mes de abril a los sitios marcados y los alrededores buscando lagos cercanos que podrían ser habitados por escapes de rana toro, se recorrieron en total siete lagos y se entrevistaron a pescadores locales sobre la presencia de rana toro.

Para verificar la distribución de la rana toro en el Valle de Toluca, se realizó una segunda salida a campo durante el mes de julio, época en que la rana se encuentra en actividad de apareamiento. La salida tuvo una duración de tres semanas y se recorrieron 16 cuerpos de agua permanentes dentro del valle de Toluca. Se empezó por aquellos donde se tenía registro previo de avistamiento de rana toro con la finalidad de encontrar poblaciones activas.

Área de estudio

El presente trabajo fue realizado en 16 cuerpos de agua ubicados en el Valle de Toluca, Estado de México (Figura 4).

Este valle se encuentra localizado en el centro-oeste del estado de México y está separado del Valle de México por la Sierra de las Cruces. Forma parte de la cuenca del río Lerma y está rodeado de altas montañas como el Nevado de Toluca. En este valle se localiza la ciudad de Toluca de Lerdo, capital del estado de México.

Debido a que la información sobre la distribución actual de la rana toro en el Estado de México es limitada, se decidió estudiar al valle como una sola área de estudio recorriendo los lagos que se encuentren en él.



Figura 4. Fotografía satelital donde se señala con una línea azul la ubicación del valle de Toluca, Estado de México.

Los 16 lagos estudiados (Figura 5) con sus coordenadas, se encuentran en el cuadro 2.

De estos lagos, tres son artificiales y dos son utilizados como vertederos de aguas residuales.

Localidad	Coordenadas	Fotografía
San Miguel Almaya	19°13'08.7"N 99°26'22.1"W	Figura 6
Almoloya del Río	19°09'15"N 99°29'34.7"W	Figura 7
Los Espejos	19°15'32.4"N 99°29'28.2"W	Figura 8
Tlachaloya**	19°27'4.6"N 99°39'40.3"W	Figura 9
Presa Ignacio Ramírez	19°26'20.0"N 99°47'16.8"W	Figura 10
Presa Villa Victoria	19°27'11.2"N 99°59'43.6"W	Figura 11
Presa Dolores	19°22'41.6"N 99°56'4" W	Figura 12
Sanson	19°23'02.8"N 99°57'26.2"W	Figura 13
Tiacaque	19°40'5.3"N 99°42'32.8"W	Figura 14
Presa del Tigre*	19°46'57.1"N 99°41'15.9"W	Figura 15
Presa la Concha*	19°46'21.3"N 99°35'17.5"W	Figura 16
Presa Tepetitlán	19°39'13.4"N 99°58'46.5"W	Figura 17
Presa Los Coyotes	19°33'38.5"N 99°56'08.4"W	Figura 18
San Cayetano	19°22'10.1"N 100°05'05.4"W	Figura 19
Ocoyoacac*	19°27'41.7"N 99°51'33.8"W	Figura 20
Laguna el Tule**	19°35'16.4"N 99°48'2.1"W	Figura 21

Cuadro 2. Lista de cuerpos de agua estudiados en el valle de Toluca, Estado de México; *= Cuerpos de agua artificiales, **= Cuerpos de agua utilizados como vertederos de aguas residuales.



Figura 5. Localización de los cuerpos de agua estudiados dentro de la cuenca del Valle de Toluca.



Figura 6. San Miguel Almaya.



Figura 7. Almoloya del Río.



Figura 8. Los Espejos.



Figura 9. Tlachaloya.



Figura 10. Presa Ignacio Ramírez.



Figura 11. Presa Villa Victoria.



Figura 12. Presa Dolores.



Figura 13. Sanson.



Figura 14. Tiacaque.



Figura 15. Presa del Tigre.



Figura 16. Presa La Concha.



Figura 17. Presa Tepetitlán.



Figura 18. Presa Los Coyotes.



Figura 19. San Cayetano.



Figura 20. Ocoyoacac.



Figura 21. Laguna el Tule.

Revisión de anfibios y reptiles del Estado de México

Previo al trabajo de campo, se realizó una revisión de las especies de anfibios y reptiles de las que se tiene registro para en el Estado de México con la finalidad de saber que especies podrían ser encontradas en los sitios de muestreo y pudieran ser identificadas.

Para ello, se revisó la base de datos de la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología (CNAR) de la UNAM y literatura sobre los vertebrados del Estado de México (Casas-Andreu, et al., 1997); una vez hecho el listado de especies para el estado de México, se utilizaron los datos de colecta de los ejemplares depositados en la CNAR y se hizo otro listado de las especies que podrían encontrarse en el Valle de Toluca revisando características distintivas en los ejemplares de la colección.

Trabajo de campo

En cada localidad visitada se midieron variables fisicoquímicas de temperatura, pH, oxígeno disuelto, concentración de oxígeno y conductividad dentro de los primeros 50 cm de la columna de agua, utilizando un multiparámetro marca Hanna, modelo HI9828.

Las mediciones se realizaron tres veces en cada lago durante los horarios de las 7:00, 12:00 y 19:00 hrs debido a que dichos parámetros, varían a lo largo del día en las columnas de agua; simultáneamente, se caracterizó el área de estudio tomando nota sobre la presencia de poblaciones, campos de cultivo, bosque o muelles sobre o muy cercanos a la orilla y se georreferenciaron los lagos utilizando un GPS.

En cada lago se realizaron recorridos por un equipo de dos personas registrando todos los anfibios y reptiles observados a una distancia de 2 m adentro y afuera de la orilla del cuerpo de agua (Campos, 2009) en un horario de 19:00 a 00:00 hrs. De cada individuo avistado, se midieron algunas variables de micro-hábitat: temperatura, humedad relativa, presencia de viento o lluvia, distancia del agua e interacciones al momento del avistamiento como cópula, alimentación o canto. En algunos casos, fue necesario coleccionar individuos que

fueron sacrificados mediante una inyección de Xylocaina en la base del cráneo y fijados en formol al 10% para ser determinados taxonómicamente en el laboratorio. Se realizó un muestreo adicional en cada lago en el horario de 7:00 a 12:00 hrs ya que el periodo de mayor actividad en reptiles es durante el día.

Trabajo de laboratorio

Los organismos colectados en campo fueron lavados en agua durante 24 hrs y colocados en alcohol al 70%, posteriormente, fueron determinados taxonómicamente utilizando claves especializadas y depositados en la Colección Nacional de Anfibios y Reptiles del Instituto de Biología de la UNAM.

Se obtuvieron medidas de temperatura anual (máxima y mínima) y precipitación pluvial de las estaciones climatológicas cercanas a los cuerpos de agua estudiados con la ayuda del programa Google Earth.

Cuadro 3. Variables fisicoquímicas y ambientales incluidas en el presente estudio. Se indica el tipo de variable, unidades y las abreviaturas empleadas en los análisis estadísticos.

	VARIABLE	ABREVIATURA
Fisicoquímicas	Temperatura del agua (°C)	T°
	Concentración de Oxígeno Disuelto	[O2]
	Porcentaje de Oxígeno Disuelto	%O2
	Potencial de Hidrógeno	pH
	Conductividad (mg/l)	CND
Ambientales	Temperatura anual máxima anual	T°max
	Temperatura media anual	T°med
	Temperatura anual mínima anual	T°min
	Precipitación pluvial anual total	Precipitación

Análisis de datos

Las mediciones que se realizaron con el multiparámetro fueron utilizadas para obtener un promedio por cada área muestreada, calculándose su varianza y desviación estándar.

Para determinar si el muestreo fue suficiente para representar al área de estudio, se empleó una curva de acumulación de especies que indica cuantas especies son avistadas a lo largo de los días de muestreo.

Para evaluar la efectividad del muestreo se calcularon los estimadores no paramétricos del número real de especies Chao2 y ACE utilizando el programa EstimateS 8.2.0 (Magurran, 2004). Debido a que la mayoría de las especies de anfibios y reptiles presentan abundancias bajas, se eligieron Chao2 y ACE que son estimadores muy empleados para el estudio de la diversidad herpetofaunística (Urbina-Cardona y Reynoso Rosales, 2005; Urbina-Cardona et al., 2008; Calderón-Mandujano et al. 2008).

Se realizaron curvas de rango-abundancia graficadas con logaritmo en base 10 (Magurran, 2004) en las que se muestran las abundancias relativas de las especies comenzando con las más abundantes y terminando con las menos abundantes lo que permite una interpretación gráfica alternativa a los índices de diversidad.

Se obtuvo el valor MaoTao para la riqueza de especies (número de especie por cantidad de individuos) por medio del programa EstimateS versión 8.2.0; adicionalmente, se utilizó el programa estadístico SPSS Statistics 17.0 para comparar diferencias en la composición de la herpetofauna en los sitios estudiados, en el caso de los valores de abundancia se aplicó la prueba de Friedman de muestras múltiples independientes y para saber si existían diferencias en la composición de especies se utilizó la prueba de Cochran (Reynoso et al., 2005). Todos los análisis anteriores se realizaron considerando a los anfibios y reptiles por separado.

Para analizar la relación entre las especies que fueron más abundantes y sus variables ambientales, se realizó un análisis canónico de correspondencias utilizando el programa Canoco versión 4.5, el cual permite efectuar una comparación de la distribución de las especies en las distintas variables ambientales y dicha síntesis corresponde a la representación simultánea de las proximidades entre los anfibios y reptiles y sus preferencias ambientales.

RESULTADOS

Riqueza, diversidad y composición

Durante el muestreo se encontraron un total de 365 individuos pertenecientes a siete especies de las cuales tres son anfibios, un sapo y dos ranas (*Anaxyrus compactilis*, *Hyla eximia* y *Lithobates spectabilis*) y cuatro de reptiles, dos serpientes y dos lagartijas (*Thamnophis cyrtopsis*, *Thamnophis melanogaster*, *Phrynosoma orbiculare* y *Sceloporus torquatus*) (Figura 22).

De las especies observadas durante el muestreo, sólo *Thamnophis cyrtopsis*, *Thamnophis melanogaster* y *Phrynosoma orbiculare* se encuentran listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010; las tres especies se encuentran en la categoría de amenazadas y de ellas *Thamnophis cyrtopsis* no es endémica. Las abundancias de cada especie por sitio se pueden observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Abundancias absolutas de los anfibios y reptiles encontrados durante el muestreo alrededor de los lagos en el Valle de Toluca.

	San Miguel Almaya	Almolya del Río	Los Espejos	Tlachaloya	Presa Ignacio Ramírez	Presa Villa Victoria	Presa Dolores	Sanson	Tiacaque	Presa del Tigre	Presa la Concha	Presa Tepetitlan	Presa los Coyotes	San Cayetano	Ocoyoacac	Laguna el Tule
<i>Anaxyrus compactilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Hyla eximia</i>	20	14	65	0	16	6	15	28	9	21	18	15	21	0	15	0
<i>Lithobates spectabilis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	87	0	0
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Thamnophis melanogaster</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Phrynosoma orbiculare</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Sceloporus torquatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Se puede observar que las abundancias de las distintas especies son en general bajas, con pocos avistamientos especialmente en las especies de reptiles. De las especies encontradas durante el muestreo, la más abundante fue la rana *Hyla eximia* que fue observada en 13 de los 16 sitios de estudio. De los sitios donde no fue observada, uno era el más conservado (San Cayetano) y los otros dos eran utilizados como vertederos de aguas residuales (Tlachaloya y Laguna el Tule).

La especie *Lithobates spectabilis* se encontró en cuatro sitios pero sólo fue abundante en uno de ellos, San Cayetano, justamente donde *Hyla eximia* no fue encontrada. Contrario a lo esperado, fue notorio que en toda la zona explorada no se registró ningún ejemplar de rana toro.



Figura 22. Algunas especies encontradas durante el muestreo en el valle de Toluca. A= *Hyla eximia*, B= *Lithobates spectabilis*, C= *Phrynosoma orbiculare* y D= *Thamnophis melanogaster*.

Mediciones ambientales

En los promedios de las variables fisicoquímicas obtenidas con el multiparámetro (Cuadro 5), se puede observar que algunos de estos parámetros presentan una mayor variación en los sitios Tlachaloya y Laguna el Tule, el porcentaje y concentración de oxígeno disuelto en dichos lagos es bajo respecto a los otros cuerpos de agua.

Al observar la varianza y la desviación estándar (Cuadro 6) se puede apreciar que éstas disminuyen en la mayoría de las variables si son omitidos los cuerpos de agua contaminados.

Cuadro 5. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos obtenidos en los 16 lagos muestreados. *= Cuerpos de agua temporales, **= Cuerpos de agua utilizados como vertederos de aguas residuales.

Localidad	Temperatura	[O2]	% O2	pH	Conductividad
San Miguel Almaya	16.98	2.46	35.70	7.65	134.00
Almoloya del Río	19.02	3.09	44.72	9.60	335.44
Los Espejos	15.73	0.67	7.33	7.83	1418.67
Tlachaloya**	18.20	0.31	5.00	9.32	317.33
Presa Ignacio Ramírez	18.29	0.97	13.60	7.57	207.22
Presa Villa Victoria	18.47	2.95	42.40	9.60	134.44
Presa Dolores	18.36	2.40	34.78	8.75	146.22
Sanson	18.64	1.67	24.71	7.30	161.67
Tiacaque	18.62	3.30	48.43	10.22	168.56
Presa del Tigre*	16.72	2.01	29.06	7.22	130.44
Presa la Concha*	17.36	1.91	27.33	7.45	84.67
Presa Tepetitlán	19.32	1.75	25.54	7.87	141.11
Presa Los Coyotes	16.11	1.93	28.04	8.83	68.00
San Cayetano	16.34	2.57	35.89	8.63	119.33
Ocoyoacac*	16.71	1.97	28.93	7.20	129.67
Laguna el Tule**	18.17	0.36	5.67	9.34	310.00

Cuadro 6. Promedios, desviación estandar y varianza de las variables fisicoquímicas medidas.

	Temperatura	[O2]	% O2	pH	Conductividad
Promedio Total	17.69	1.89	27.32	8.40	250.42
Desviacion estandar	1.12	0.93	13.53	1.00	321.79
Varianza	1.25	0.86	183.08	1.00	103548.11
Promedio omitiendo sitios altamente contaminados	17.62	2.12	30.46	8.27	241.39
Desviación estandar omitiendo sitios altamente contaminados	1.18	0.75	11.23	1.00	344.63

La Figura 23 muestra que la temperatura promedio no varió demasiado en los diferentes lagos muestreados pero el oxígeno disuelto muestra una gran diferencia (Figura 24) entre lagos; por ejemplo, las localidades Tlachaloya y Laguna el Tule reportan valores bajos con respecto a las demás áreas de estudio.

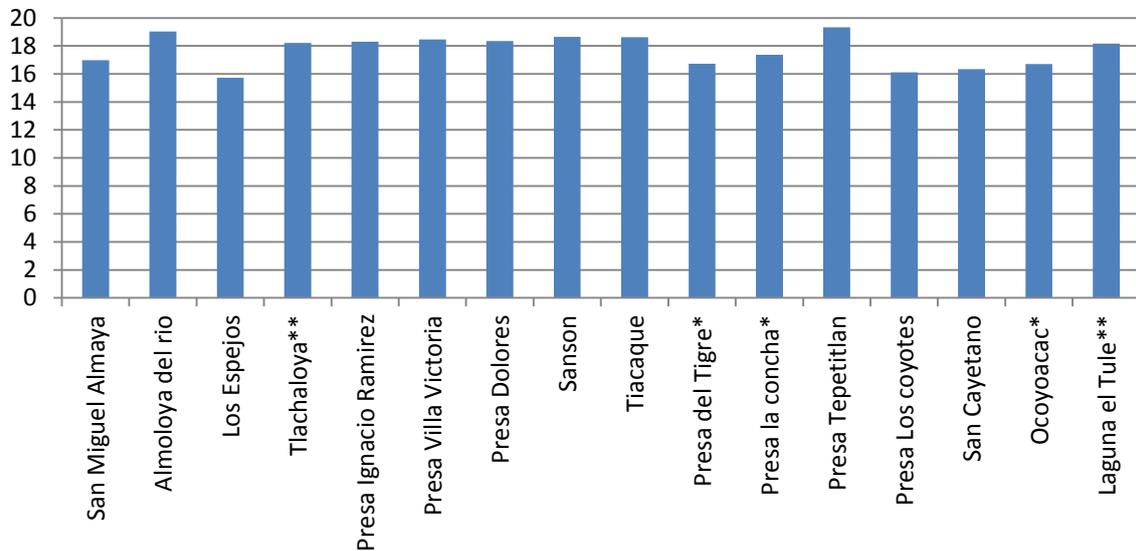


Figura 23. Temperatura de los cuerpos de agua. Los cuerpos de agua marcados con un asterisco son temporales, y los marcados con dos asteriscos son utilizados como vertederos de aguas residuales.

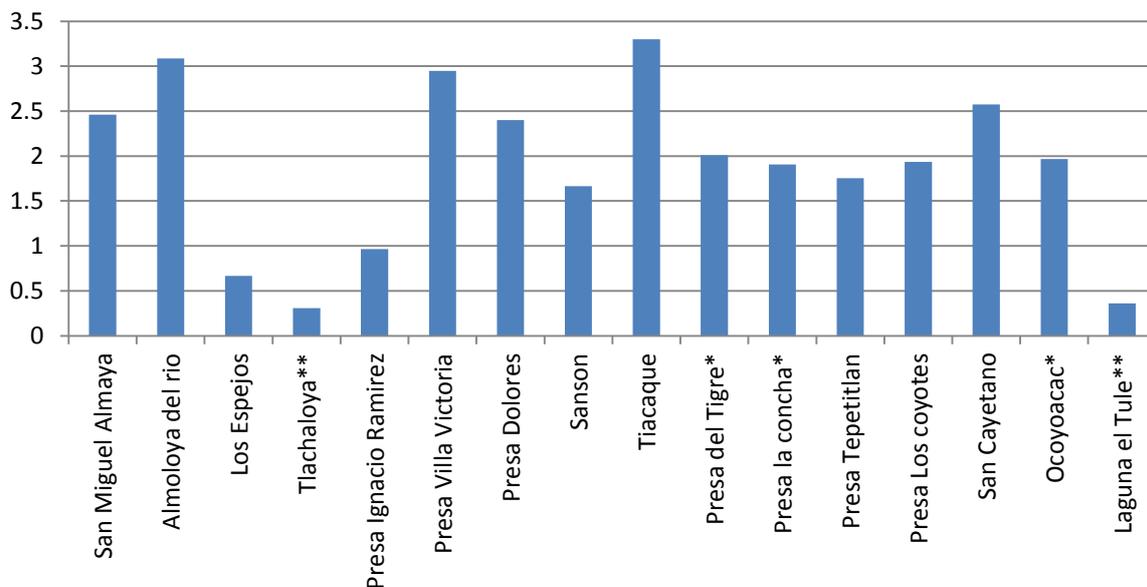


Figura 24. Concentración de oxígeno disuelto en los lagos. * = Cuerpos de agua temporales, ** = Utilizados como vertederos de agua residual.

Para los valores de pH (Figura 25) se puede observar cierta diferencia entre los lagos Tiacaque, Almoloya del Río, Presa Villa Victoria, Laguna el Tule y Tlachaloya presentan valores básicos mayores a 9.

La conductividad (Figura 26) es elevada con respecto a los demás cuerpos de agua en el lago Los Espejos. Por otra parte, también se pueden observar otros valores altos con respecto a los demás cuerpos de agua muestreados en Almoloya del Río, Tlachaloya y Laguna el Tule.

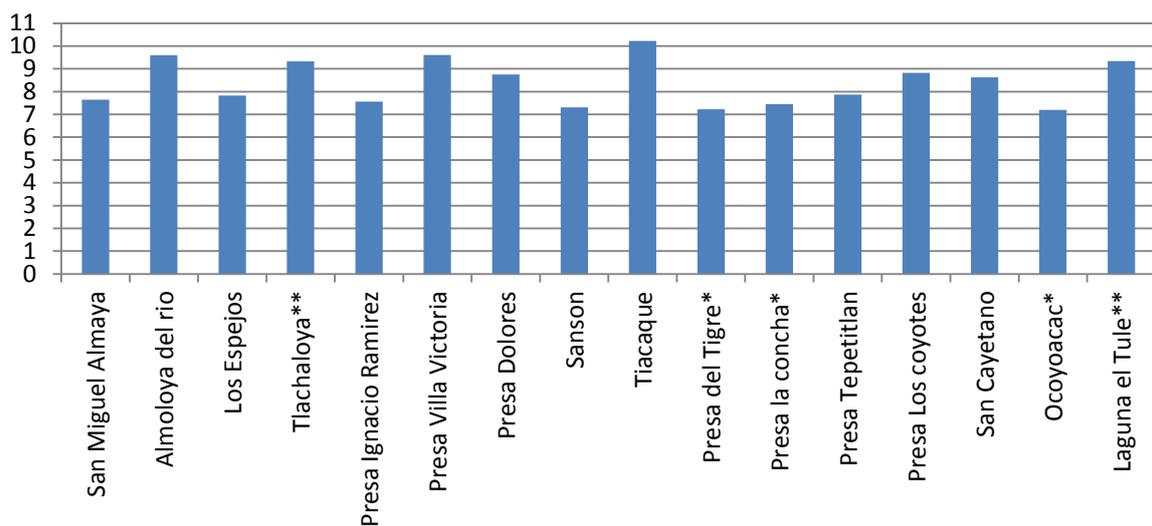


Figura 25. pH en los cuerpos de agua estudiados. *= Cuerpos de agua temporales, **= Utilizados como vertederos de agua residual.

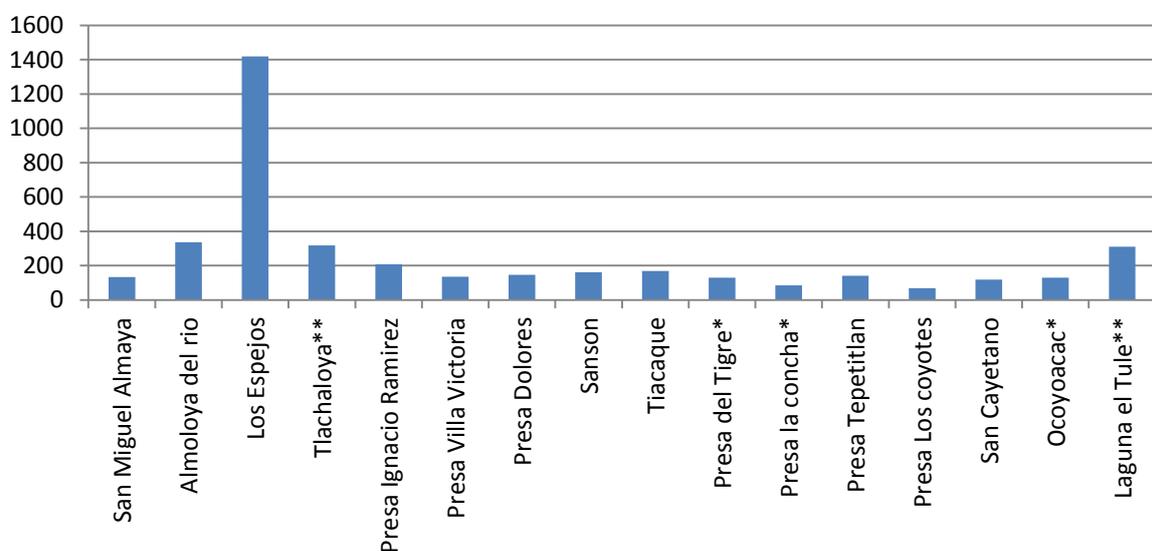


Figura 26. Conductividad en lagos. *= Cuerpos de agua temporales, **= Utilizados como vertederos de agua residual.

Curvas de acumulación de especies

En la curva de acumulación de especies de anfibios (Figura 27) se puede observar que según los estimadores Chao2 y ACE se alcanzó el número máximo de especies esperadas (Cuadro 7).

La curva del estimador ACE comenzó a estabilizarse a partir del onceavo muestreo y las variaciones que hay desde ese punto al final son muy ligeras. Por otra parte, a partir del mismo punto, el estimador Chao2 presenta pocas diferencias respecto a las especies observadas y en los últimos dos, ambas curvas comienzan a estabilizarse.

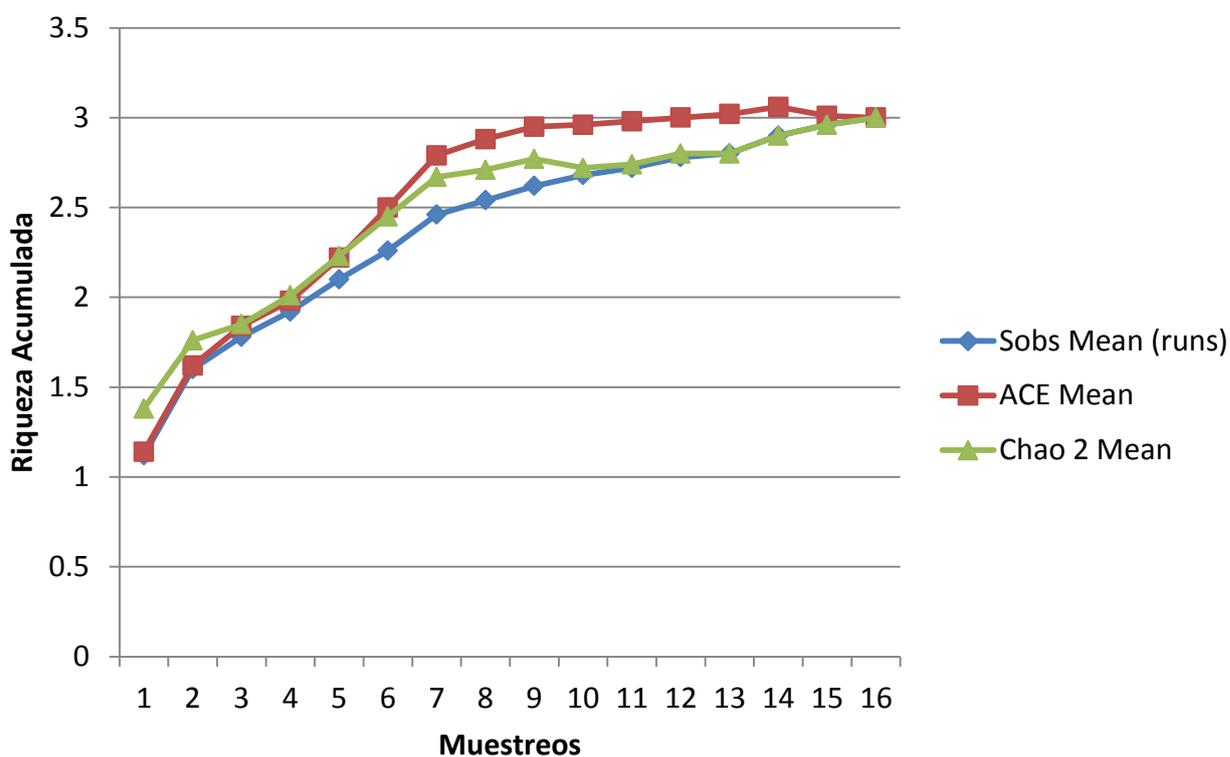


Figura 27. Curva de acumulación de especies de anfibios.

Cuadro 7. Nivel de representatividad del muestreo de anfibios con base en el porcentaje de especies registrado respecto al total esperado por los índices no paramétricos ACE y Chao2.

	Riqueza	Porcentaje esperado
Especies observadas	3	
Chao2	3	100%
ACE	3	100%

En la Figura 28 se muestra la acumulación de especies de reptiles y se puede observar que Chao2 y Sobs llegan al mismo punto en el muestreo 16, ACE teoriza más especies al muestreo 10, pero corrige el cálculo mostrando una tendencia a homologar a Chao2 a cuatro especies de haberse realizado un mayor número de muestreos.

El nivel de representatividad del muestreo respecto a los estimadores es alto (Cuadro 8), por lo que se puede considerar que el muestreo fue suficiente para representar la composición de los reptiles de los lagos estudiados.

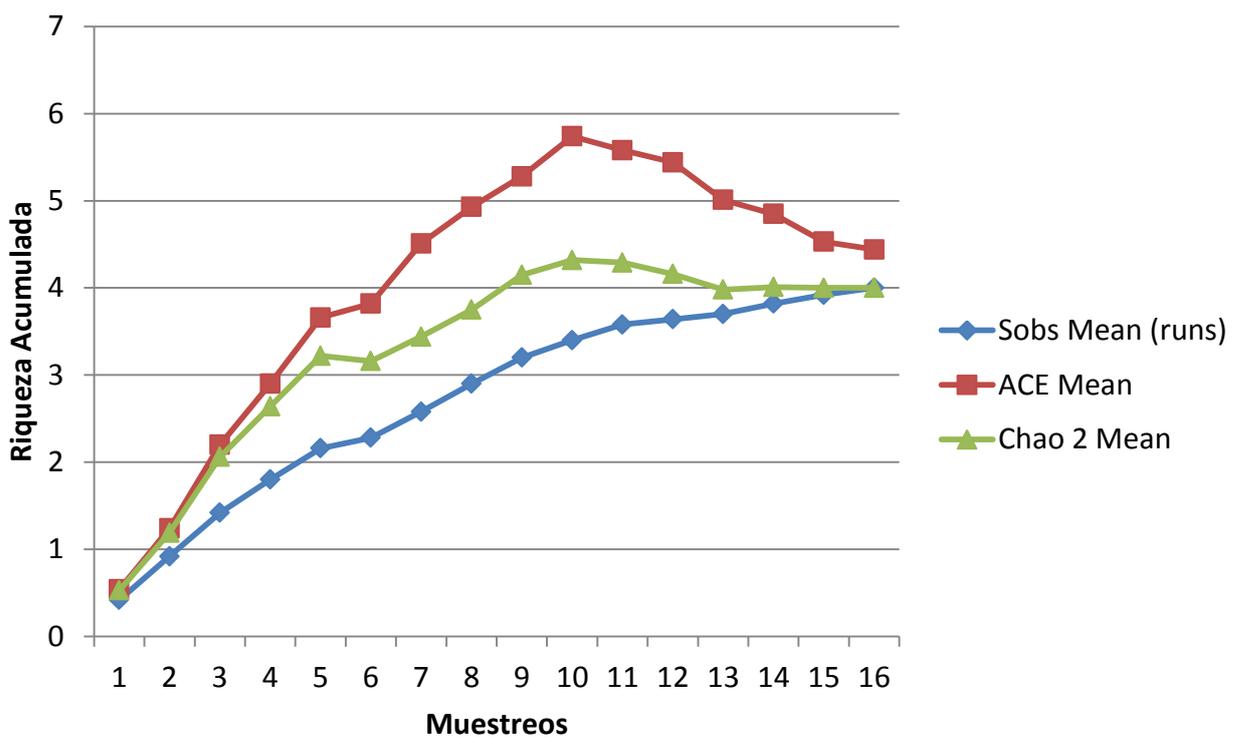


Figura 28. Curva de acumulación de especies de reptiles

Cuadro 8. Nivel de representatividad del muestreo de reptiles con base en el porcentaje de especies registrado respecto al total esperado por los índices no paramétricos ACE y Chao2.

	Riqueza	Porcentaje esperado
Especies observadas	4	
Chao2	4	100%
ACE	4.5	88.88%

Curvas de rarefacción

Se puede apreciar en las curvas de rarefacción (Figuras 29 y 30) que aún podrían encontrarse un mayor número de especies ya que ambas curvas no parecen tender a estabilizarse con el número de muestreos actual, aunque la curva de anfibios se observa que la desviación estándar va siendo cada vez menor, lo que indica que es muy posible que la curva comience a estabilizarse con un muestreo más prolongado. Por otra parte, la curva de reptiles muestra una desviación estándar cada vez mayor, lo cual indica que tal vez se puede encontrar una especie más.

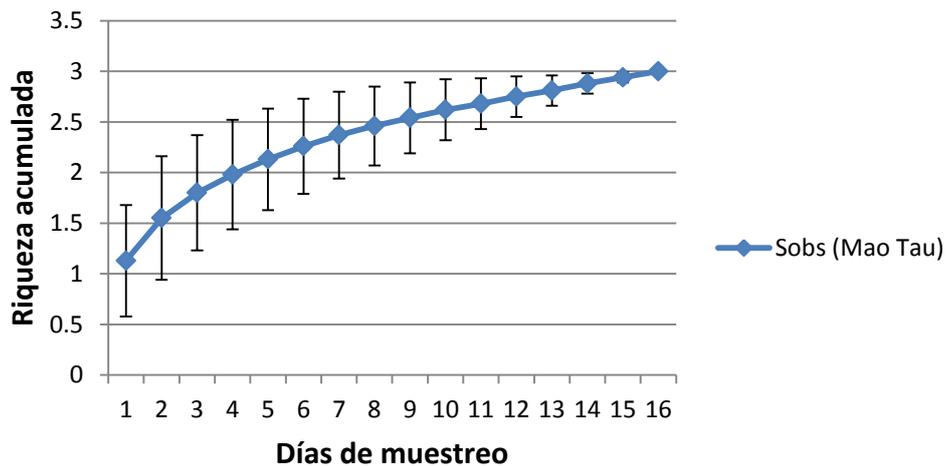


Figura 29. Rarefacción Mao Tau de los anfibios encontrados en el Valle de Toluca.

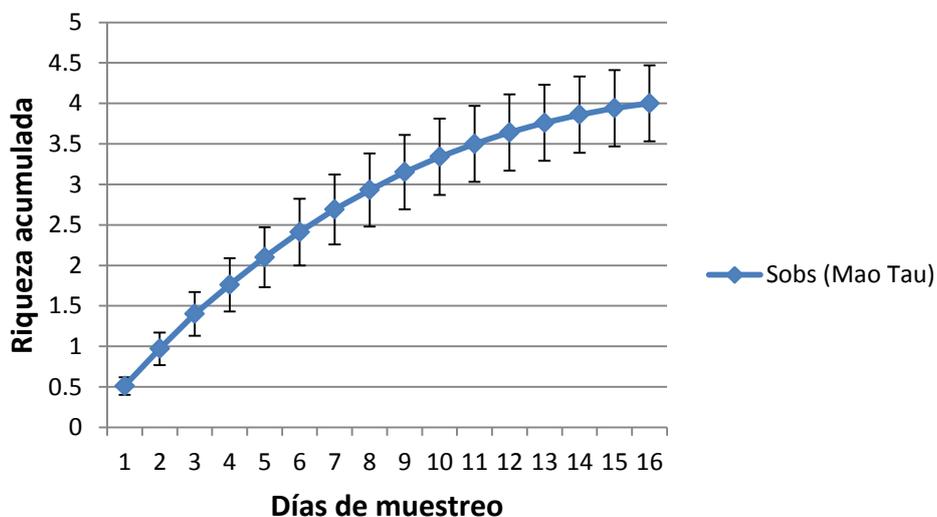


Figura 30. Rarefacción Mao Tau de los reptiles encontrados en el Valle de Toluca.

Patrones de abundancia

Se registraron en total 355 individuos anfibios (Figura 31) y 10 reptiles (Figura 32) de los anfibios la especie más abundante fue *Hyla eximia* con 263 individuos, después sigue *Lithobates spectabilis* con 91 individuos y la más escasa fue *Anaxyrus compactilis* con un sólo individuo. En cuanto a reptiles, la abundancia fue mucho más baja, la especie más abundante fue *Thamnophis melanogaster* con cuatro individuos.

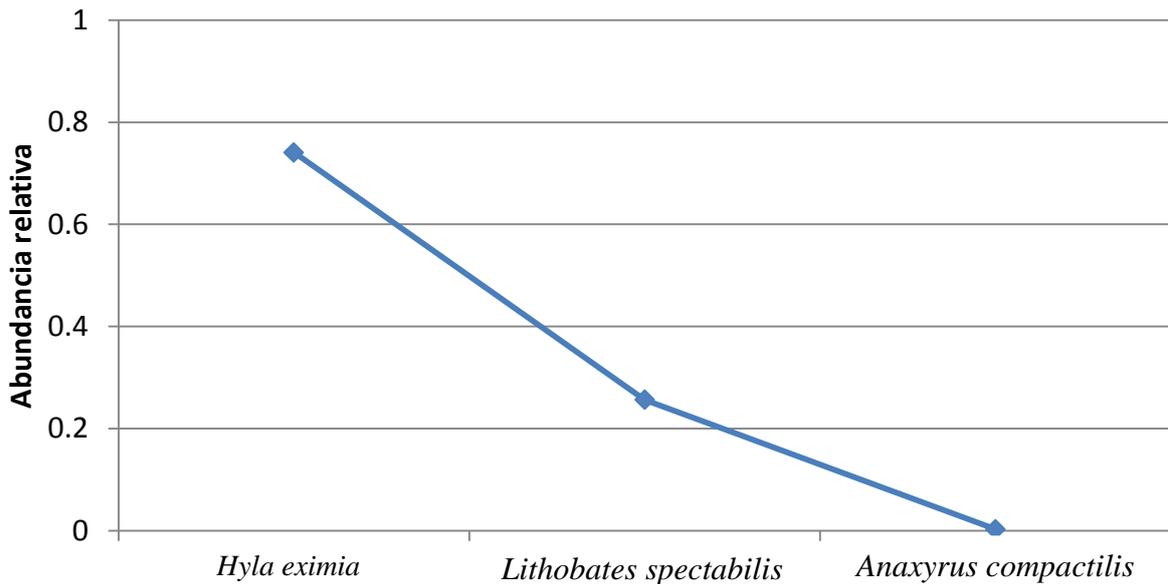


Figura 31. Abundancia relativa de anfibios observados.

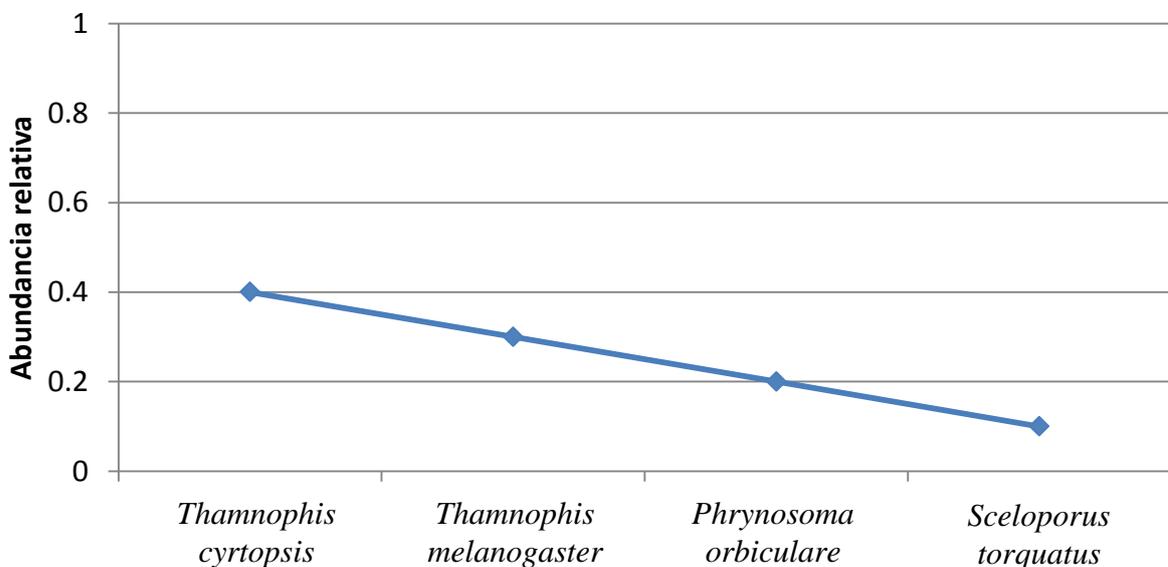


Figura 32. Abundancia relativa de reptiles observados.

Composición de la herpetofauna

La prueba de Friedman indica que hay diferencias significativas en la abundancia de anfibios entre las localidades ($X^2_{\text{Friedman}} = 20.913$; $gl = 2$; $p = 0.000$). Este resultado es esperado debido a que en algunos lagos se encontraba un gran número de individuos de algunas especies pero ninguno de las otras.

Mientras la mayoría de los lagos tenían una gran abundancia de *Hyla eximia*, tres lagos presentan datos muy dispares: a) los dos lagos contaminados donde no se encontraron individuos de ninguna especie; y, b) el lago de San Cayetano donde se encontró un gran número de *Lithobates spectabilis* pero ninguna de alguna otra especie. Por otra parte, para los reptiles se acepta la hipótesis de igualdad de abundancia para las 16 áreas de estudio ($X^2_{\text{Friedman}} = 0.951$; $gl = 3$; $p = 0.813$).

En cuanto a la composición, la prueba de Cochran concluyó que a $Q = 16.714$ en anfibios, se rechaza la hipótesis de igualdad en composición y a $Q = 1.2$ en reptiles, se acepta la hipótesis de igualdad, posiblemente debido a que en la mayoría de los lagos sólo se encontraba una especie de anfibio (*Hyla eximia*), por su parte en cuanto a la composición de especies de reptiles se acepta que es la misma en las 16 áreas de estudio.

Análisis canónico

Para el análisis de correspondencias canónicas, sólo se incluyeron aquellas especies que tuvieron abundancias mayores a cuatro individuos para dar más confiabilidad de los datos obtenidos.

El análisis de correspondencias canónicas nos indica que la rana *Hyla eximia* está muy influenciada por la humedad ambiental, mientras que para *Lithobates spectabilis* fue más determinante la concentración de oxígeno disuelto y el pH del agua. En cuanto a *Thamnophis melanogaster*, nos indica que el factor que ejerce una mayor influencia sobre su presencia o ausencia en el área de estudio es la temperatura.

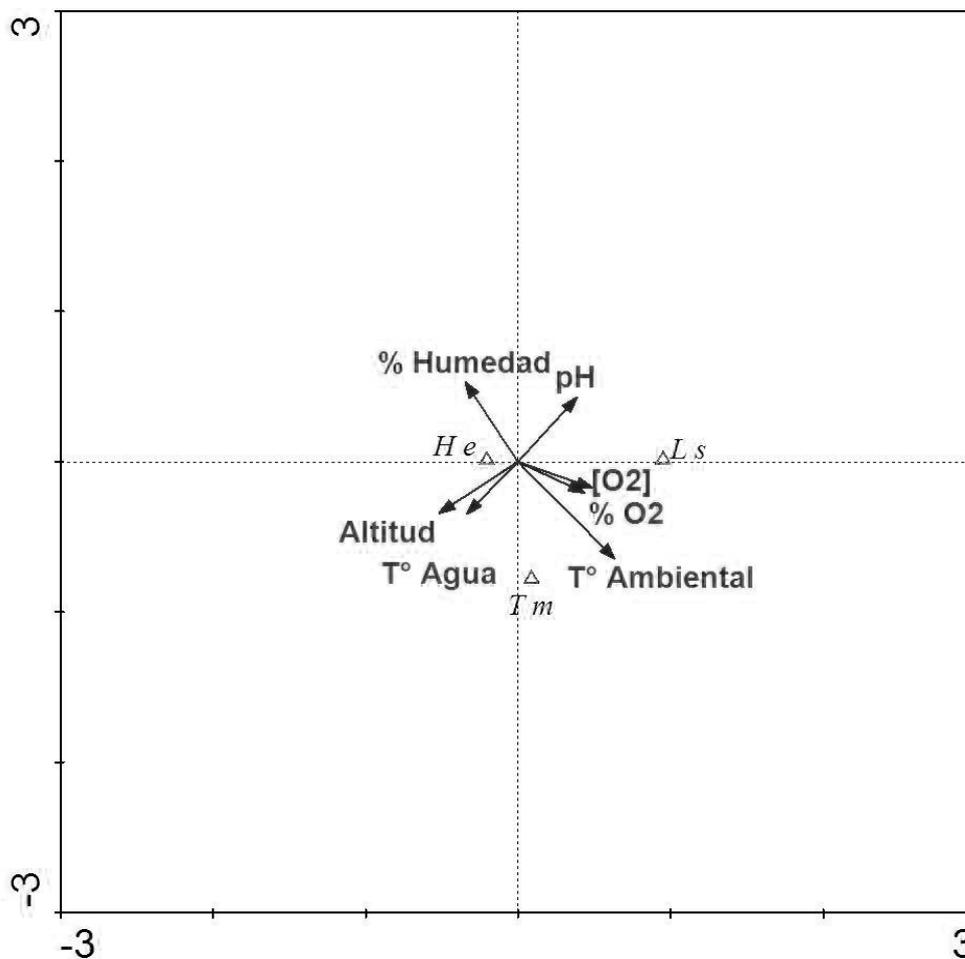


Figura 33. Análisis de correspondencias canónicas de anfibios y reptiles encontrados durante el muestreo realizado en el Valle de Toluca donde: H e= *Hyla eximia*, L s= *Lithobates spectabilis*, T m= *Thamnophis melanogaster*.

DISCUSIÓN

Comunidades de anfibios y reptiles en lagos del valle de Toluca

El valle de Toluca se encuentra en una zona donde históricamente se ha promovido en gran medida el cultivo de rana toro y entre sitios de alta predictibilidad de invasión de la especie.

A pesar de ello, durante los recorridos en los 16 lagos muestreados no se logró encontrar ningún ejemplar de rana toro en estado silvestre, aún en sitios donde los locales afirman que se encuentra ésta especie. Hablando con los lugareños de muchos de estos lagos se indica que antes era común encontrarla y que de hecho se cazaba.

Es posible que el impacto humano en la cosecha de la especie en vida libre, haya terminado con las poblaciones silvestres de esta especie. También es posible que la rana toro no tiene adaptabilidad real para vivir en la zona estudiada ya que la temperatura promedio obtenida de los registros de estaciones climatológicas en el área de estudio es de 13.01°C y la temperatura obtenida de los cuerpos de agua muestreados es de 17.69°C, ambas temperaturas son bajas en comparación con lo registrado en otras áreas invadidas por la rana toro en el norte de México y Norte América.

Esta especie se predice que se encuentra en zonas con temperaturas promedio superiores a los 20 °C (Ficetola et al., 2007). Por otra parte, la concentración promedio de oxígeno en el agua también es muy baja y presenta condiciones de hipoxia ($[O_2] \leq 2\text{ml/l}$), usualmente letal para el desarrollo de vertebrados acuáticos, incluyendo la fase larval de la Rana Toro.

Los datos de riqueza y abundancia obtenidos indican que las comunidades de anfibios y reptiles de los lagos del valle de Toluca son poco diversas ya que solamente se registraron siete especies (Cuadro 3) de las 134 registradas para el estado (Aguilar-Miguel y Casas-Andreu, 2009).

Según los resultados estadísticos, ninguno de los cuerpos de agua tiene una diferencia significativa en cuanto a abundancia y riqueza de reptiles, mientras que en anfibios sí parece haber diferencias aunque éste resultado tal vez se encuentra muy relacionado a la baja cantidad de individuos reptiles observados. De forma similar, las curvas de acumulación de especies (Figuras 27 y 28) de anfibios y reptiles sugieren que la cantidad de especies que pueden encontrarse es baja ya que según los estimadores Chao2 y ACE se alcanzó el número máximo de especies esperadas para el área de estudio (Cuadros 6 y 7).

De las especies registradas, la rana *Hyla eximia* es la más abundante en la mayoría de los cuerpos de agua estudiados. Su abundancia es mucho mayor con respecto a las demás especies de anfibios y reptiles registrados (263 de 365 organismos observados en total) y cuenta con una distribución mucho mayor ya que fue observada en 13 de los 16 sitios estudiados.

La segunda especie que se encuentra en alta abundancia, es la rana *Lithobates spectabilis*, pero esta especie es abundante en solamente una localidad. Los patrones de distribución de estas dos especies pueden sugerir que son indicadoras de la calidad de los ecosistemas: Mientras *Hyla eximia* se encuentra en prácticamente en todos los cuerpos de agua, está ausente sólo en los dos lagos referidos como los más contaminados del estudio; por su parte *Lithobates spectabilis* es abundante pero únicamente en el lago cuyo impacto antrópico es bajo; esto parece indicar que su presencia es característica de ambientes muy conservados, ya que se encuentra en abundancias muy bajas o ausente en los demás lagos.

Posiblemente, debido a su mayor tamaño, *Lithobates spectabilis* desplaza a la rana *Hyla eximia* en algunos ambientes como el referido anteriormente, relegando a la segunda especie a sitios de menor calidad, en los que también se encuentran otras especies de anfibios y reptiles. Así mismo, *Hyla eximia* no parece resistir ambientes muy contaminados.

Es posible que la baja diversidad de especies encontrada en general durante el estudio se deba al alto grado de perturbación que existe en los lagos. En la mayoría se habían introducido especies exóticas como la carpa y la tilapia para fines pesqueros y en casi todos los casos se encontraron asentamientos humanos junto a los ellos. En otros sitios, como es el caso de Tlachaloya y la Laguna el Tule, se encontró que los lagos estaban eran utilizados como vertederos de aguas residuales por lo que las condiciones de los mismos, no son aptos para sostener poblaciones de vertebrados.

Curvas de rarefacción

Cada una de las curvas de Mao Tau para los anfibios y reptiles muestra grandes diferencias, mientras para los anfibios se encontraron tres especies, con un esfuerzo de colecta igual se lograron encontrar cuatro especies de reptiles. La desviación estándar en los anfibios se redujo hasta casi llegar a ser cero, lo cual indica que se lograron encontrar todas las especies posibles para este muestreo. Por otra parte, la desviación estándar en reptiles aumenta con los muestreos, indica que aún se podrían encontrar más especies, aunque éste resultado tal vez se encuentra muy relacionado a la baja cantidad de individuos reptiles observados.

Patrones de abundancia

Hyla eximia es la especie de anfibio que se encontró en todos los sitios de muestreo, lo que indica que es una especie capaz de aprovechar efectivamente los recursos disponibles en la comunidad y no es muy susceptible a la perturbación ambiental. Incluso es posible que prefiera hasta cierto punto este tipo de ecosistemas. El número de individuos registrados fue significativamente mayor en comparación a las demás especies de anfibios observadas.

En cuanto a reptiles, *Thamnophis melanogaster* fue la especie más abundante registrada, aunque los avistamientos fueron muy raros ya que sólo se registraron cuatro individuos. Es posible que en este estudio, el muestreo puede proveer un panorama incompleto de la distribución de la abundancia real en los lagos muestreados ya que uno de los problemas en la detección de especies es que no todas son igualmente fáciles de muestrear (Southwood y Henderson, 2000) y en este estudio el muestreo se limitó a la zona costera al interior de los lagos.

Mediciones ambientales

De las variables ambientales medidas durante el muestreo se tiene que la temperatura promedio obtenida de los registros de estaciones climatológicas en el área de estudio es de 13.01°C por su parte, la temperatura obtenida de los cuerpos de agua durante el muestreo es de 17.69°C. La concentración promedio de oxígeno en el agua presenta condiciones de hipoxia ($[O_2] \leq 2\text{ml/l}$). Esta característica resulta perjudicial para el desarrollo de vida de vertebrados acuáticos (Cuadro 8). Aunque por otra parte, excluyendo del cálculo los sitios cuyo uso es como vertedero residual (Cuadro 4), se obtiene un valor un poco más elevado ($[O_2]=2.12\text{mg/l}$) pero que sigue siendo bajo.

Cuadro 9. Rangos de concentración de oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes (Goyenola, 2007).

[O ₂]	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	[O ₂] adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos.
8-12	Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética.

En cuanto a pH, el promedio calculado es algo básico ($\text{pH} \geq 8.40$), aunque en las aguas naturales el pH varía entre 6 y 9. Los efectos letales del pH aparecen a valores menores

de 4.5 y mayores a 9.5 (Arocena y Conde, 1999; Bain, 1999). Este problema sólo se logra apreciar en los lagos de Almoloya del Río, Tlachaloya, Presa Villa Victoria, Tiacaque y Laguna el Tule que tienen un pH mayor a 9 el cual indica que existen ciertos problemas de contaminación. La conductividad, que nos permite conocer la cantidad de sales en el agua, se mantiene a un nivel casi constante en la mayoría de los lagos, excepto en Tlachaloya, Laguna el Tule, Almoloya del Río y Los Espejos. Estos dos últimos lagos se encuentran conurbados a poblaciones grandes con zonas agrícolas, mientras que los dos primeros son utilizados como vertederos de aguas residuales. Aparentemente, los problemas de contaminantes en los lagos del valle en general repercuten en valores ambientales poco favorables para la sobrevivencia de una gran fauna de vertebrados.

Análisis canónico

El análisis canónico agrupó a las especies encontradas con las variables ambientales por las que está más influenciada su presencia en el área de estudio (temperatura ambiental, humedad relativa, altitud, concentración de oxígeno disuelto en agua y temperatura del agua). Los resultados obtenidos determinaron que mientras *Hyla eximia* está muy influenciada por la humedad ambiental, la presencia de *Lithobates spectabilis* está más relacionada a la concentración de oxígeno disuelto y el pH del agua. Por otra parte, en cuanto a *Thamnophis melanogaster*, se encontró que su presencia está ligada más a la temperatura ambiental que a otras variables. El resto de las especies encontradas no pudieron ser incluidas en este análisis debido al bajo número de organismos encontrados ya que es difícil establecer preferencias con un bajo número de observaciones.

CONCLUSIONES

- Aun cuando los modelos de predicción geográfica basados en microclima predicen poblaciones silvestres de rana toro en el valle de Toluca, no se pudo encontrar evidencia de que ésta especie habita en ésta región.
- Las características microclimáticas y de contaminación podrían ser las causantes de que los ambientes de estos lagos no sean propicios para el desarrollo de la rana fuera de las áreas de crianza impidiendo de esta manera su invasión.
- Es posible determinar factores climático-ambientales que detienen la invasión de esta especie en zonas particularmente frías o con una alta contaminación ambiental.
- A pesar de la ausencia de avistamientos de rana toro, estos lagos aparentemente son buenos para el desarrollo y supervivencia de otras especies de anfibios y reptiles, a excepción de los sitios considerablemente contaminados, donde no se encontraron señales aparentes de vida.
- Las comunidades de anfibios y reptiles asociadas a los lagos del valle de Toluca se consideran como una comunidad poco diversa en la que solamente se registraron 7 especies de las 134 registradas para el estado.
- Los estimadores no paramétricos Chao2 y ACE determinaron que se encontraron el total de las especies de anfibios y reptiles esperadas lo cual indica que con los muestreos realizados se alcanzó una buena representación de la riqueza de la herpetofauna asociada a los cuerpos de agua estudiados.
- De las especies registradas durante el muestreo, 3 se encuentran listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de amenazadas.
- Los problemas de perturbación y contaminación de los lagos en el valle de Toluca repercuten en valores ambientales poco favorables para la sobrevivencia de una gran fauna de vertebrados en general.

LITERATURA CITADA

- Aguilar X., Casas-Andreu G., Cárdenas-Ramos P. y Cantellano de Rosas E., 2009. Análisis espacial y conservación de los anfibios y reptiles del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, Vol. 16, Núm. 2, 171-180
- Aguilar-Miguel X. y Casas-Andreu, G., 2009. Anfibios y reptiles. En: Ceballos G., Rurik List, Garduño G., López R., Muñozcano M., Collado E. y San Román J. La diversidad biológica del Estado de México. Estudio de Estado. CONABIO, Toluca de Lerdo, Estado de México. pp. 523.
- Aguire-Hidalgo, V., Ballesteros-Barrera, C. y Reynoso, V. H. 2010. Uso de modelos de nicho ecológico para la identificación de áreas potenciales de invasión de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*). En Memorias de la XI Reunión Nacional de Herpetología, Sociedad Herpetológica Mexicana A. C. Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México. Estado de México, Toluca. P 64.
- Akmentis, M.S. y Cardozo, D.E., 2009. American bullfrog *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802) invasion in Argentina. *Biological Invasions* 12:735–737.
- Arocena, R. y D. Conde (ed.). 1999. Métodos en Ecología de Aguas Continentales, con Ejemplos de Limnología en Uruguay. Editorial: DIRAC, FC, Montevideo. 233 pp.
- Bain, M.B. y N.J. Stevenson. 1999. Aquatic habitat assessment: common methods. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- Bruening, S., 2001. Rana catesbeiana, North American Bullfrog [en línea] Michigan, EUA. <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/index.html>
- Calderón-Mandujano R, Galindo-Leal C. y Cedeño-Vázquez R. 2008. Utilización de hábitat por reptiles en estados sucesionales de selvas tropicales de Campeche, México. *Acta Zoologica Mexicana*. 24(1). 95-114.

- Campos, J. I. 2009. Abundancia y éxito reproductivo de *Lithobates chiricahuensis*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 102 pp.
- Casas-Andreu, G., X. Aguilar-Miguel y E.O. Pineda-Arredondo. 1997. Anfibios y reptiles. En: Aguilar, X., G. Casas, M.A. Gurrola, J. Ramírez, A. Castro, U. Aguilera, O. Monroy, E. Pineda y N. Chávez. Lista taxonómica de los vertebrados terrestres del Estado de México. UAEM, Toluca, pp. 9-53.
- Casas, G., X. Aguilar y R. Cruz. 2001. La introducción y cultivo de la rana toro (*Rana catesbeiana*) ¿Un atentado a la biodiversidad de México? Ciencia Ergo Sum Vol. 8 número 1: 62-67.
- Daszak P, Striebay A, Cunningham A, Longcore J, Brown C, & D Porter 2004. Experimental evidence that the Bullfrog (*Ranacatesbeiana*) is a potential carrier of Chytridiomycosis, an emerging fungal disease of Amphibians. Herpetological Journal, 14, 201 – 207.
- Donlan C. 2008. On the ecology of invasive species, extinction, ecological history, and biodiversity conservation. Tesis doctoral, Cornell University, 2008.
- EPA. 1997. Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. <http://www.epa.gov/owow/monitoring/volunteer/stream/>.
- Ficetola G.F., Thuiller W., Miaud C. 2007. Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species –the American Bullfrog. Diversity and Distributions, 13, 476-485.
- Garwood J., C. Anderson y S. Ricker. 2010. Bullfrog predation on a juvenile coho salmon in Humboldt County, California. Northwestern Naturalist 91: 99-101.
- Goyenola G. 2007. Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Versión 1.0 – Junio de 2007.

- Hulme P.E. 2006. Beyond control: wider implications for the management of biological invasions. *Journal of Applied Ecology*, 43, 835–847.
- IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. <www.iucnredlist.org>. Downloaded on 12 November 2010.
- Luja, V.H. y R. Rodríguez-Estrella. 2010. The invasive bullfrog *Lithobates catesbeianus* in oases of Baja California Sur, Mexico: potential effects in a fragile ecosystem. *Biological Invasions* 12:2979–2983.
- Mazzoni, R., Cunningham, A.A., Daszak, P., Apolo, A., Perdomo, E., Speranza, G., 2003. Emerging pathogen of wild amphibians infrogs (*Rana catesbeiana*) farmed for international trade. *Emerging Infectious Diseases* 9, 995–998
- Michael Begon, John L. Harper, Colin R. Townsend. 1999. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades*. Editorial Barcelona: Omega, 1999, pp. 1148
- Myers, J.H., Simberloff, D., Kuris, A.M. & Carey, J.R. (2000) Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends in Ecology & Evolution*, 15, 316–320.
- Pearman, P.B., A.M. Valasco, y A. Lopez. 1995. Tropical amphibian monitoring: a comparison of methods for detecting inter-site variation in species composition. *Herpetologica* 51: 325-337.
- Reynoso, V.H., 2011. Efecto de la invasión de la rana toro (*Lithobates catesbeianus*) sobre la composición y abundancia de anfibios. Reporte inédito de Proyecto: SEMARNAT-CONACYT 108296.
- Spitzen-Van der Sluijs A.M., Zollinger R., Bosman W., Van Rooij P., Clare F., Martel A., Pasmans F., 2010. Short Report *Batrachochytrium dendrobatidis* in amphibians in the Netherlands and Flanders (Belgium). Stichting RAVON Report 2009-29

- Urbina-Cardona, J. N., M. C. Londoño-Murcia y D.G García-Ávila. 2008. Dinámica espacio temporal en la diversidad de serpientes en cuatro hábitats con diferente grado de alteración antropogénica en el Parque Nacional Natural Isla Gorgóna, Pacífico Colombiano. *Caldasia*. 30(2):407-421.
- Urbina-Cardona, J. N. y V. H. Reynoso. 2005. Recambio de anfibios y reptiles en el gradiente potrero-borde-interior en Los Tuxtlas, Veracruz, México. Capítulo 15, paginas 191-207 EN Halffter, G., J. Soberon, P. Koleoff, y A. Melic (Editores), *Sobre Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades - Alfa, Beta y Gamma: Monografías Tercer Milenio*, vol.4, S.E.A., Zaragoza, España.
- Wright, A.A. y Wright, A.H. 1933. *Handbook of frogs and toads of the United States and Canada*. Editorial Cornell 1995, pp. 640.